

**Investigación documental de tecnologías de producción agrícola en el cultivo de arroz  
(*oryza sativa*) para optimizar el uso del agua en el distrito de riego de el Zulia, norte de  
Santander**

Realizado por:

Miguel Angel Carrillo Romero

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente -ECAPMA

Tecnología en Producción Agrícola

Bogotá

2021

**Investigación documental de tecnologías de producción agrícola en el cultivo de arroz  
(*oryza sativa*) para optimizar el uso del agua en el distrito de riego de el Zulia, norte de  
Santander**

Realizado por:

Miguel Angel Carrillo Romero

Director:

Ing. MSc. Maikel Suarez Rivero

Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de:

Tecnólogo en Producción Agrícola

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente -ECAPMA

Tecnología en Producción Agrícola

Bogotá

2021

**Nota aclaratoria.**

La escuela y los jurados no se hacen responsables por los conceptos emitidos por el autor.

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Firma de jurado

---

Firma de jurado

Bogotá, mayo de 2021

## **Dedicatoria**

Primeramente, a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

Dedico este proyecto a mi madre y a mi familia que han sido de gran apoyo durante todo mi proceso formativo para escalar un paso más en mi vida como profesional.

Miguel Ángel Carrillo Romero

## Agradecimientos

A Dios, por permitirme avanzar y culminar mis estudios con éxito ya que de la mona de nuestro Dios todo poderoso nos brinda mucha sabiduría para superarnos día tras día.

A mí señora madre y a toda mi Familia, por el amor, la confianza y el apoyo que me han brindado y que me ha permitido que me desarrolle profesionalmente.

A mis compañeros de trabajo y Doctores que me brindaron su ayuda, colaboración y conocimientos para poder desarrollar este proyecto y culminarlo con éxito.

Y a mí director Maikel Suárez Rivero por su valioso apoyo y asesoramiento incondicional, además de su orientación la cual permitió la elaboración y culminación de la presente tesis.

Miguel Ángel Carrillo Romero

## Tabla de contenido

Resumen.....	11
Introducción .....	13
Objetivos.....	15
Objetivo General .....	15
Objetivos Específicos.....	15
Desarrollo temático.....	16
1. Generalidades del arroz .....	16
1.1. Taxonomía y Morfología .....	17
1.2. Importancia económica y distribución geográfica .....	19
1.3. Mercado mundial del arroz .....	21
1.4. Mejora genética.....	21
1.5. Requerimientos edafoclimáticos .....	22
1.5.1. Clima.....	22
1.5.2. Temperatura .....	22
1.5.3. Suelo .....	23
1.5.4. pH.....	24
1.6. Agronomía del cultivo.....	24
1.6.1. Preparación del terreno .....	24
1.6.2. Siembra .....	24
1.6.3. Abonado.....	25
1.7. Suelos .....	26
1.8. Manejo de riegos y drenaje .....	28
1.9. Manejo del cultivo.....	30
1.10. Manejo de arvenses .....	31
1.11. Plagas.....	37
1.12. Enfermedades .....	43
1.13. Cosecha.....	49
1.14. Poscosecha.....	49
2. Distrito de riego en el cultivo del arroz .....	50
3. Distrito de riego el zulía .....	51
3.1. Municipio El Zulía .....	51

3.2. Características del distrito de riego de El Zulia y el cultivo de arroz ( <i>Oryza sativa</i> L.)	53
3.3. Problemática alrededor del uso del agua.....	56
4. Uso sostenible del agua en la agricultura .....	58
5. Uso de agua en cultivos agrícolas a nivel nacional e internacional.....	59
6. Sistemas agrícolas y utilización del agua en Colombia para el cultivo de arroz.....	61
7. Implementación de los distritos de riego en Colombia .....	64
8. Reglamentación vigente y propuesta de manejo del recurso agua en Colombia.....	66
9. Avances tecnológicos a nivel internacional y nacional para la optimización del riego en el cultivo del arroz .....	68
9.1. Prácticas de conservación de suelos y manejo integrado de cultivos para riego y humedad .....	68
9.2. Protección de manantiales o fuentes de agua .....	69
9.3. Tecnologías para la captación y almacenamiento de agua.....	70
9.4. Inteligencia artificial .....	71
9.5. Isótopos .....	73
9.6. Tecnificación del riego.....	74
9.7. Modificación de semillas .....	75
9.8. Programa de Adopción Masiva de Tecnología (AMTEC).....	75
9.9. Otras tecnologías .....	76
Conclusiones .....	77
Recomendaciones .....	78
Bibliografía .....	79

## Índice de figuras

Figura 1. Localización del municipio de El Zulia en el departamento de Norte de Santander.....	33
Figura 2. Imagen satelital, El Zulia, Norte de Santander.....	34

## Índice de tablas

Tabla 1. Materias activas, dosis y presentación de los productos contra dicotiledóneas. Fuente Agrinova Science.....	24
Tabla 2. Materias activas, dosis y presentación del producto contra Ciperaceas. Fuente Agrinova Science .....	24
Tabla 3. Materias activas, dosis y presentación del producto. Fuente Agrinova Science .....	25
Tabla 4. Materias activas, dosis y presentación del producto contra Echinocloa sp. Fuente Agrinova Science .....	25

## Resumen

El uso del agua para fines agrícolas ocupa el 70 % del recurso hídrico que se extrae en el mundo, y las actividades agrícolas representan una proporción aún mayor debido a la evapotranspiración de los cultivos. Dentro de los cultivos de mayor extensión y que consumen mayor cantidad de agua en el mundo, se encuentran los cultivos de arroz y trigo. En Colombia, como en muchos países, el arroz (*Oryza sativa* L.) es el segundo cereal con mayor área cosechada y un cultivo que ejerce una gran presión sobre el recurso hídrico. El sector agrícola en Colombia demanda anualmente 54% del agua consumida (19386 millones (M) de m<sup>3</sup>), de los cuales 4185 Mm<sup>3</sup> son implementados para el cultivo de arroz y de estos, se estima que solo 962 Mm<sup>3</sup> son consumidos de forma efectiva. Se estima que, en los distritos de riego de Norte de Santander, la demanda de agua para zonas inundables se encuentra entre 16000 y 30000 m<sup>3</sup>/ha-cosecha. Es por esta razón que este estudio se centró en documentar las tecnologías agronómicas viables que son utilizadas en la optimización del recurso hídrico como alternativa al desperdicio de agua en la producción arrocería específicamente del distrito de riego de El Zulia en Norte de Santander. Esto se desarrolló por medio de la descripción de las diferentes formas de optimización del agua y las opciones productivas para evitar el despilfarro del agua en el cultivo de arroz, adicional se detallaron las propuestas realizadas en Colombia para reducir el alto consumo de agua. Se encontró que, el uso de nuevas tecnologías y procesos tecnificados aunado con políticas públicas, campañas de educación ambiental y la diversificación de la producción son factores que llevan a un uso óptimo del recurso hídrico.

**Palabras clave:** arroz, agua, desperdicio de agua, uso agrícola del agua, uso optimo del agua, tecnologías en el cultivo de arroz, técnicas para el ahorro de agua, producción de arroz, avances tecnológicos en la producción agrícola, agricultura de precisión.

## Introducción

Las agendas prospectivas y de desarrollo tecnológico del Gobierno Colombiano (Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, 2014-2018; Visión Colombia II Centenario: 2019), hace énfasis en resaltar que: “Es perentorio que los productores de arroz se preparen para incrementar eficientemente la productividad de arroz, ya que en el 2030 el tratado de libre comercio permitirá la importación desde Estados Unidos (EUA) sin costo de arancel.”

Para cumplir este reto, los departamentos cultivadores del cereal han empezado a analizar la relación entre el área de cosecha, el rendimiento, los costos de producción, la sostenibilidad del cultivo y la cantidad de agua que se necesita para realizar el proceso (FAO, 2018).

Con respecto a la cantidad de recurso hídrico necesario para cumplir la meta, el país ha venido implementando sistemas de riego. En la actualidad, Colombia cuenta con 18 distritos de riego, de los cuales, solo dos, el del Zulia en Norte de Santander y el del Valle de Sibundoy en Putumayo, cuentan con estudios sobre la verdadera vocación y capacidad de sus tierras (Instituto geográfico Agustín Codazzi, 2017), pero no cuentan con tecnologías alternativas que les permitan hacer un mejor uso de los recursos y disminución del impacto ambiental (Barona, 2010).

En Europa y Estados Unidos se han venido desarrollando los sistemas de riego desde hace más de un siglo, lo que les ha permitido una mayor experiencia e implementación de tecnologías que trabajan en pro de una excelente producción y cumplimiento de las leyes ambientales (Kato & Katsura, 2014).

Basado en dichos casos de éxito, este documento busca desarrollar una investigación documental que permita a los cultivadores de arroz conocer alternativas tecnológicas de

producción agrícola, amigables con el medio ambiente, tener nociones sobre las medidas necesarias para la mitigación de la pérdida de suelo y agua, haciendo uso de disipadores de velocidad que garanticen la calidad de la nivelación del terreno (Cortés, 2013); además, realizar la recomendación de la relevancia de cambiar la cultura frente al uso excesivo de agua de los ríos y utilizar el agua de lluvia. También, recomendar el uso de las redes de estaciones meteorológicas que permitan determinar cuánto aporta la precipitación, que cantidad de líquido se evapora, las variables meteorológicas (temperatura, radiación solar, precipitación, etc.), el uso de modelos agroclimáticos que establecen las fechas de siembra más adecuadas (Barona, 2010).

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Documentar las tecnologías agrícolas viables que son utilizadas en la optimización de los recursos hídricos como alternativa al desperdicio de agua en la producción arrocerá del distrito de riego El Zulia, Norte de Santander.

### **Objetivos Específicos**

- Evidenciar aspectos relacionados con la optimización del recurso hídrico en un contexto agrícola y en la producción de arroz en Colombia.
- Identificar las propuestas planteadas en Colombia en términos de política pública que resultan viables para la reducción del alto consumo de agua en el cultivo de arroz.
- Describir nuevas tecnologías y avances científicos desarrollados en los cultivos de arroz que evitan el desmesurado uso de agua en el distrito de riego El Zulia.

## **Investigación documental de tecnologías de producción agrícola en el cultivo de arroz (*oryza sativa*) para optimizar el uso del agua en el distrito de riego de El Zulia, Norte de Santander**

### **Desarrollo temático**

#### **1. Generalidades del arroz**

El arroz es el eje en torno al cual gira la economía de muchos países, no sólo como alimento (constituye la base de la dieta de casi la mitad de los habitantes del mundo) sino como parte de la cultura y la religión. Es de especial relevancia en Asia, dónde es el alimento principal que junto con la soja hizo desarrollarse a las civilizaciones orientales, existiendo referencias de su cultivo desde hace casi 10.000 años (Hamilton, 2004)

Los orígenes del arroz no se han podido establecer con precisión, pero parece ser que el arroz africano (*O. glaberrima*), cuyo centro de diferenciación estuvo situado en el delta del río Níger, empezó a cultivarse hace más de 3.500 años. El arroz asiático (*O. sativa*) es el más extendido y se domesticó hace más de 6.000 años en las laderas meridionales del Himalaya. Las variedades utilizadas en la presente tesis pertenecen a esta especie (Fedearroz, *sf*).

Existen más de 2.000 variedades de arroz cultivadas en el mundo, aunque en el banco de germoplasma del instituto internacional de investigación del arroz (IRRI, por sus siglas en inglés) en Filipinas se conservan alrededor de 83.000 variedades. Las diferencias varietales (UNCTAD, 2006) se refieren a morfología de la planta y del grano, calidad del grano, resistencia al encamado, precocidad, ahijado, resistencia y tolerancia a los factores bióticos (arvenses,

plagas y enfermedades) y abióticos (frío, sequía, acidez del suelo, carencias en elementos minerales, etc.) y productividad o rendimiento en grano.

El ciclo de la planta de arroz puede variar de 3 a 6 meses, dependiendo de la variedad y del ambiente en el que se desarrolla. Según la duración del ciclo se distinguen variedades de ciclo corto, medio y largo (Correa, 2011). Aunque tolera condiciones extremas, su cultivo es más favorable en zonas muy calurosas y húmedas. Las temperaturas de germinación son: mínima: 10-12°C, óptima: 28-30°C, máxima: 40-45°C (Castillo & Pérez, 2017).

La superficie mundial cultivada ha ascendido entre 1961 y 2011 de 115,5 a 164 millones de hectáreas, mientras que la producción casi se ha triplicado en ese tiempo (Castillo & Pérez, 2017).

### **1.1. Taxonomía y Morfología**

El arroz (*Oryza sativa*) es una planta monocotiledónea, que posee la siguiente taxonomía:

**Reino:** Plantae (Phytae)

**Filo:** Tracheophyta

**Subfilo:** Angiospermae

**Clase:** Liliopsida

**Orden:** Poales

**Familia:** Poaceae

**Subfamilia:** Oryzoideae

**Tribu:** Oryzeae

**Genero:** *Oryza*

(Naturalista, 2020)

La morfología del arroz (*O. sativa*) está definida a través de las siguientes características:

**Raíces:** Las raíces son delgadas, fibrosas y fasciculadas. Posee dos tipos de raíces: seminales, que se originan de la radícula y son de naturaleza temporal y las raíces adventicias secundarias, que tienen una libre ramificación y se forman a partir de los nudos inferiores del tallo joven. Estas últimas sustituyen a las raíces seminales (Degiovanni & Berrío, 2010).

**Tallo:** El tallo se forma de nudos y entrenudos alternados, siendo cilíndrico, nudoso, glabro y de 60-120 cm. de longitud (Universidad de la República, 2018).

**Hojas:** Las hojas son alternas, envainadoras, con el limbo lineal, agudo, largo y plano. En el punto de reunión de la vaina y el limbo se encuentra una lígula membranosa, bífida y erguida que presenta en el borde inferior una serie de cirros largos y sedosos (FAO, 2012).

**Flores:** Son de color verde blanquecino dispuestas en espiguillas cuyo conjunto constituye una panoja grande, terminal, estrecha y colgante después de la floración (Universidad de la República, 2018).

**Inflorescencia:** Es una panícula determinada que se localiza sobre el vástago terminal, siendo una espiguilla la unidad de la panícula, y consiste en dos lemmas estériles, la raquilla y el flósculo (FAO, 2012).

**Grano:** el grano de arroz es el ovario maduro. El grano descascarado de arroz (cariópside) con el pericarpio pardusco se conoce como arroz café; el grano de arroz sin cáscara con un pericarpio rojo es el arroz rojo (Agrinova Science, 2018).

- **Adaptación del arroz a los suelos inundados**

Los suelos inundados ofrecen un ambiente único para el crecimiento y nutrición del arroz, pues la zona que rodea al sistema radicular se caracteriza por la falta de oxígeno. Por tanto, para evitar la asfixia radicular, la planta de arroz posee unos tejidos especiales, unos espacios de aire bien desarrollados en la lámina de la hoja, en la vaina, en el tallo y en las raíces, que forman un sistema muy eficiente para el paso de aire (Degiovanni & Berrío, 2010).

El aire se introduce en la planta a través de las estomas y de las vainas de las hojas, desplazándose hacia la base de la planta. El oxígeno es suministrado a los tejidos junto con el paso del aire, moviéndose hacia el interior de las raíces, donde es utilizado en la respiración. Finalmente, el aire sale de las raíces y se difunde en el suelo que las rodea, creando una interfase de oxidación-reducción (Agrinova Science, 2018).

## **1.2. Importancia económica y distribución geográfica**

El arroz es el alimento básico para más de la mitad de la población mundial, aunque es el más importante del mundo si se considera la extensión de la superficie en que se cultiva y la cantidad de gente que depende de su cosecha (FAO, 2012). A nivel mundial, el arroz ocupa el segundo lugar después del trigo si se considera la superficie cosechada, pero si se considera su importancia como cultivo alimenticio, el arroz proporciona más calorías por hectárea que

cualquier otro cultivo de cereales. Además de su importancia como alimento, el arroz proporciona empleo al mayor sector de la población rural de la mayor parte de Asia, pues es el cereal típico del Asia meridional y oriental, aunque también es ampliamente cultivado en África y en América, y no sólo ampliamente sino intensivamente en algunos puntos de Europa meridional, sobre todo en las regiones mediterráneas (Liu *et al*, 2014).

Entre los países que producen más de un millón de toneladas al año figuran China (211 millones), India (158), Indonesia (77), Bangladesh (52), Vietnam (43), Myanmar (25), Tailandia (25), Filipinas (17), Brasil (10,6), Pakistán (10,4), Estados Unidos (10,1) y Camboya (9). En cuanto al rendimiento Brasil posee un valor de 5464,3 Kg/Ha, un valor alto en relación a su producción total (Atlas Big, 2020).

El consumo de arroz y por tanto su comercio está diferenciado por los tipos de arroz y por la calidad de los mismos. Se consideran los siguientes tipos de arroz (Agrinova Science, 2018):

- **De grano largo de perfil indica:** este a su vez se clasifica de acuerdo al porcentaje de granos partidos y el que sean o no aromáticos. Este tipo de arroz representa el 85% del comercio mundial de arroz, incluyendo aproximadamente del 10-15% de arroces aromáticos (tipos jazmín y basmatil), 35-40% de arroces de alta calidad (menos del 10% de granos partidos) y del 30-35% de arroces de baja calidad.

- **De grano medio/corto de tipo japónica:** el comercio de este tipo de arroces representa solamente una cuota del 15%

El comercio mundial del arroz durante los próximos 15 años (de 18 millones en 1996 a 21 millones en 2010), se estima que incrementará a razón de una tasa anual de 1.11%, tasa

significativamente inferior a la actual (8.82%) y refleja el hecho de que el impacto mayor de la liberalización comercial mundial ya surtió efecto.

### **1.3. Mercado mundial del arroz**

Debido a las características del mercado mundial del arroz, este contribuye a la volatilidad de los precios. Por tanto se consideran los siguientes aspectos en el mercado internacional del arroz: destacan las pequeñas cantidades comercializadas respecto a las cantidades producidas o consumidas, por ello pequeños cambios en la producción o en el consumo de alguno de los principales productores/consumidores o países compradores vendedores, puede dar lugar a un gran impacto sobre el volumen puesto en el mercado y por tanto, sobre los precios (Agrinova Science, 2018).

Otro aspecto para destacar es el alto grado de concentración entre los exportadores de arroz en el mundo. Ya que el 85% de la exportación procede de 7-9 países, por tanto, variaciones de las ofertas de las existencias de arroz, debidas a la climatología, por ejemplo, repercute finalmente sobre los precios (Infoagro, 2018).

### **1.4. Mejora genética**

El rendimiento mundial del arroz para 1996 fue de 2.52 Tm/ha, se proyecta que para el año 2010 el rendimiento será de 2.87 Tm/Ha, un incremento anual de 0.93%. Incremento un poco optimista si consideramos que el incremento en los últimos 6 años fue de 0.68%, la base para ese rendimiento "optimista" proyectado responde básicamente al desarrollo e incremento en el uso de variedades mejoradas (Correa, 2011)

Las variedades de arroz cultivadas han ido variando en los últimos años, mediante una gradual renovación de las más antiguas, en función de las mejores características; provocando la desaparición de determinadas variedades, pues las nuevas ofrecen mejores rendimientos, una mayor resistencia a enfermedades, altura más baja, mejor calidad de grano o una mayor producción (Agrinova Science, 2018).

Los programas de mejora genética se basan en la producción de plantas de arroz dihaploides, mediante el cultivo de anteras de plantas obtenidas a partir de cruzamientos previos. El empleo de líneas haploides incrementa la eficiencia de selección de caracteres de origen poligénico y facilita la detección de mutaciones recesivas. El cultivo in vitro continuado de líneas de cultivo de anteras origina variaciones génicas, en este caso denominadas gametoclonales, que han dado lugar a nuevas variedades de arroz (Degiovanni & Berrío, 2010).

## **1.5. Requerimientos edafoclimáticos**

### **1.5.1. Clima**

El cultivo de arroz se da en ambientes tropicales y subtropicales, aunque la mayor producción a nivel mundial se concentra en los climas húmedos tropicales, también se puede cultivar en las regiones húmedas de los subtrópicos y en climas templados. El arroz se cultiva desde el nivel del mar hasta los 2.500 msnm. Las precipitaciones condicionan el sistema y las técnicas de cultivo, sobre todo cuando se cultivan en tierras altas, donde están más influenciadas por la variabilidad de las mismas (Agrinova Science, 2018).

### **1.5.2. Temperatura**

El arroz necesita para germinar un mínimo de 10 a 13°C, considerándose su óptimo entre 30 y 35 °C. Por encima de 40°C no se produce la germinación. El crecimiento del tallo, hojas y raíces

tiene un mínimo de 7° C, considerándose su óptimo en los 23°C. Con temperaturas superiores a ésta, las plantas crecen más rápidamente, pero los tejidos se hacen demasiado blandos, siendo más susceptibles a los ataques de enfermedades. El espigado está influido por la temperatura y por la disminución de la duración de los días (Degiovanni & Berrío, 2010).

La panícula, usualmente llamada espiga por el agricultor, comienza a formarse unos treinta días antes del espigado, y siete días después de comenzar su formación alcanza 2 mm. A partir de 15 días antes del espigado se desarrolla la espiga rápidamente, y es éste el período más sensible a las condiciones ambientales adversas (Pulido, 2016).

La floración tiene lugar el mismo día del espigado, o al día siguiente durante las últimas horas de la mañana. Las flores abren sus glumillas durante una o dos horas si el tiempo es soleado y las temperaturas altas. Un tiempo lluvioso y con temperaturas bajas perjudica la polinización (Agrinova Science, 2018).

El mínimo de temperatura para florecer se considera de 15°C. El óptimo de 30°C. Por encima de 50°C no se produce la floración. La respiración alcanza su máxima intensidad cuando la espiga está en zurrón, decreciendo después del espigado. Las temperaturas altas de la noche intensifican la respiración de la planta, con lo que el consumo de las reservas acumuladas durante el día por la función clorofílica es mayor. Por esta razón, las temperaturas bajas durante la noche favorecen la maduración de los granos (Pulido, 2016).

### **1.5.3. Suelo**

El cultivo tiene lugar en una amplia gama de suelos, variando la textura desde arenosa a arcillosa. Se suele cultivar en suelos de textura fina y media, propia del proceso de sedimentación en las amplias llanuras inundadas y deltas de los ríos. Los suelos de textura fina

dificultan las labores, pero son más fértiles al tener mayor contenido de arcilla, materia orgánica y suministrar más nutrientes. Por tanto, la textura del suelo juega un papel importante en el manejo del riego y de los fertilizantes (Pulido, 2016).

#### **1.5.4. pH**

La mayoría de los suelos tienden a cambiar su pH hacia la neutralidad pocas semanas después de la inundación. El pH de los suelos ácidos aumenta con la inundación, mientras que para suelos alcalinos ocurre lo contrario. El pH óptimo para el arroz es 6.6, pues con este valor la liberación microbiana de nitrógeno y fósforo de la materia orgánica, y la disponibilidad de fósforo son altas y además las concentraciones de sustancias que interfieren la absorción de nutrientes, tales como aluminio, manganeso, hierro, dióxido de carbono y ácidos orgánicos están por debajo del nivel tóxico (Agrinova Science, 2018).

### **1.6. Agronomía del cultivo**

#### **1.6.1. Preparación del terreno**

El laboreo de los suelos arroceros de tierras húmedas o de tierras en seco depende de la técnica de establecimiento del cultivo, de la humedad y de los recursos mecanizados (De Datta, 1986). En los países de Asia tropical el laboreo de tierras húmedas es un procedimiento habitual. El método tradicional de labranza para el arroz de tierras bajas es el arado y la cementación, siendo este último muy importante, pues permite el fácil trasplante.

#### **1.6.2. Siembra**

Para que la siembra sea exitosa y se asegure la sobrevivencia de las plantas, es fundamental que la preparación del suelo sea oportuna e ideal; usar semillas de alta pureza germinación y vigor; la siembra debe realizarse uniforme, a la profundidad adecuada y con ayuda de

sembradoras calibradas alcanzar la densidad y profundidad adecuadas; el suministro de agua debe ser oportuno al igual que su drenaje (Agrinova Science, 2018).

Es de vital importancia establecer el mínimo número de plantas por unidad de área para que garanticen un rendimiento alto del cultivo. Para cerciorarse de que el rendimiento sea óptimo, la siembra debe realizarse en épocas climáticas ideales, se deben establecer entre 250 y 300 plantas por m<sup>2</sup> con lo que se obtendría entre 450 y 500 panículas por m<sup>2</sup> para un total de entre 40.000 y 50.000 granos por m<sup>2</sup>. (De Datta, 1986) Cabe resaltar que una alta densidad de siembra genera competencia entre plantas y se favorece la presencia de insectos y enfermedades.

### **1.6.3. Abonado**

**Nitrógeno (N):** gran parte del N del suelo se encuentra en formas orgánicas, formando parte de la materia orgánica y de los restos de cosecha, pero la planta de arroz solo absorbe el nitrógeno de la solución en forma inorgánica (Agrinova Science, 2018). El paso de la forma orgánica del nitrógeno a las formas inorgánicas tiene lugar mediante el proceso de mineralización de la materia orgánica, siendo los productos finales de este proceso distintos según las condiciones del suelo.

El nitrógeno se considera el elemento nutritivo que repercute de forma más directa sobre la producción, pues aumenta el porcentaje de espiguillas rellenas, incrementa la superficie foliar y contribuye además al aumento de calidad del grano. El arroz necesita el nitrógeno en dos momentos críticos del cultivo: en la fase de ahijamiento medio (35-45 días después de la siembra), cuando las plantas están desarrollando la vegetación necesaria para producir arroz, y desde el comienzo del alargamiento del entrenudo superior hasta que este entrenudo alcanza 1.5-2 cm (De Datta, 1986).

El nitrógeno se debe aportar en dos fases: la primera como abonado de fondo, y, la segunda, al comienzo del ciclo reproductivo (Universidad de la República, 2018). La dosis de nitrógeno depende de la variedad, el tipo de suelo, las condiciones climáticas, manejo de los fertilizantes, etc. En general la dosis de 150 kg de nitrógeno por hectárea distribuida dos veces (75% como abonado de fondo, 25% a la iniciación de la panícula).

**Fósforo (P):** influye de manera positiva sobre la productividad del arroz, estimula el desarrollo radicular, favorece el ahijamiento, contribuye a la precocidad y uniformidad de la floración y maduración y mejora la calidad del grano (Agrinova Science, 2018).

El arroz necesita encontrar fósforo disponible en las primeras fases de su desarrollo, por ello es conveniente aportar el abonado fosforado como abonado de fondo (FAO, 2012). Las cantidades de fósforo a aplicar van desde los 50-80 kg de  $P_2O_5$ /ha. Las primeras cifras se recomiendan para terrenos arcillo limosos, mientras que la última cifra se aplica a terrenos sueltos y ligeros (De Datta, 1986).

**Potasio (K):** aumenta la resistencia al encamado, a las enfermedades y a las condiciones climáticas desfavorables (Agrinova Science, 2018). La absorción del potasio durante el ciclo de cultivo transcurre de manera similar a la del nitrógeno. La dosis de potasio a aplicar varía entre 80-150 kg de  $K_2O$ /ha. Las cifras altas se utilizan en suelos sueltos y cuando se utilicen dosis altas de nitrógeno (De Datta, 1986).

## 1.7. Suelos

El suelo proporciona diferentes tipos de servicios ecosistémicos basados en dar sostenimiento a la capa vegetal y proporcionar el ambiente necesario para la proliferación de microorganismos

requeridos para el desarrollo óptimo del ecosistema, sin embargo, estos servicios se han visto deteriorados en términos de su calidad, esto generado por factores naturales como elevadas precipitaciones, altas temperaturas, erosión, entre otros y factores antropogénicos como la deforestación, el sobrepastoreo, aplicación de sustancias químicas, entre otros. Esto desencadena una afectación en la flora creciente que se ve reflejado en la carencia de nutrientes y en la disminución en la productividad agrícola (Firdous *et al.*, 2016).

En Colombia, los procesos de degradación del suelo son provocados principalmente por la erosión, el sellamiento de suelos, la pérdida de materia orgánica, la contaminación, la compactación, la salinización y la desertificación. Estos procesos afectan en gran medida a las regiones Andina, Caribe y Orinoquía y que poco a poco se empiezan a evidenciar en la región Amazónica y en el litoral Pacífico (SIAC, *sf*).

En términos de tiempo geológico, el territorio colombiano tiene una formación reciente, en procesos de respuesta ante eventos estructurales y ante las modificaciones bioclimáticas generadas. En general, en el país, existen ocho grandes unidades o macrounidades morfogénicas cada una con características, comportamiento y procesos diferentes (Mantilla *et al*, *sf*)

Los suelos en Colombia son frágiles y diversos, en los que se destacan los suelos incipientes, poco evolucionados con un 58,1% correspondientes a las órdenes entisoles e inceptisoles. Alrededor de 22 millones de hectáreas poseen vocación agrícola, 4 millones vocación agroforestal y 15 millones vocación ganadera, a pesar de ello tan solo 5 millones de ha se utilizan para agricultura y más de 34 millones de Ha se utilizan para ganadería (Instituto geográfico Agustín Codazzi, 2017).

Las características del suelo son aquellas que limitan la efectividad en la aplicación de los sistemas de riego, en ese sentido, las necesidades de riego dependen de las características físicas del suelo, en especial la porosidad, humedad, precipitaciones y evapotranspiración. Las condiciones estructurales del suelo, sus contenidos de materia orgánica y textura condicionan la frecuencia, el tiempo y la selección de implementos para el riego; en el caso de los suelos arcillosos la frecuencia del riego debe ser amplio y moderadamente intenso sin exceder la capacidad de campo, así se aprovecha al máximo la retención de humedad evitando encharcamiento (Rincón *et al*, 2008).

### **1.8. Manejo de riegos y drenaje**

El sistema de riego empleado en los arrozales es diverso, desde sistemas estáticos, de recirculación y de recogida de agua (Pulido, 2016). Teniendo en cuenta las ventajas e inconvenientes de cada sistema y de su impacto potencial en la calidad del agua, permitirá a los arroceros elegir el sistema más adecuado a sus operaciones de cultivo, a continuación, se describe los dos más usados en Colombia (Agrinova Science, 2018).

**Riego por inundación:** El cultivo tradicional del arroz se considera el más ineficiente en el uso del agua para riego, en algunas ocasiones se llegan a emplear 5.000 L de agua para producir 1 kg de arroz, lo que equivale a 30.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para obtener una producción media de unos 6.000 kg de arroz (IRRI, 2003). Esta baja productividad del agua utilizada no se debe a unas necesidades hídricas elevadas del cultivo, sino al propio sistema de cultivo del arroz inundado. Este sistema requiere la aplicación de una gran cantidad de agua a la parcela para mantener una lámina de agua inundando la parcela a lo largo de su ciclo de cultivo. Mediante el sistema tradicional de cultivo del arroz la parcela está sometida a altas pérdidas de agua debidas a

percolación profunda de la parcela inundada, escorrentía y evaporación directa de la lámina libre de agua a la atmósfera. Estas pérdidas de agua suponen, además, pérdidas de elementos minerales y pesticidas (Aulakh, 1996). Así, Aulakh (1996) estimo que las pérdidas por percolación pueden llegar a ser del 60% y Covay, Sturrock & Sasser (1992) señalan que la escorrentía superficial representa un 31% del total de agua de riego. Sin embargo, (Shah & Ediling, 2000) señalan valores más reducidos. La eficiencia del uso del agua, medida como kg de grano  $m^{-3}$  de agua evapotranspirada, puede ser de hasta  $1,6 \text{ kg } m^{-3}$ , comparable con la del resto de cereales, pero la eficiencia se reduce hasta  $0,39 \text{ kg } m^{-3}$  si se tiene en cuenta el resto de componentes hídricos y se utiliza el volumen de agua de riego utilizada en vez del agua evapotranspirada (Tuong & Bhuiyan, 1999).

Una mejora del manejo del riego que reduzca dichas pérdidas puede incrementar sustancialmente la productividad del agua en este cultivo. La mejora puede darse reduciendo la cantidad de agua que no contribuye a la formación del grano con diversas prácticas y estrategias que optimicen la aplicación de agua a la parcela y asegurando la dotación de riego a la parcela en los momentos adecuados (Covay, Sturrock & Sasser, 1992).

Las pérdidas por percolación profunda se pueden reducir con la creación de un horizonte compactado mediante fangueo, pues la tasa de percolación puede reducirse hasta cinco veces en relación con un suelo no fangueado (Liu *et al*, 2014). Así, las pérdidas por percolación en suelos con horizontes compactados pueden ser de tan solo un 5-9% del total del agua aplicada (Covay, Sturrock, & Sasser, 1992). Sin embargo, (Kato & Katsura, 2014) sugieren que una cierta permeabilidad en las fincas arroceras es importante para mantener la fertilidad a largo plazo ya que el agua que percola lleva oxígeno disuelto a las raíces y diluye o elimina sustancias tóxicas, a pesar de que dicha percolación puede ocasionar pérdidas de nutrientes. En Japón se considera

que una permeabilidad adecuada es 20-30 mm día<sup>-1</sup>, en China, de 9-15 mm día<sup>-1</sup>. Estos valores son superiores a los encontrados en el valle medio del Ebro (4-6 mm día<sup>-1</sup>) (Martinez, 2018).

**Riego por aspersión:** El IRRI (2003) anunció la necesidad de aumentar la producción mundial de arroz en un 60% para el año 2020. La escasez de agua a nivel mundial y el aumento de la demanda de arroz están originando un interés por sistemas de cultivo en los que no se inundan los campos y se emplee menos agua de riego (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018). Estos sistemas se conocen en general como “aeróbicos” (IRRI, 2003), en países como Colombia una de las limitaciones importantes para la producción de arroz es la escasa disponibilidad de agua (Mekonnen, 2019).

El cultivo de arroz con riego por aspersión se ha estudiado en Australia, Brasil, China, EE.UU. e Italia, se han obtenido resultados muy dispares que demuestran que esta técnica de cultivo se comporta de manera diferente en función del tipo de suelo, del clima y del manejo. En general, parece existir una disminución del rendimiento respecto al riego por inundación, que varía entre un 10% y un 50% (Aulakh, 1996). Sin embargo, hay que destacar que el cultivo de arroz bajo riego por aspersión tiene menores costes de cultivo que el arroz tradicional inundado ya que no requiere maquinaria especial ni control de malas hierbas, lo cual es en principio más económico.

### **1.9. Manejo del cultivo**

Para el manejo agronómico del cultivo es necesario tener en cuenta la época de siembra y la selección de la variedad. La época de siembra ideal es definida como el periodo de tiempo en el que el clima, la radiación solar y la temperatura presentan valores óptimos para el desarrollo y crecimiento de las plantas.

De acuerdo a su etapa de desarrollo la planta de arroz requiere diferente cantidad de calorías por  $\text{cm}^2$  por día para alcanzar su mayor potencial. En la fase vegetativa (germinación, plántula y formación de tallos, hojas y raíces) requiere entre 350 y 400  $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día}$ ; en la fase reproductiva (Inflorescencia, granos por panícula) la planta de arroz requiere entre 401 y 500  $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día}$ ; y en la fase de maduración (traslocación, madurez fisiológica) requiere una cantidad mayor a 500  $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día}$ .

En cuanto a la selección de la variedad a sembrar, se debe tener en cuenta la identidad y la procedencia genética; su requerimiento nutricional; el tipo de grano; la duración de cada una de las etapas de desarrollo; tolerancia y susceptibilidad a plagas; la época oportuna de cosecha y la calidad culinaria. Si no se tienen en cuenta estas características a la hora de escoger la variedad de arroz a sembrar la posibilidad de que el rendimiento sea bajo, las plagas incrementen y la calidad del grano se vea afectada aumentan exponencialmente (Fedearroz, 2015).

### **1.10. Manejo de arvenses**

La competencia de las malas hierbas en el arroz varía con el tipo de cultivo, el método de siembra, la variedad y las técnicas de cultivo (preparación del terreno, densidad de siembra, abonado, etc.) (Agrinova Science, 2018). Esta competencia resulta más importante en las primeras fases de crecimiento del cultivo, por tanto, su control temprano es esencial para obtener óptimos rendimientos.

Los suelos inundados favorecen la abundancia de semillas viables de malas hierbas en el arrozal, dando lugar a una flora adventicia específica, de hábito acuático, que requiere métodos adecuados de control. La presencia masiva de malas hierbas puede reducir los rendimientos del arroz hasta en el 50% (Shah & Ediling, 2000).

Entre los métodos agronómicos para el control de las malas hierbas destacan el laboreo, riego, rotaciones y siembra (Covay, Sturrock, & Sasser, 1992). La determinación del límite de profundidad del agua es muy importante para maximizar la eliminación de malas hierbas sin riesgos, ya que, por ejemplo, el incremento de la profundidad del agua aumenta la eficacia en el control de *Echinochloa oryzoides* y *Cyperus difformis*.

El grupo de las monocotiledóneas, dentro de las que se encuentran las gramíneas del género *Echinochloa sp.*, son las arvenses más importantes en el cultivo de arroz, debido a que pueden llegar a afectar considerablemente su rendimiento. Su emergencia es escalonada, precisando de tratamientos repetidos por la escasa persistencia de los productos que la controlan. Los tratamientos se realizan en pre y post-emergencia temprana, antes de la aparición de esta mala hierba; los tratamientos se pueden realizar en seco, de 1 a 2 días antes de la inundación para efectuar la siembra, o después de esta con el campo inundado (De Datta, 1986). Si la aplicación se realiza en seco, antes de la siembra, el herbicida debe enterrarse con la última labor a una profundidad de 4-5 cm. En la tabla 1 se muestran las materias activas, dosis y presentación del producto contra *Echinochloa*:

**Tabla 1.**

Materias activas, dosis y presentación del producto contra *Echinochloa* sp.

<b>Materia Activa</b>	<b>Dosis</b>	<b>Presentación Del Producto</b>
Cicloxdin 10%	2-3 l/ha	Concentrado emulsionable
Cihalofop-butilo 20%	1.5 l/ha	Concentrado emulsionable
Dimepiperato 5%	50-60 l/ha	Gránulo
Molinato 4.5% + Tiobencarb 4.5%	50-60 l/ha	Gránulo
Molinato 7.5%	55-65 l/ha	Gránulo
Quinclorac 25%	2.5-4 l/ha	Suspensión concentrada
Tiobencarb 10%	40-50 l/ha	Gránulo

**Fuente:** Agrinova Science, 2018

Otro grupo importante dentro de las monocotiledóneas, en términos de afectación al cultivo de arroz, son algunas especies de la familia Cyperaceae, como lo son *Cyperus difformis*, *Scirpus maritimus*, *S. mucronatus*, *S. supinus*. En la siguiente tabla se muestra las materias activas, dosis y presentación del producto contra esta familia, estos tratamientos se suelen dar tras la desecación del arroz, entre el ahijado y el encañado (Agrinova Science, 2018).

**Tabla 2.**

Materias activas, dosis y presentación del producto contra Cyperaceas.

<b>Materia Activa</b>	<b>Dosis</b>	<b>Presentación Del Producto</b>
Azimsulfuron 50%	40-50 g/ha	Gránulo dispersable en agua
Bensulfuron 0.08% + Molinato 8%	50-60 kg/ha	Gránulo
Bensulfuron 60%	80-100 g/ha	Granos solubles en agua
Bentazona 87%	1.5-2.5 kg/ha	Microgránulo

**Fuente:** Agrinova Science, 2018

A continuación, se muestran las materias activas, dosis y presentación del producto para controlar la proliferación de especies de la familia Alismataceae. Estos productos son aplicados en post-emergencia temprana, se recomienda cortar el agua para hacer la aplicación y volver a inundar a las 24-48 horas, manteniendo el nivel que cubra las malas hierbas durante 10-15 días (Castillo & Pérez, 2017).

**Tabla 3.**

Materias activas, dosis y presentación del producto contra Alismateceas.

<b>Materia Activa</b>	<b>Dosis</b>	<b>Presentación Del Producto</b>
Azimsulfuron 50%	40-50 g/ha	Gránulo dispersable en agua
Bentazona 40% (sal sódica) + MCPA ácido 6% (sal amina)	3-5 l/ha	Concentrado soluble
Propanil 35%	8-12 l/ha	concentrado emulsionable

**Fuente:** Agrinova Science, 2018

En cuanto a las dicotiledóneas anuales, el control se realiza aplicando Bensulfuron 0.08% + Molinato 8%, presentado como gránulo a dosis de 50-60 kg/ha. Contra gramíneas anuales se aplica Propanil 35%, presentado como concentrado emulsionable a dosis de 8-12 l/ha. En la siguiente tabla se muestra las materias activas, dosis y presentación de los productos contra dicotiledóneas.

**Tabla 4.**

Materias activas, dosis y presentación de los productos contra dicotiledóneas.

<b>Materia Activa</b>	<b>Dosis</b>	<b>Presentación Del Producto</b>
Bensulfuron 60%	80-100 g/ha	Microgránulo
Bentazona 48% (sal sódica)	3-5 l/ha	Concentrado soluble
Bentazona 87%	1.5-2.5 kg/ha	Granos solubles en agua

**Fuente:** Agrinova Science, 2018

Para combatir las malas hierbas acuáticas se emplea Dimepiperato 5% como gránulo a dosis de 50-60 kg/ha y contra Herantera se aplica Oxadiazon 2% como gránulo a dosis de 1-2 l/ha (Agrinova Science, 2018).

Uno de los principales problemas del cultivo del arroz es el arroz salvaje o silvestre, debido a que dan lugar a grandes pérdidas económicas. Este tipo de arroz procede de la especie *Oryza sativa*, pero este se ha originado debido a la facilidad de retrogradación hacia sus orígenes genéticos de las variedades cultivadas. La presencia de arroz salvaje en el cultivo de arroz ha sido constante, incrementándose en los últimos años debido a varios factores: la siembra directa, aumento de variedades cultivadas, imposibilidad de rotación de cultivos y empleo de semilla no certificada (Castillo & Pérez, 2017).

El aspecto del arroz salvaje es similar a las variedades cultivadas diferenciándose solo en algunos detalles: más robustez, coloración verde más intensa en hojas y caña, muy fácil desgranado, espigas aristadas y un gran poder de germinación en condiciones adversas. El

control químico resulta complicado debido a la similitud genética con el arroz cultivado, por lo tanto, no existen herbicidas específicos (De Datta, 1986).

### **1.11. Plagas**

**Gusanos rojos y blancos del arroz:** se trata de las especies *Ortocladius sp.* (Larvas rojas) y *Cricotopus sp.* (Larvas blancas parduzcas). Pasan el invierno en estado larvario, pero al inicio de la primavera aparecen los adultos de la primera generación. La hembra realiza la puesta sobre aguas mansas y claras, la puesta es mucilaginososa, y cuando el arroz está emergido, las puestas se quedan adheridas a los tallos. Las larvas pasan por cuatro estadios hasta alcanzar los 12-16 mm. de longitud, estando caracterizadas por sus diferentes tonalidades (De Datta, 1986).

Las larvas de 3ª y 4ª edad ocasionan fuertes daños en las siembras, alimentándose de las raicillas de las plántulas, además pueden dar lugar a un encamado precoz, que se produce cuando los tratamientos no alcanzan una eficacia suficiente o ha empezado el ataque de la primera generación (Agrinova Science, 2018).

#### **Control:**

- El momento de la aplicación de insecticidas viene determinado por el tiempo transcurrido entre la inundación de la parcela y la siembra.

- Realizar tratamientos tempranos.

- Realizar pulverizaciones o espolvoreos contra los adultos en vuelo.

- Aplicar tratamientos al agua, contra las larvas que se desarrollan en ella, a los pocos días de la siembra, dejando el agua estancada 48 horas.

**Pudenta o chinche del arrozal:** son los insectos *Eusarcoris inconspicuus* y *Eusarcoris perlatus*, que causan graves daños en el arrozal y algunos hasta en el arroz elaborado. Los adultos miden entre 5-6 mm de longitud, de coloración rosa pálido recién realizada la muda, al cabo de unas horas y dependiendo de la exposición de la luz, adquieren el color pardo. La hembra realiza la puesta varias veces sobre las partes aéreas, hojas y espigas de la planta de arroz, o de algunas hierbas adventicias presentes en los arrozales. La pudenta pasa por cinco estados larvarios, todos ellos desprovistos de alas funcionales, las larvas de primera edad se alimentan de las espigas de arroz (Agrinova Science, 2018).

En primavera se produce el avivamiento escalonado de los insectos invernantes, dirigiéndose a las zonas de cultivo del arrozal; desarrollando su máxima actividad al amanecer y al atardecer, pues en las horas de mayor luminosidad y temperatura, se esconden en las partes bajas de la planta, cerca de la superficie del agua, donde las temperaturas son más bajas. Los daños son causados por las larvas de 4ª y 5ª edad y por los adultos que extraen mediante su estilete los jugos de las partes verdes de la planta, siendo su principal fuente de alimentación los granos de arroz (De Datta, 1986).

Dependiendo del estado del grano en el momento de la succión, aparecerán daños diferentes. Si se produce cuando el grano está en estado lechoso, en la recolección estos granos aparecerán deformes, de menor peso que el resto. Si el ataque se produce en estados avanzados, las deformaciones son más ligeras y casi imperceptibles. En el grano maduro, al igual que en los casos anteriores, no se aprecia orificio alguno por la picada. En este último caso, una vez elaborado se aprecia una depresión esférica de 0.2-0.3 mm, a veces, dependiendo de la climatología, alrededor de la lesión se desarrollan hongos saprófitos, que originan una coloración

pardusca apreciable a simple vista. Por tanto, los daños afectan a la calidad y rendimiento- porcentaje de granos elaborados susceptibles de comercializar (Agrinova Science, 2018).

### **Control:**

- Se recomienda realizar un seguimiento parcela por parcela, iniciándose este control siempre por las parcelas más adelantadas. Mientras se observen larvas de primera edad no se debe intervenir, se aconseja esperar a que sólo aparezcan larvas de 2ª y 3ª edad.
- Destrucción de la vegetación espontánea después de la recolección y en los márgenes que circundan el arrozal.
- Realizando la captura de los adultos mediante manga caza-insectos.
- Los tratamientos son generalmente aéreos, excepto en pequeñas parcelas, donde el agricultor realiza los tratamientos con mochila. Si la invasión de los adultos invernantes es intensa, se efectuarán dos aplicaciones: una contra la 1ª generación, a finales de julio o primeros de agosto y una segunda aplicación a primeros de septiembre, sobre la 2ª generación.

**Taladrador del arroz:** (*Chilo suppressalis*), se trata de un lepidóptero originario de los países asiáticos. Los adultos son pequeñas mariposas de 11-25 mm. de longitud, de color blanco amarillento con un punteado distribuido de manera irregular, estos viven entre ocho y diez días, apareándose a los dos días de su transformación en adultos. La puesta se realiza en el envés de las hojas y rara vez en el tallo, siempre a la sombra, protegida de la luz y de los vientos secos. Las larvas se desarrollan totalmente sobre el cultivo, mudan cinco veces, transcurriendo entre

cada muda unos cinco a seis días. En el primer estadio, viven en el exterior de la planta, para posteriormente penetrar en ella (Agrinova Science, 2018).

Los daños causados por las larvas de la 1ª generación solo ocasionan ligeras podredumbres que no afectan al desarrollo posterior de la planta. Es de importancia los daños causados por las larvas de la 2ª, ya que al perforar y penetrar en los tallos afectan el grano.

### **Control:**

- La lucha química se basa en realizar dos o tres tratamientos aéreos, uno por generación, siendo el primero de ellos ultra bajo volumen, empleando como productos Piridafention, en las zonas más próximas a los humedales y Fenitrothion en el resto; ambos a una dosis de 1.7-1.8 l/ha.
- En la lucha biológica se emplean diferentes métodos: la suelta de parásitos naturales de los géneros *Trichogramma* y *Apanteles*, y a veces con parásitos ovípagos. Otro método es el empleo de feromonas mediante el trapeo masivo (elimina los machos mediante su captura de forma que las hembras queden sin fecundar) y el confusionismo sexual (basado en la disrupción del comportamiento sexual de los machos, por la elevada concentración de vapores de feromonas sintéticas en la atmósfera próxima al cultivo) (Agrinova Science, 2018).

**Tijeretas del arrozal:** Se trata de las pupas de los dípteros de la familia Ephydriidae, dichas pupas se observan en las hojas de las plántulas de arroz en sus primeros estadios. La característica más importante, de la que deriva su nombre, es la presencia de un apéndice quitinoso bífido, que permanece cuando se fija a la raíz mediante un órgano prensil formado por los tres últimos segmentos. La larva se engrosa, fijándose en el soporte y cambiando de coloración desde gris a amarillento, durando este periodo entre 4-5 días. Las tijeretas perjudican el desarrollo del cultivo sólo cuando se fijan en grandes cantidades (González, 2020).

**Control:**

- Como su ciclo coincide con el de los gusanos rojos, al tratar estos, se eliminan las tijeretas, no siendo frecuente los tratamientos específicos.

**Rosquilla:** (*Mythimna sp.*), son lepidópteros de origen americano con gran distribución geográfica. Sus larvas llegan a alcanzar hasta 4 cm de longitud completando su desarrollo en 25-30 días, son de color pardo verdoso, con tres líneas dorsales blanquecinas. A principios de julio tiene lugar la puesta sobre el envés de las hojas, alcanzando las larvas su máximo desarrollo a los 25-30 días, formando la crisálida entre el tallo y la vaina de las hojas. Las orugas devoran las hojas desde los márgenes de la parcela o en rodales en los que el arroz está más receptivo para la puesta (González, 2020).

**Control:**

- Captura de adultos con lámparas, que ejercen gran atracción.
- Pulverizaciones en las horas crepusculares a las primeras manifestaciones de la plaga.
- Se recomienda la aplicación a dosis de 1.5-2 kg/ha de Triclorfon y 30 L de caldo mediante aplicación aérea.

**Pulgones:** son insectos hemípteros de la familia Aphidae, considerados una plaga esporádica y transitoria en el arrozal. Los daños se manifiestan a partir de la floración, observándose sobre las hojas y espigas. Si los ataques se producen en estado lechoso del arroz, se producen deformaciones en las espigas y granos (UNCTAD, 2006).

**Control:**

- Se realizan tratamientos químicos empleando Fenitrothion 60%, presentado como líquido ultra bajo volumen, a dosis de 1.25-2 l/ha.

**Algas:** en el arrozal inundado están presentes algas microscópicas y macroscópicas que viven en asociaciones, que varían y evolucionan con mayor o menor rapidez en función de las condiciones ambientales, además las propias técnicas de cultivo determinan variaciones en dichas asociaciones (Agrinova Science, 2018). Los daños producidos por las algas dependen de las especies, de la importancia de la masa de algas y de la etapa del cultivo; éstas compiten por la luz y oxígeno, produciendo clorosis y marchitez de las plántulas e incluso su arranque del suelo, dificultando su alimentación y arraigo. Asimismo, impiden la realización de tratamientos herbicidas, reduciendo su eficacia, al recubrir la masa de algas también las malas hierbas.

Las especies más perjudiciales pertenecen al grupo de las algas verdes o clorofíceas y corresponden a los géneros *Oedogonium*, *Vaucheria*, *Hydrodictylon*, *Spirogyra* y *Cladophora*. El desarrollo de las algas es más rápido cuanto más alta es la temperatura del agua y del aire y más elevada la diferencia de temperaturas entre la superficie y el fondo de la capa de agua (FAO, 2012).

**Control:**

- Tratamientos químicos a las semillas con fungicidas que contenga efectos plaguicidas.
- Aplicación de productos en las acequias de riego y en las boqueras de entrada del agua y la realización de pulverizaciones en campo.

- Una de las materias activas que se emplea en la actualidad es Propanil 35%, presentado como concentrado emulsionable a una dosis de 8-12 l/ha (Agrinova Science, 2018).

### **1.12. Enfermedades**

**Añublo de la vaina:** esta enfermedad es causada por el hongo *Rhizoctonia solani*, es considerada como la segunda en importancia económica después de la *Pyricularia*. Su propagación se debe a la intensidad del cultivo, al amplio uso de variedades tempranas o semi-tempranas y al aumento en el uso de fertilizantes nitrogenados. Las lesiones se producen principalmente en la vaina, siendo éstas en un principio de forma ovoide, de color gris verdoso, con una longitud que varía entre 1 y 3 cm. de largo. El centro de la lesión se torna blanco-grisácea, con un margen marrón. La presencia de diferentes lesiones que lleguen a unirse causando la muerte de las hojas o hasta de la planta entera. La enfermedad se acentúa en condiciones de elevada humedad y temperatura. La humedad está muy influenciada por la densidad de siembra, por tanto, una alta densidad de siembra y elevadas dosis de aplicación de fertilizantes, tienden a incrementar el efecto de esta enfermedad (Agrinova Science, 2018).

#### **Control:**

- Recolectar las plantas afectadas.
- Manejo adecuado del agua, drenando 5-7 días en el estado de máximo ahijamiento.
- Se recomienda la siembra en línea en vez de la manual y la aplicación de superfosfato de calcio.

**Podredumbre del tallo:** generado por *Fusarium moliniforme* y *Sarocladium oryzae*, esta podredumbre se produce en la hoja que envuelve a la panícula. Estas manchas pueden llegar a unirse pudiendo cubrir la mayor parte de la superficie de la hoja. Las panículas sólo sufren una podredumbre parcial, aunque puede observarse un polvo blanquecino dentro de la vaina y en la panícula (Agrinova Science, 2018).

**Control:**

- Saneamiento del suelo.
- Utilizar altas dosis de potasio y dosis equilibradas de nitrógeno.
- Algunos cultivares mejorados genéticamente son resistentes a la podredumbre del tallo.
- Quemar los rastrojos después de la recolección.

**Mancha marrón:** esta enfermedad es causada por *Cochliobolus miyabeanus* y *Drechslera oryzae*, esta enfermedad produce manchas de forma oval y de color marrón con un centro blanquecino o gris. En ocasiones, numerosas manchas en una hoja causan que éstas se tornen de color blanco. Estas manchas además de aparecer en las hojas pueden observarse en las glumas, vaina y brácteas de la panícula. Los granos infectados tienen menor peso y como consecuencia menor calidad (Infoagro, 2018).

**Control:**

- Empleo de semilla certificada
- Controlar las condiciones del suelo (drenaje y nutrientes).

**Tungro:** se trata de una de las enfermedades más destructivas del arroz, los síntomas se manifiestan en las hojas, pues estas se tornan de color amarillo o naranja. Esta enfermedad está causada por un complejo vírico formado por el virus esférico (RTSV) y el virus baciforme (RTBV), siendo transmitido este complejo vírico por varias especies de homópteros. El incremento de esta enfermedad está asociado con el incremento de la población del vector (Agrinova Science, 2018).

**Control:**

- La siembra muy temprana o muy tardía está asociada con la ausencia de Tungro.
- Aplicación temprana de insecticidas sistémicos.
- Aplicaciones suplementarias de nitrógeno.

**Bruzone del arroz:** el agente fúngico que causa esta enfermedad es *Piricularia grisea* (*Magnaporthe grisea*), el cual produce lesiones de forma elíptica que en el centro posee una coloración grisácea o blanquecina, mientras que los márgenes son de color café, que se localizan en la vaina y/o en los nudos del tallo. Las plantas de arroz son susceptibles a contraer la enfermedad desde la germinación hasta la época de macollamiento y existe una mayor probabilidad de que esta enfermedad aparezca cuando los suelos poseen baja fertilidad (Cuevas, *sf*).

**Control:**

- Siembra de variedades de arroz que toleren y resistan esta enfermedad.
- Adecuada densidad de siembra.
- Proveer una nutrición adecuada y oportuna.

- Uso eficiente del agua.

**Virus de la hoja blanca:** El insecto sogata (*Tagosodes orizicolus*) transmite el virus VHB quien genera la enfermedad, la cual genera manchas blancuzcas en las hojas de la planta de arroz que cuando se fusionan forman líneas. Además, puede llegar a afectar la forma de los granos y como consecuencia generar la muerte de la inflorescencia. Los síntomas aparecen transcurridos 10 a 15 días desde que la planta haya sido infectada, afectando hojas y panículas (Cuevas, *sf*).

**Control:**

- Evitar el uso indebido de insecticidas que puedan aumentar las poblaciones del insecto sogata.
- Eliminar las plantas afectadas.
- Eliminar los residuos de plantas que encuentren infectadas.
- Uso de variedades tolerantes.

**Tizón bacteriano:** esta enfermedad es causada por la bacteria *Xanthomonas campestris*, es característica por generar pequeñas manchas acuosas o lesiones en el borde de las hojas, las cuales pueden aumentar de tamaño y formar ondulaciones en el borde hasta ocupar toda la lámina foliar e incluso invadir la vaina de la hoja. Las plantas infectadas muestran raquitismo y raíces blandas que con el tiempo se desprenden. Esta enfermedad se asocia con infecciones tempranas en las cuales el crecimiento permanece activo pero los vasos del xilema se encuentran bloqueados por la aparición de la masa bacteriana (Chaudhary *et al*, 2003).

**Control:**

- Darle tratamiento antibiótico a las semillas previo a la siembra que se encuentren reguladas.

- Uso de variedades resistentes a la bacteria.
- Adecuada manipulación de las plántulas al trasplantar.
- Buen drenaje de los cultivos.
- Eliminar la maleza y hospederos aleaños al cultivo.
- Regular la aplicación de fertilizantes.

**Raquitismo folioso:** es una enfermedad viral transmitida por el saltamontes marrón *Nilaparvata lugens*, la cual se manifiesta como un serio raquitismo, un exceso de macollaje y un hábito de crecimiento erecto. Las hojas son cortas, angostas, erectas y de color verde pálido que a menudo poseen manchas pequeñas y marrones de diversas formas. Cuando una planta en estadio temprano de desarrollo presenta la enfermedad presentan un abundante macollaje y muere prematuramente, sin embargo, si las plantas se infectan en etapas posteriores desarrollan síntomas similares al tungro, lo cual dificulta su diferenciación (Chaudhary *et al*, 2003).

**Control:**

- Usar variedades resistentes.
- Usar pesticidas solo como último recurso para controlar las poblaciones del vector.
- No aplicar cantidades excesivas de fertilizantes nitrogenados.
- Eliminar la maleza que circunda el cultivo y que pueda permitir la proliferación del insecto.
- Mantener una densidad de siembra óptima.

**Escaldado:** es una enfermedad causada por el hongo *Rhynchosporium oryzae* (*Gerlachia oryzae*), el cual es un patógeno que ataca las hojas más viejas después de haberse formado la panícula, genera lesiones en el ápice de las hojas los cuales parecen parches acuosos que luego se convierten en bandas de color marrón claro encerradas por un marco de color café claro. Generalmente las manchas crecen al punto de unirse y secar la hoja. Esta enfermedad puede causar pérdidas del 20% al 30% del rendimiento total del cultivo (Intrigado *et al*, 1991).

**Control:**

- Usar semillas resistentes.
- Evitar la excesiva fertilización nitrogenada.
- Mantener un buen drenaje, sobre todo en la época de máximo macollamiento.
- Mantener balanceado el pH de los suelos.

**Falso carbón:** esta enfermedad es transmitida por el hongo *Ustilaginoidea virens*, el cual genera un reemplazo en el endospermo de la semilla por una capsula globosa aterciopelada de color amarillo que con el tiempo se torna oscura. No afecta en magnitud a las semillas, sin embargo, las semillas aledañas a las afectadas son estériles (Vivas & Intriago, 2014).

**Control:**

- Se recomienda usar variedades de semillas tolerantes a esta enfermedad.
- Usar semillas certificadas.
- Eliminar todo agente que pueda favorecer las condiciones de los vectores.

### **1.13. Cosecha**

El momento óptimo de recolección es cuando la panícula alcanza su madurez fisiológica (cuando el 95% de los granos tengan el color paja y el resto estén amarillentos) y la humedad del grano sea del 20 al 27%. Se recomienda la recolección mecanizada empleando una cosechadora provista de orugas (UNCTAD, 2006).

En el precio del arroz tiene especial interés el porcentaje de granos enteros sobre el total de los cosechados, pues este valor depende sobre todo de la variedad, pero también varía en función del momento de la recolección, ya que si el arroz se siega muy verde, el periodo de manipulación se incrementa en el secadero, con el resultado de una disminución de dicho porcentaje (Hamilton, 2004). Después del trillado el arroz puede presentar una humedad del 25 al 30%, por lo que debe secarse hasta alcanzar un grado de humedad inferior al 14%.

### **1.14. Poscosecha**

Una vez finalizadas las operaciones de recolección y secado, de cada partida destinada a semilla, se llevan a cabo las determinaciones de calidad reglamentarias (impurezas, humedad, granos rojos, germinación, etc.), eliminándose las que no reúnen las debidas condiciones. La selección mecánica tiene por objeto separar aquellas materias o tipos de granos que no interesa conservar junto a la semilla seleccionada, mejorando la calidad de la misma (Agrinova Science, 2018). Esta operación se realiza mediante máquinas limpiadoras y seleccionadoras, que eliminan las materias indeseables (cascarilla, pajas, granos partidos, semillas de malas hierbas, etc.).

## 2. Distrito de riego en el cultivo del arroz

El sistema de distribución de agua en un distrito de riego consta de una serie de canales y de estructuras que se requieren para conducir el agua de las fuentes de abastecimiento o derivación a todos los puntos de la zona regable (Agrinova Science, 2018).

El sistema de distribución está formado por la red de canales de riego, los cuales se denominan canales principales que parten de las obras de captación, canales laterales o secundarios que parten de los canales principales o primarios, canales sublaterales o terciarios que parten de los secundarios y así sucesivamente hasta las acequias que son pequeños canales que conducen el agua de riego hasta los surcos o melgas en los sistemas de riego por gravedad (De Datta, 1986).

Los canales son conducciones a superficie libre que se utilizan en sistemas de suministro de agua para riego y en sistemas de drenaje para la evacuación de las aguas provenientes de las lluvias. Dentro de su estudio se incluyen los canales naturales y los canales artificiales. Los canales naturales son las corrientes naturales; se denominan ríos, quebradas, arroyos, caños o zanjones de acuerdo con su importancia y con la región donde se encuentran. Se caracterizan porque su caudal es variable, transportan material sólido como carga de fondo o en suspensión, están sometidos a procesos de socavación y de sedimentación, cambian de curso, forman brazos e islas, sufren continuos ataques de las corrientes contra las márgenes y pueden desbordarse generando inundaciones en las zonas aledañas (Covay, Sturrock, & Sasser, 1992).

Los canales artificiales se conocen simplemente como canales. Se diseñan y se construyen para conducir volúmenes determinados de agua desde una fuente de suministro hasta un centro de consumo (Agrinova Science, 2018). Su funcionamiento está controlado y no deben estar

sujetos a procesos de erosión y sedimentación. En tramos de muy baja pendiente pueden ser excavados en el terreno natural y no necesitan revestimiento; sin embargo, en la mayoría de los casos los canales son revestidos en arcilla, colchonetas, piedra pegada, losas de concreto, concreto reforzado o elementos prefabricados (Martinez, 2018)

En algunos sistemas de riego los canales pueden emplearse entre la captación y el tanque sedimentador, y luego entre el desarenador y el tanque de almacenamiento. En otros, dependiendo de la forma como se programe la distribución del agua a los predios a partir del tanque de almacenamiento, se utilizan tuberías o combinaciones de tuberías y canales (Kato & Katsura, 2014).

### **3. Distrito de riego el zulia**

#### **3.1. Municipio El Zulia**

El Zulia es un municipio colombiano ubicado en la región oriental del departamento de Norte de Santander, hace parte del Área metropolitana de Cúcuta.

**Figura 1.**

Localización del municipio de El Zulia en el departamento de Norte de Santander.



Fuente: (Wikipedia, 2020).

Las principales actividades económicas del Zulia son la agricultura, los cultivos de café, arroz, maíz, yuca, cacao, caña de azúcar. En cuanto a explotación y minería, la región es rica en arcillas, calizas, carbón y arenas (Alcaldía de El Zulia, 2015).

Posee una altitud de 220 msnm, una extensión total de 537 Km<sup>2</sup> y se encuentra a una distancia de 12 Km de la capital del departamento, Cúcuta. Limita al norte y al oriente con Cúcuta, al sur con San Cayetano y Santiago y al occidente con Sardinata y Gramalote. Todas las fuentes de agua superficiales que bañan al municipio pertenecen a la cuenca del río Catatumbo, del que es afluente el río Zulia, además de estos ríos se encuentran el Peralonso y San Miguel, y numerosas quebradas dentro de las que se destacan Alejandra, Carbonera, Victoria, Zaragoza, Colorada, Mesonera, El Mestizo, Páramo, Las micas (Cúcuta nuestra, 2020).

El río Zulia se forma de varios arroyos procedentes de unas lagunas en el páramo de Cachirí, en el departamento de Santander a 4220 msnm, en la cordillera oriental de los Andes. El río nace

en la vertiente de colinas septentrional del Páramo de Santurbán, al oeste del Tamá, a 3500 msnm y tiene un recorrido de 310 km. Su longitud en su tramo por Norte de Santander es de 154 km. En el tramo venezolano su longitud es de 141 km, comprendiendo 6 km de tramo binacional; 26 km marcan el límite interestatal Táchira - Zulia, y 109 km fluyen por territorio zuliano (Alcaldía de El Zulia, 2015).

El río Zulia es una fuente de abastecimiento de agua de la ciudad de Cúcuta, así como a todo el departamento de Norte de Santander. Entre sus principales afluentes se encuentran por su margen derecha los ríos Grita, Oropé, Táchira y Pamplonita, y por su margen izquierda, los ríos Peralonso, Salazar, caño Motilón, caño Medio, Arboledas y Madre Vieja del Río Tarra (González, 2020).

### **3.2. Características del distrito de riego de El Zulia y el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.)**

El distrito de riego El Zulia alcanza una temperatura que varía durante el año entre 22°C a 33°C. La temporada de verano se da desde mediados de junio hasta mediados de agosto y desde mediados de diciembre hasta mediados de marzo, mientras que la época invernal se da entre los meses de marzo a finales de mayo y de septiembre hasta finales de noviembre. En términos de precipitación, el mes en el que la lluvia es más intensa se reportan 102 mm, correspondientes al mes de octubre. El viento varía su velocidad durante el año de 8,7 Km/h a 10,9 Km/h (Weather spark, 2020).

El siguiente mapa, muestra la ubicación del casco urbano del municipio El Zulia y su respectivo distrito de riego, localizado en las coordenadas Latitud: 7°56'27.32"N Longitud: 72°35'17.08"O.

## Figura 2.

Imagen satelital, El Zulia, Norte de Santander.



Fuente: Google Earth, *sf*.

Dentro del distrito de riego de El Zulia se encuentran 1150 predios, los cuales están en manos de 1120 usuarios, dedicados en su mayoría al cultivo de arroz. El distrito posee un total de 8500 Ha, las cuales son irrigadas con  $14 \text{ m}^3$  por acción gravitatoria, tomados del caudal del río Zulia, sin embargo, en temporada de sequía la irrigación disminuye a  $4 \text{ m}^3$  debido a que el caudal del río es menor, por lo que resulta necesario realizar turnos de riego para suplir los requerimientos hídricos de los cultivos. La infraestructura de este distrito cuenta con 425 Km de vías, 410 Km de canales primarios, secundarios, terciarios de riego, 250 Km de drenaje, 85 Km de diques o jarillones para el control de inundaciones (Asozulia, 2020).

En el distrito de riego El Zulia como a nivel nacional se siembran distintas referencias de arroz que desde 1970 se han lanzado, como resultado de la revolución verde se destacan la IR22, IR8 y Cica 4, con el paso del tiempo se han desarrollado nuevas referencias como lo son Oryzica

1 y Cica 8 las cuales aumentaron considerablemente el rendimiento de los cultivos. Adicional a estas referencias Fedearroz ha desarrollado distintas, entre las más recientes se encuentran la Fedearroz 60 y la Fedearroz 174. En términos de variedades, el arroz paddy verde es una de las más comunes a nivel nacional (Fedearroz, *sf*).

Este es el distrito de riego más grande del país, desde hace más de 10 años se ha venido realizando el cultivo y la producción de arroz, de allí su importancia, dado que el arroz es el alimento básico para más de la mitad de la población mundial, es el más importante del mundo si se considera la extensión de la superficie en que se cultiva y la cantidad de personas que dependen de su cosecha. A nivel mundial, el arroz ocupa el segundo lugar después del trigo en términos de la superficie cosechada, pero si se tiene en cuenta su importancia como cultivo alimenticio, el arroz proporciona más calorías por hectárea que cualquier otro cereal (Infoagro, 2018).

Según el DANE en Colombia, al año hay una producción cercana a 1,7 millones de toneladas de arroz que consumen 8,5 mil millones de m<sup>3</sup> de agua. Esta producción es proveniente de 215 municipios ubicados en los Llanos Orientales, Tolima, Huila y Santanderes, siendo este último uno de los más relevantes dado que cuenta con el distrito de riego más grande e importante del país, El Zulia (Barona, 2010).

El Zulia es el principal distrito productor y cultivador de arroz del país, allí se cultiva entre el 38 al 42% de la producción total, requiriendo en promedio 4,2 mil millones de m<sup>3</sup> procedentes del río Zulia (Liu *et al*, 2014). El arroz en esta zona se caracteriza por que se cultiva bajo el agua para protegerlo de malas hierbas que pueden robarle nutrientes, espacio y luz además de atraer plagas (Instituto geográfico Agustín Codazzi, 2017).

### 3.3. Problemática alrededor del uso del agua

Tal como se ha establecido anteriormente, el arroz (*Oryza sativa*) es una planta anual, monocotiledónea, que pertenece a la familia Poaceae y se caracteriza por ser semi-acuática, es decir, su siembra se realiza en inundación continua durante la mayor parte de su ciclo de crecimiento (Agronet, 2019). Como cultivo el arroz tiene relativamente pocas adaptaciones a las condiciones de agua y es extremadamente sensible a la sequía (El Tiempo, 2020), en promedio se usa 5.000 litros de agua para producir 1 kg de arroz. En comparación con otros cultivos, la producción de arroz es menos eficiente en la forma en que utiliza el agua. El trigo, por ejemplo, consume 4.000 m<sup>3</sup>/Ha, mientras que el arroz consume 7.650 m<sup>3</sup>/ha para obtener la misma cantidad de cereal (Kamoshita, 2018).

El consumo de grandes volúmenes de agua en el cultivo de arroz en el distrito de riego del Zulia se asocia directamente a las malas prácticas culturales en torno al manejo del agua y a la ineficiencia del riego por gravedad. Por su parte, la oferta hídrica se ha visto afectada por la degradación de las cuencas de los distritos de riego y por el cambio climático, de esta forma la localización geográfica y la orografía que ubican a Colombia entre los países con mayor riqueza hídrica no es suficiente para evitar PSRH (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2017).

Una alta PSRH está relacionada con un índice de uso de aguas (IUA) mayor a 0.5, que corresponde a la relación entre la demanda y la oferta hídrica disponible para la misma unidad espacial de referencia en un cierto periodo de tiempo (González, Saldarriaga, & Jaramillo, 2010). Tanto en Santander como en Norte de Santander el 68 % de los municipios (32) presentan un IUA mayor a 0.5, donde el 81.5% de agua es consumida por el sector agrícola y la mayor demanda hídrica está concentrada alrededor de los distritos de riego para el cultivo de arroz. Es

importante tener en cuenta que el índice de uso de aguas (IUA) se ve afectada por la falta de educación ambiental; la deficiente aplicación normativa; la poca adopción de tecnologías; la contaminación hídrica, la deforestación y la ampliación de la frontera agrícola y pecuaria (IDEAM, *sf*)

El exceso de agua y la desnivelación del área cultivable generan erosión, daños en la estructura física y pérdidas de suelo agrícola, aumentando el contenido de arenas de poca retención hídrica, inertes desde el punto de vista químico, carentes de propiedades coloidales y de reserva de nutrientes por lo tanto, con la erosión se deteriora la fertilidad y aumenta la demanda de fertilizantes (Orjuela, 2014).

El exceso de agua inhibe la germinación, disminuye el macollamiento y alarga el tallo de las plántulas favoreciendo su caída (Kamoshita, 2018). Todo lo anterior resulta en incremento de costos por mayor uso de semilla, fertilizantes y agua, además, por la necesidad de remoción de sedimentos presentes en los canales que aumentan la tarifa cobrada por los distritos de riego (Cortés, 2013).

El problema ambiental y de rentabilidad del cultivo de arroz mencionado anteriormente reafirma la necesidad de implementar tecnologías de producción agrícola alternativas que contribuyan al uso eficiente del recurso hídrico, lo cual se ha ratificado en las diferentes agendas prospectivas y de desarrollo tecnológico del Gobierno Colombiano (Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, 2014-2018; Visión Colombia II Centenario: 2019). Es perentorio que los productores de arroz se preparen para incrementar eficaz y eficientemente la productividad de arroz, ya que en el 2030 el tratado de libre comercio permitirá la importación de arroz desde Estados Unidos (EUA) sin costo de arancel (González, Saldarriaga, & Jaramillo, 2010).

#### **4. Uso sostenible del agua en la agricultura**

Según los resultados de la séptima edición del Estudio Nacional de Agua (ENA), que se presentó en Bogotá, la demanda total de este líquido en Colombia entre 2012 y 2019 registró un incremento del 5%, al ascender a los 37.308 millones de m<sup>3</sup>, siendo la agricultura el sector que mayor uso hace de los recursos hídricos (Martinez, 2018).

Esta actividad económica, una de las más importantes que se desarrolla en el país y que en 2018 aportó 4,28% al Producto Interno Bruto (PIB) nacional, consume el 43,1% del total de agua usada en Colombia, porcentaje que si bien es alto, también evidencia una reducción frente a hace una década cuando era superior al 50% (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018).

Los cultivos permanentes y los transitorios que se cultivan en un ciclo corto deben volver a sembrarse para seguir produciendo, son los mayores usuarios del vital líquido, que cada vez es más escaso. Del total de agua que se requiere para satisfacer las necesidades hídricas de la agricultura, el 90% proviene de aguas lluvias y el 10% de riego, siendo la caña, palma, plátano y el arroz, los cultivos que más demandan (Martinez, 2018).

Por lo anterior, el uso sostenible del agua y su optimización en la agricultura requiere de inversión y aprovechamiento de tecnologías. Una de las más conocidas es la adopción de sistemas de riego. De acuerdo con la revista AgroBanco de Perú, los sistemas de riego tecnificado pueden garantizar mayor eficiencia en el uso del agua y así se evita el desperdicio de este recurso. La instalación de distritos de riego son una intervención que genera un impacto positivo en el uso del agua, debido a que su construcción está alineada con los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas, debido a que fortalece la resiliencia y la capacidad

de adaptación frente a la inestabilidad y escasez producto de la crisis climática actual. Además, potencia y promueve el crecimiento económico y social inclusivo, ya que este desarrollo permite obtener producción a lo largo del año sin depender de la estacionalidad de lluvias, lo que genera un impacto positivo directamente en la economía familiar.

Existen distintos sistemas de riego, como lo es por goteo, multicompuertas, impulso, microaspersión, entre otros, y se utilizan de acuerdo con la necesidad del cultivo. Este tipo de tecnología permite saber cuándo, cuánto y cómo se regó (CropLife, 2018).

Por ello, está en las manos de los agricultores, la posibilidad de hacer un uso sostenible del agua en la agricultura para producir más y mejores alimentos. Se debe comprometer tanto profesionales como gobernadores a hacer un buen uso de este recurso, con el buen uso de las tecnologías que permitan la optimización de esta para la producción y con la inversión en ciencia y tecnología para desarrollar más herramientas que mitiguen los efectos del cambio climático como la sequía o las inundaciones.

## **5. Uso de agua en cultivos agrícolas a nivel nacional e internacional**

El agua es fuente y motor de vida en el planeta, cerca de un 75% de la superficie del globo está cubierta por agua; no obstante, menos del 1% es apta para sostener la vida humana, en un planeta con una capacidad ambiental limitada, que está sometido a una gran presión antrópica a causa del crecimiento demográfico y el modelo de desarrollo actual (Alvarez, 2018).

El acelerado crecimiento de la población mundial sumado a una demencial demanda de alimentos en las diferentes regiones de nuestro planeta y el rompimiento de barreras físicas de mercadeo y comercialización ha generado una consecuencia común para los países con evidente

vocación agrícola: “Para sobrevivir se debe producir más” (Orjuela, 2014). Esta premisa involucra en términos generales al sector agropecuario y sus estrategias para incrementar los rendimientos productivos a un bajo costo, que genere rentabilidad y competitividad, pero enmarcado en un esquema de manejo racional de los recursos agua y suelo.

El uso del agua para fines agrícolas es un tema central en cualquier debate sobre los recursos hídricos y la seguridad alimentaria. En promedio, en la agricultura se ocupa el 70 % del agua que se extrae en el mundo, y las actividades agrícolas representan una proporción aún mayor del "uso consuntivo del agua" debido a la evapotranspiración de los cultivos (Mekonnen, 2019).

El consumo de agua en la agricultura por países depende de varios factores, entre los que se destaca el número de habitantes, la dimensión del país, la economía y las culturas gastronómicas. A nivel mundial, los países que mayor consumen el recurso hídrico en labores agrícolas, realizando cultivos tales como el arroz, son: China, consumo un 21%, seguido de Indonesia y Bangladesh, quienes consumen en promedio el 12% del agua total disponible a nivel mundial (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018).

A pesar de que el continente americano cuenta con recursos hídricos suficientes en términos de cantidad, la disponibilidad de los mismos para la agricultura se ve afectada por la irregular distribución espacial y temporal de la precipitación, la insuficiencia de obras de regulación, la degradación de las cuencas y de la calidad del agua, lo que finalmente incide en la capacidad para la producción de alimentos (Alvarez, 2018). Estados Unidos y Canadá consumen el 3% del agua, Chile, México y Brasil, consumen en promedio el 2%, Colombia, siendo el tercer país más grande de Latinoamérica, consume solo el 0.7% del recurso hídrico, esto dado a las bajas

inversiones que ha realizado el gobierno nacional a la participación de los agricultores y académicos para desarrollar cultivos más eficientes y alternativas alimentarias.

A nivel mundial, problemáticas tales como el aumento de la población, la urbanización, la industrialización y el cambio climático, se precisa que una mejora en la eficiencia del uso del agua vaya acompañada de una reasignación del agua para la siembra de nuevos cultivos, específicamente de trigo y arroz en 25 % y 40% respectivamente (Mekonnen, 2019). Esta distribución se da, debido al alto consumo del agua que tienen estos dos cultivos, aunque el cultivo de arroz consume 1.8 veces más agua que el de trigo.

Existe una dicotomía frente al uso del agua en la agricultura, debido a que es necesario utilizar menor cantidad de agua para fines agrícolas, pero por otro lado el uso intensivo del agua es fundamental en el aumento sostenible de la producción alimenticia. Para acercarse a una solución es necesario reconsiderar de manera importante la gestión del agua dentro del sector agrícola y su reposicionamiento en la ordenación general del recurso hídrico y de su sostenimiento. Aumentar la eficiencia en el consumo de agua en el contexto agrícola depende, entre otros aspectos, en emparejar las mejoras fuera de la producción agrícola con los incentivos tecnológicos dentro de la explotación agrícola orientadas a mejorar la gestión del suelo y del agua y a mejorar la calidad de las semillas (Banco Mundial, 2020).

## **6. Sistemas agrícolas y utilización del agua en Colombia para el cultivo de arroz**

Colombia ocupa el séptimo puesto en el ranking de los países con mayor disponibilidad de recursos hídricos. Según el Estudio Nacional de Agua 2019, la oferta Hídrica de Colombia asciende a 2.300 km<sup>3</sup>/año, la cual está distribuida según la zonificación hidrográfica en Colombia

en tres niveles: primer nivel: 5 áreas hidrográficas; segundo nivel: 41 zonas hidrográficas y tercer nivel: 309 subzonas hidrográficas (Franco, 2020).

La demanda asociada a la distribución geográfica de la población en Colombia coincide con la disponibilidad de recursos hídricos, por lo anterior, se concluye que existe una mayor demanda en el área hidrográfica de Magdalena – Cauca, donde se encuentran asentados la mayor parte de la población, la cual no cuenta con la mayor disponibilidad de agua; mientras las zonas de la Amazonia y Orinoquia, donde se concentra la mayor disponibilidad de agua del país, cuenta con una población de apenas cerca del 10% de la población nacional (IDEAM, 2015).

Colombia tiene el 5% de los recursos hídricos mundiales, un porcentaje bastante alto si se tiene en cuenta que Sudamérica tiene en total el 28%, por lo que se hace necesario cuidarlos (Arévalo , Lozano, & Sabogal, 2017). Es claro que se trata de recursos finitos que cada día se ven más afectados por diferentes factores, entre los que sobresalen, la deforestación y la descontrolada ampliación de la frontera agrícola.

En Colombia, como en muchos países, el arroz (*Oryza sativa L*) es básico en la canasta familiar, el segundo cereal con mayor área cosechada y un cultivo que ejerce una gran presión sobre el recurso hídrico (Barona, 2010) El sector agrícola en Colombia demanda anualmente 54% del agua consumida (19386 millones (M) de m<sup>3</sup>), de los cuales 4185 Mm<sup>3</sup> son implementados para el cultivo de arroz y de estos, se estima que solo 962 Mm<sup>3</sup> son consumidos de forma efectiva. Para el Norte de Santander, uno de los dos principales productores de arroz del país, la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ) y las asociaciones de usuarios de los distritos de riego, estiman que la demanda de agua en zonas inundables oscila entre 16000 y 30000 m<sup>3</sup>/Ha-cosecha (Fedearroz, 2018).

El cultivo de arroz por inundación ahorra tiempo, esfuerzo y dinero a los agricultores, sino que además permite cultivar arroz libre de herbicidas. Sin embargo, exceso de agua y la desnivelación del área cultivable generan erosión, daños en la estructura física y pérdidas de suelo agrícola, aumentando el contenido de arenas de poca retención hídrica, inertes desde el punto de vista químico, carentes de propiedades coloidales y de reserva de nutrientes, por lo tanto, con la erosión se deteriora la fertilidad y aumenta la demanda de fertilizantes (Cortés, 2013).

Estudios realizados por Infoagro (2019) han concluido que “El exceso de agua inhibe la germinación y el uso de láminas muy altas y tempranas, disminuyen el macollamiento y alargan el tallo de las plántulas favoreciendo su volcamiento. Todo lo anterior resulta en incremento de costos por mayor uso de semilla, fertilizantes y agua.”

En Colombia se han venido desarrollando diferentes tecnologías que evitan el desperdicio del agua y permiten que su uso sea óptimo. Algunas de las tecnologías modernas e innovadoras utilizadas son el uso de la agricultura de precisión; el monitoreo del rendimiento del cultivo, el cual permite identificar los factores que limitan la producción; el uso adecuado del suelo y del agua desde un punto de vista físico, químico y biológico; la nivelación georreferenciada que permite un trazado de caballones y nivelación del suelo de manera más precisa; y un manejo preciso de la siembra, la profundidad a la que se realiza y el abonado (Fedearroz, 2018).

Estudios realizados por la Agencia Estadounidense de Protección Ambiental, definen que el cultivo de arroz en el sistema de riego del Zulia es una fuente importante de gases con efecto invernadero. Se ha demostrado que el cultivo de arroz bajo riego contribuye entre el 10% y el 25% de las emisiones globales de metano (CH<sub>4</sub>), principalmente, por culpa de la acción metanogénica de las bacterias que bombean toneladas de ese gas, cuando descomponen la

materia orgánica en los campos de arroz inundados. Además, las sustancias químicas que se aplican a las plantaciones y la deposición de envases plásticos en el suelo contaminan las aguas y provocan la muerte de peces y otros animales acuáticos de aguas abajo (Orjuela, 2014).

## **7. Implementación de los distritos de riego en Colombia**

El agua es un líquido esencial y primordial para el desarrollo vegetativo y productivo de cultivos, así como uno de los componentes para la producción ganadera, indistintamente de la escala que se considere (Cortés, 2013). La mejor alternativa para garantizar el suministro del preciado líquido con fines agropecuarios es la construcción de distritos de riego y en las zonas que se requiere un control de las inundaciones y condiciones atípicas de precipitación, los distritos de drenaje (Orjuela, 2014).

Según la Agencia de Desarrollo Rural (ADR) un distrito de riego es la delimitación del área de influencia de las obras de infraestructura destinadas para dotar a la misma con riego, drenaje o protección contra inundaciones, con el propósito de elevar la productividad agropecuaria (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2017). Según esto, un distrito de riego implica la distribución de un área de tierra y con ellos estudios agrológicos para saber qué utilidad pueden tener esos suelos, para qué son aptos. Posterior a la distribución de cultivos, de acuerdo con las características de los suelos, debe buscarse la forma de cómo se hará llegar el agua a dichos distritos de riego para aumentar la producción.

Se puede cultivar en un distrito de producción sin riego, pero la producción sería de una cosecha al año (Cortés, 2013), con riego se puede cosechar hasta tres veces al año. Es

recomendable señalar las parcelas, hacer una red de canales principales, canales secundarios y terciarios, que son los que llevan el agua finalmente a las parcelas.

En Colombia para el año 2018, se han logrado consolidar un total de 731 Distritos, de los cuales 18 son considerados como los más grandes, es decir a gran escala, que actualmente ocupan 248.220 hectáreas de 11 departamentos y albergan 35.240 usuarios (Instituto geográfico Agustín Codazzi, 2017).

Para que un distrito de riego tenga éxito a la hora de optimizar el uso del recurso hídrico debe poseer las siguientes características y estudios:

- Estructuración del área en secciones de riego, de acuerdo a la topografía del terreno.
- Se deben revisar y limpiar constantemente los canales principales de conducción del agua desde la bocatoma de la fuente de agua hasta el lote de almacenamiento.
- Tener obras hidráulicas como (bocatomas, canales de conducción, partidores, sifones, desarenadores y demás) en buen estado de construcción y mantenimiento, que permita hacer un buen uso de estos.
- Los canales de riego deberán ser diseñados de acuerdo al caudal que se requiere para irrigar el área de cultivo.
- Establecer una red de canales de riego y de drenajes en cada lote, que le permita irrigar y drenar de manera rápida evitando inundaciones (Fedearroz, 2018).

Estudios realizados por El IGAC evidenciaron que, de las 18 grandes infraestructuras de riego y drenaje, tan solo dos tienen estudios a profundidad: los Distritos de Riego del El Zulia, ubicado en el departamento de Norte de Santander, y el de Drenaje del Valle de Sibundoy en Putumayo (Kato & Katsura, 2014).

## **8. Reglamentación vigente y propuesta de manejo del recurso agua en Colombia**

En lo referente al marco jurídico de la gestión y reglamentación vigente y propuesta de manejo del recurso agua en Colombia (Secretaria de agricultura, 2017), se pueden citar los siguientes documentos:

- Ley 23 de 1973. Por el cual se conceden facultades extraordinarias al presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 2811 de 1974. Estableció el código de recursos naturales (Código Nacional de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente, CNRN).
- Ley 09 de 1979. Conocida como el código nacional de saneamiento, establece normas generales y procedimientos de control de la calidad del agua destinados a proteger la salud humana.
- Constitución de Colombia de 1991. 43 artículos definen la misión del gobierno nacional con respecto a los asuntos medioambientales y establecen un marco de acción para el manejo medioambiental, que incluye el manejo de los recursos hídricos.
- Ley 41 de 1993, Tiene por objeto regular la construcción de obras de adecuación de tierras, con el fin de mejorar y hacer más productivas las actividades agropecuarias, velando por la defensa y conservación de las cuencas hidrográficas.

- Ley 99 de 1993, Establece el Ministerio de Medio Ambiente y organiza un nuevo marco institucional, el Sistema Nacional Ambiental. La ley 99 contiene consideraciones legales, institucionales y financieras destinadas a manejar el medio ambiente de una forma eficaz y eficiente.

- Ley 373 de 1997. Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se entiende por programa para el uso eficiente y ahorro de agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico.

- Decreto 1729 de 2002. Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas. Y de la elaboración de los planes de ordenación de cuencas hidrográficas.

## **9. Avances tecnológicos a nivel internacional y nacional para la optimización del riego en el cultivo del arroz**

La agricultura es una actividad económica fundamental en países en desarrollo como Colombia, toda vez que es la principal fuente de empleo y generación de ingresos para el sector rural (Junguito, Perfetti, & Becerra, 2014).

A nivel mundial, más de 330 millones de hectáreas cuentan con instalaciones de riego. La agricultura de regadío representa el 20 % del total de la superficie cultivada y aporta el 40 % de la producción total de alimentos en todo el mundo (El Tiempo, 2020).

### **9.1. Prácticas de conservación de suelos y manejo integrado de cultivos para riego y humedad**

Esta técnica es una buena práctica agronómica, agroecológica y tecnologías para el manejo sostenible de suelos que favorecen la conservación in situ del agua. En relación al manejo sostenible del agua, el aporte principal de estas tecnologías es en relación a su apoyo a la zona de recarga hídrica o fuentes de agua en el entorno de las cuencas y microcuencas hidrográficas (Arévalo , Lozano, & Sabogal, 2017). Su aplicación permite que los agricultores puedan realizar sus procesos productivos de manera sostenible y bajo un enfoque de protección ambiental.

#### **Ventajas**

- Son prácticas que favorecen los microclimas y ecosistemas naturales.
- Se mejoran los suelos y se pueden proteger fuentes de agua naturales.
- Sirven para lograr una diversificación productiva, manejo de animales y mejora de la dieta alimenticia e ingresos familiares.

- Permiten una mejor integración de la familia y en especial a las mujeres.
- Los excedentes productivos, semillas y material vegetativo se pueden colocar en el mercado local.

#### Desventajas

- Implica tener más tierra disponible para agricultura.
- Se requieren ciertos conocimientos agroecológicos y de reciclaje de materiales.
- Se demanda más mano de obra aparte de la familiar.
- Debe existir mercado local para productos y subproductos

### **9.2. Protección de manantiales o fuentes de agua**

Son las prácticas que se realizan para mejorar la producción de agua, en cantidad y calidad, reducir o eliminar las fuentes de contaminación para tener agua segura para el consumo de la familia y garantizar la producción inocua de alimentos que se producen en el patio o la finca.

Se busca asegurar el abastecimiento de agua a partir de la captación segura de pequeñas fuentes subterráneas de agua ubicadas en las proximidades de las viviendas o de las parcelas agrícolas (Cadena, 2019). Dentro de estas prácticas se pueden destacar: barreras vivas, barreras muertas, cercado de fuentes de agua, reforestación, incorporación de rastrojos, reciclaje, uso de abonos orgánicos, uso de productos biológicos y sistemas silvopastoriles entre otras.

#### **Ventajas**

- Por lo general son fuentes que están cercanas a las viviendas o parcelas.
- Permite la participación de toda la familia.
- Se logra usando materiales locales.

- Fácil de construir y de darle mantenimiento por los mismos usuarios o familias beneficiarias.

- Requiere de una pequeña inversión.
- Mayor posibilidad de contar con agua de buena calidad microbiológica.
- Existe utilización de material educativo básico para operación y mantenimiento.

### **Desventajas**

- En algunos casos existe racionamiento del servicio por el bajo rendimiento o agotamiento de la fuente.

- Generalmente implica acarreo del agua a la vivienda y almacenamiento intra-domiciliario.

- Si es para fines domésticos, el agua está expuesta a contaminación por acarreo, almacenamiento y manipulación.

- Si es para fines productivos, el uso del agua tiene que ser regulado si no, se crean conflictos entre los usuarios.

- Por lo general con una sola conexión se atienden a varios usuarios.

- Se requiere de una mínima organización comunal que vele por el adecuado uso y mantenimiento del punto de abastecimiento y de su entorno.

### **9.3. Tecnologías para la captación y almacenamiento de agua**

Tradicionalmente las fuentes de agua provienen de quebradas, ríos o lagunas, esto implica que estas fuentes mantengan caudales permanentes y en especial su flujo al final del verano de cada año y así poder definir su uso para fines de consumo humano y productivo.

Otros sitios de captación incluyen nacientes, manantiales, ojos de agua o chagüites y pozos superficiales. Actualmente las técnicas de captación, más utilizadas en zonas secas son la recolección de agua de lluvia, de escorrentía y la extracción de aguas subterráneas; estas técnicas tienen como complemento, el establecimiento de estructuras de almacenamiento (Banco Mundial, 2020).

### **Ventajas**

- Es de fácil construcción con apoyo de personas locales.
- No ocupa mucho espacio debido a que está enterrada.
- Se llena con agua de techo, potable, de río, aguas conducidas por bombas EMAS y por escorrentías.

### **Desventajas**

- Dependiendo de su tamaño y uso la capacidad es limitada.
- No se recomienda para suelos muy arcillosos o muy arenosos, pues tienen costos de construcción muy elevados.
- Necesita de una inversión inicial importante.
- Se requiere apoyo de un constructor local.

## **9.4. Inteligencia artificial**

Investigaciones realizadas por el departamento de Agronomía de la Universidad de Córdoba, buscan desarrollar un modelo capaz de predecir con antelación el agua que demandará diariamente cada regante en el cultivo de arroz. Según el investigador Gonzalez (2020), “lo innovador del modelo reside en la aplicación de técnicas de inteligencia artificial como la lógica

difusa, un sistema usado para explicar el comportamiento de toma de decisiones que, en este caso, mezclas variables más fáciles de medir como las agroclimáticas o el tamaño de la parcela de riego; con otras variables más complicadas como las prácticas tradicionales de la zona o las vacaciones durante la estación de riego.”

El modelo FIS (por las siglas en inglés de Sistema de Lógica Difusa) traduce las variables de entrada (temperatura, humedad, etc.) al lenguaje en el que trabajan sus reglas. Aplicando algoritmos genéticos se establecen las curvas óptimas de esos parámetros de entrada y, mediante redes neuronales, se establece la relación entre los mismos (Liu *et al*, 2014). Como resultado, se extrae la lámina de riego aplicado en la que se establecerá cuántos milímetros van a ser usados por cada regante.

Esta herramienta trata de poner freno a la variabilidad de la demanda de agua. De esta manera, las comunidades de regantes podrán hacer una planificación más organizada y veraz de sus suministros, anteponerse a los problemas de adecuación de las estaciones de bombeo y organizar eficientemente las tareas de mantenimiento y arreglo de averías sin derrochar agua ni afectar a las zonas de regadío.

Este avance tecnológico, según la Asociación Agraria de Jóvenes Agricultores (Asaja, 2018) concluye que: “La posibilidad de adelantarse a las peticiones de agua permite también contratar el personal y la energía eléctrica que sean estrictamente necesarios, optimizando también estos recursos y ahorrando en costes económicos y medioambientales”. Además, teniendo en cuenta las altas cantidades de agua que se necesitan para el desarrollo del cultivo, se cree que la que la inteligencia artificial puede mejorar en la gestión del agua y reducir el volumen que se necesita en cada siembra.

Otro grupo de estudiantes de la Pontificia Universidad Javeriana desarrollo una tecnología basada en el uso de drones autónomos capaces de despegar y aterrizar sin intervención manual, que poseen una cámara multispectral provista de cuatro lentes que toman fotografías en distintos rangos de luz, tienen incorporados sensores de temperatura, radiación y presión atmosférica, además, desarrollan algoritmos de funcionamiento, un sistema de navegación y una plataforma digital que recibe la información recolectada. Los datos recolectados permiten predecir el estado de la siembra y obtener información sobre la relación genética de los individuos a partir del color del cultivo, la altura y los nutrientes asimilados (Colorado, 2017).

### **9.5. Isótopos**

La evapotranspiración de agua proveniente del suelo es uno de los factores que afecta en mayor medida la eficiencia del uso del agua. La posibilidad de cuantificar el agua que se evapora desde el suelo y por transpiración vegetal aporta información sobre la cantidad de riego que se debe emplear y en qué etapa del cultivo agregar, esto desempeña un papel fundamental en la óptima gestión del agua.

Las técnicas nucleares e isotópicas desempeñan un papel determinante a la hora de proporcionar información esencial para estructurar estrategias destinadas a mejorar la gestión del agua en un contexto agrícola, estas técnicas se basan en el uso de:

➤ Las firmas isotópicas del Oxígeno 18 e Hidrógeno 2 presentes en el agua, permiten separar el agua de riego en agua que proviene de la evapotranspiración directa del suelo y en agua producto de la transpiración vegetal lo que ofrece información clave para optimizar la cantidad de agua que requiere la planta.

- Sonda de neutrones, la cual aporta datos exactos sobre el agua disponible en las inmediaciones de las raíces de las plantas. Esto permite fijar un calendario de riego más exacto, además, es el medio más adecuado para medir la humedad del suelo cuando las condiciones son salinas.
- El seguimiento de la firma isotópica del Nitrógeno 15 permite conocer el movimiento de los fertilizantes nitrogenados marcados presentes en el cultivo, en el suelo y el agua. Lo que es esencial para determinar los factores que afectan la eficiencia del uso del Nitrógeno como abono y la posible contaminación de este elemento en las cuencas cercanas a los cultivos.
- Según el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA, por sus siglas en inglés) la sonda de neutrones de rayos cósmicos permite evaluar el flujo del agua en el terreno, lo que ayuda a establecer estrategias de gestión del uso sostenible y óptimo del agua (IAEA, *sf*).

## **9.6. Tecnificación del riego**

La correcta implementación de un riego tecnificado parte del conocimiento de los requerimientos hídricos de los cultivos y de la sensibilidad estacional al déficit hídrico. El objetivo de la tecnificación el riego se basa en gestionar el agua para que cubra las necesidades de los cultivos y aplicarla para que pueda ser aprovechada al máximo por la planta, además, en el escenario actual de cambio climático donde el desperdicio de agua genera fuertes implicaciones económicas y sociales, conocer en qué momentos y bajo qué circunstancias aplicar el agua resulta indispensable para ser eficientes en el óptimo uso del agua. Existen diferentes herramientas que permiten tecnificar el cultivo, como lo son:

- Uso de la plataforma web IRRIX, desarrollada en el IRTA, que ajusta la dosis de riego a las necesidades diarias del cultivo, realiza desde la toma de datos en campo, su procesamiento e integración con la meteorología hasta la comunicación con los instrumentos instalados en campo.
- La implementación de teledetección aplicada al riego de precisión merma el sobrerriego y el desperdicio de agua que se da en un riego tradicional. Este método monitorea rápidamente todo el cultivo, dando valores de temperatura de la cubierta vegetal, lo que permite estimar la pérdida de agua por transpiración de las plantas (IAGUA, *sf*).

### **9.7. Modificación de semillas**

El desarrollo de cultivos tolerantes a la sequía ha sido una de las aplicaciones más sorprendentes de la tecnología agrícola. Este desarrollo se basa en producir, por selección, las semillas que requieren menor cantidad de agua. Las semillas que ahorran agua permiten a los productores agrícolas usar menor cantidad de agua para obtener los mismos productos que con semillas normales, lo que también reduce el impacto negativo traducido en baja disponibilidad de agua, que trae consigo el cambio climático (Agricultura Moderna, 2018).

### **9.8. Programa de Adopción Masiva de Tecnología (AMTEC)**

Es un modelo de transferencia tecnológica, el cual busca la competitividad y rentabilidad del productor arrocero. Este programa está basado en la producción sostenible, en la reducción de los costos de producción, preservación del medio ambiente y en la aplicación de buenas prácticas agrícolas bajo un contexto de responsabilidad social.

El objetivo de este programa es establecer la base técnica y metodológica para asesorar a los agricultores a lo largo de todas las etapas de producción arroceras, para transferir de forma continua todos los desarrollos tecnológicos disponibles para el correcto y óptimo manejo del cultivo, permitiendo que el productor pueda evidenciar de manera directa sus beneficios, lo que se traduce en una producción más eficiente y por consiguiente con mejores ingresos.

Para que la aplicación de este programa se realice correctamente se debe realizar un diagnóstico previo del estado del cultivo, posteriormente se realiza una planificación económica, financiera y agronómica, para luego realizar un manejo agronómico organizado, el cual se basa en seleccionar la época de siembra y la variedad correcta, establecer los componentes del suelo, preparación y adecuación de suelos, uso racional del agua en el riego y drenaje, establecer la densidad adecuada de plantas, ofrecer una nutrición oportuna y balanceada y dar un correcto manejo fitosanitario (Fedearroz, 2018).

### **9.9. Otras tecnologías**

Existe un mecanismo para llevar el arroz aeróbico a condiciones anaeróbicas, para ello se emplea el sistema intensivo del cultivo de arroz (SICA), el sistema de producción de arroz con suelo cubierto (Ground Cover Rice Production System GCRPS), el arroz cultivado en suelo saturado (SS) o con intermitencia en el riego (IR); en los que se pueden utilizar tecnologías para alternar la humedad y el secado (Alternative Wetting Drying AWD), se pueden usar también polítubos con múltiple entrada de agua (Multiple Inlet Rice Irrigation MIRI). El arroz bajo inundación se utilizan diferentes técnicas de riego como lo son los diques rectos, diques en contorno a curva de nivel, riego corrido y en condiciones de pendiente cero (González & Alonso, 2016).

## Conclusiones

- Establecimiento de campañas de concientización sobre el uso eficiente del agua, sobre la importancia y los mecanismos de ahorro de este recurso. Lo que implica todo un plan de educación ambiental participativo con las personas que habitan y hacen parte del distrito de riego.
- Diversificación de la producción por parte de los agricultores del sector, a través de cultivos agroforestales como cacao y frutales que pueden ser usados como complementos al cultivo de arroz y que merma la dependencia de la participación del arroz en el mercado y el uso de monocultivos.
- La protección de los recursos naturales asegura la calidad del agua, manejo adecuado al medio ambiente, manejo adecuado al sector agrícola para evitar la pérdida desmesurada e innecesaria del agua.
- Tecnologías para la captación y análisis de big data e inteligencia artificial. Una de estas tecnologías se basa en la agricultura de precisión la cual toma datos exactos sobre el área a cultivar y establece recomendaciones sobre el tipo de variedad a sembrar y el manejo del riego que se debe emplear para evitar el desperdicio de insumos y recursos naturales invertidos.
- Uso de sensores de humedad del suelo, la estimación de la evapotranspiración soportados en datos satelitales, servicios bajo solicitud en los sistemas de abastecimiento del agua.

## Recomendaciones

- Desarrollar políticas públicas que permitan garantizar la estabilidad y economía regional en la cual el cultivo de arroz sea el eje de desarrollo social, económico y ambiental.
- Implementar buenas prácticas agrícolas mediante la aplicación de programas viables establecidos por entidades del estado en coordinación y activa participación de actores locales.
- Implementar herramientas de educación ambiental para instalar y desarrollar capacidades en la población que potencialicen una cultura medioambientalmente sostenible.
- Crear asociaciones y juntas de productores que potencialicen la organización social en los que se promueva su ahorro y distribución equitativa.
- Construir y adecuar reservorios para almacenamiento de agua, preferiblemente cubiertos, que puedan ser usados en época de sequía y así disminuir la carga que se ejerce sobre los cuerpos de agua, y reducir las pérdidas de las cosechas.
- Invertir recursos económicos en la mejora de los sistemas de riego por medio de la implementación de tecnologías amigables con el medio ambiente.
- Elaborar un plan estratégico situacional en el que se contemplen tiempos y turnos de riego para que todos los usuarios puedan tener acceso al agua de manera equitativa.
- Implementar sistemas de riego por goteo y microaspersión, a fin de disminuir pérdidas innecesarias y optimizar los sistemas de riego utilizados en El Zulia.

## Bibliografía

- Agrinova Science. (2018). Infoagro. <https://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/arroz.htm>
- Agronet. (2 de Febrero de 2019). Área, producción y rendimiento nacional por cultivo. <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
- Agricultura Moderna (2018). La Agricultura y el Manejo de Agua. <https://www.agmoderna.com.ar/conservar-el-agua/la-agricultura-y-el-manejo-del-agua/>
- Alcaldía de El Zulia. (2015). Información general sobre el municipio. <http://www.elzulia-nortedesantander.gov.co/>
- Alvarez, O. V. (2018). Nuevos campos de precipitación. XXIII Congreso latinoamericano de Hidráulica, 21-25.
- Arévalo , D., Lozano, J., & Sabogal, J. (2017). Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia en el sector agrícola. Revista sostenibilidad, tecnología y humanismo, 53-62.
- Asaja. (2018). Inteligencia artificial evoluciona el uso del agua en la agricultura. <https://www.elagoradiario.com/a-fondo/la-inteligencia-artificial-el-nuevo-aparejo-del-campo/>
- Asozulia. Asociación de usuarios del distrito de adecuación de tierras de gran escala del río Zulia. (2020). <http://asozulia.com/site/category/programas/>
- Atlas big. (2020). Producción de arroz mundial por país. <https://www.atlasbig.com/es-mx/paises-por-produccion-de-arroz>

Aulakh, M. (1996). Nitrogen losses and fertilizer N use efficiency in irrigated porous soils. *Nutr Cycl Agroecosys*, 197-212.

Banco Mundial. (2020). El agua en la agricultura.  
<https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>

Barona, E. (2010). Importancia de la semilla de arroz. *Revista Arroz. Federación Colombiana de Arroz. Huila, Colombia.*, 23-27.

Cadena, M. (2019). Gestión del agua para riego en prácticas de agricultura. *Fundacin America*, 87-95.

Castillo, E., Pérez, R. (2017). Evaluación de líneas y cultivares de arroz ante la infección del hongo *Pyricularia grisea* en la provincia Sancti Spiritus. *Revista Centro Agrícola*, Vol 44 (3).

Chaudhary, R., Nanda, J., Tran, D. (2003). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. Roma, Italia.

Colorado, J. (2017). Desarrollo de una herramienta para la agricultura de precisión en los cultivos de arroz: sensado del estado de crecimiento y de nutrición de las plantas usando un dron autónomo. *Pesquisa Javeriana*. Bogotá, Colombia.

Correa, F. (2011). Combinaciones de genes en arroz para el desarrollo de resistencia durable a *Pyricularia grisea* en Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, Universidad Nacional de Colombia, 15-85.

Cortés, B. (2013). Uso del modelo aquacrop para estimar rendimientos para el cultivo de arroz en los departamentos de Santander, Tolima y Meta. Bogotá: Proyecto de cooperación técnica TCP/COL/3302.FAO.

Covay , K., Sturrock , A., & Sasser , D. (1992). Water requirements for growing rice in southwestern Louisiana, 1985-86. Department of Transportation and Development, Baton Rouge, LA, EE.UU., 52.

CropLife. (2018). Uso sostenible del agua, un desafío de la agricultura del futuro. <https://www.croplifela.org/es/actualidad/noticias/uso-sostenible-del-agua-un-desafio-de-la-agricultura-del-futuro#:~:text=El%20uso%20sostenible%20del%20agua%20y%20su%20optimizaci%C3%B3n%20en%20la,inversi%C3%B3n%20y%20aprovechamiento%20de%20tecnolog%C3%ADa>

Cúcuta nuestra (2020). El Zulia, Norte de Santander. <https://www.cucutanuestra.com/temas/geografia/municipios/region-centro/el-zulia/el-zulia.htm>

Cuevas, A. sf. Manejo Integrado de Plagas en el Cultivo de Arroz. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Investigación Fondo Nacional del Arroz (Fedearroz). Cúcuta, Colombia

De Datta, S. K. (1986). Producción de arroz: fundamentos y prácticas . México: Limusa.

Degiovanni , V., & Berrío, L. (2010). Origen, taxonomía, anatomía y morfología de la planta de arroz (*Oryza sativa* L.). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)., 3-25.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). Objetivos de desarrollo sostenible. Agricultura sostenible. <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/sustainable-agriculture/es/>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2012). Seguimiento del mercado del arroz. <http://www.fao.org/3/an891s/an891s00.pdf>
- FEDEARROZ. Federación Nacional de Arroceros. (2015). Adopción Masiva de Tecnología, guía de trabajo. Monica Vera Editorial. Colombia.
- FEDEARROZ. Federacion Nacional de Arroceros. (2018). Discurso instalación del XXXIV congreso nacional arrocero del doctor Rafael Hernández. <http://www.fedearroz.com.co/revistanew/arroz508.pdf>
- FEDEARROZ. Federacion Nacional de Arroceros. (2018). Adopción masiva de tecnología. Monica Vera Editorial. Colombia.
- FEDEARROZ. Federación Nacional de Arroceros. sf. Investigación y Transferencia de Tecnología. <http://www.fedearroz.com.co/new/investFNA.php>
- Firdous, S., Begum S., Yasmin. A. (2016). Assessment of soil quality parameters using multivariate analysis in the Rawal Lake watershed. *Environmental Monitoring and Assessment*. 188:533. doi:10.1007/s10661-016-5527-5.
- Flores del Castillo, E. Y., & Pérez Polanco, R. L. (2017). Evaluación de líneas y cultivares de arroz ante la infección del hongo *Pyricularia grisea* en la provincia Sancti Spiritus. *Agro Agrícola*, 44(3), 88-90.
- Franco, O. G. (2020). Estudio nacional del agua. *Journal of Hydroinformatics*, 291-297.
- Gobernacion de Cundinamarca. (2018). Distritos de Riego Cundinamarca. [http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeagricultura/Secagri culturadespliegue/asdesarrollorural\\_contenidos/csecreagri\\_distritos-de-](http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeagricultura/Secagri culturadespliegue/asdesarrollorural_contenidos/csecreagri_distritos-de-)

riego#:~:text=Seg%C3%BAAn%20la%20agencia%20de%20desarrollo,opera%20un%20distrito%20de%20riego%.

Google. sf. [Mapa del municipio de El zulia y El Distrito de Riego El Zulia, Norte de Santander, Colombia en google earth]

<https://earth.google.com/web/search/El+Zulia,+Norte+de+Santander>

González, M., Saldarriaga, G., & Jaramillo, O. (2010). Estimación de la demanda de agua. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP5.pdf>

González, R. (2020). Prediction of applied irrigation depths at farm level using artificial intelligence techniques. *Agricultural Water Management*, 229-240.

González, M., Alonso, A. (2016). Tecnologías para ahorrar agua en el cultivo de arroz. *NOVA*. 13 (26): 67-82.

Hamilton, R. (2004). *The Art of Rice: Spirit and Sustenance in Asia*. UCLA Fowler Museum of Cultural History., 522.

IAEA. Organismo Internacional de Energía Atómica. sf. Gestión del agua con fines agrícolas. <https://www.iaea.org/es/temas/gestion-del-agua-con-fines-agricolas>

IAGUA. sf. Ciencia y tecnologías para el uso eficiente del agua en la agricultura. <https://www.iagua.es/noticias/irta/ciencia-y-tecnologias-uso-eficiente-agua-agricultura>

IDEAM. (2015). Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático ante la., (pág. 2). Bogota.

IDEAM. sf. Índice del uso del agua. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/iua#>

Infoagro. (2018). El cultivo de arroz. <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/arroz.htm>

Intrigado, M., García, B., Peláez, G., Estupiñan, I., Villao, F. (1991). Principales enfermedades del arroz en el Ecuador y su Manejo. Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Instituto geográfico Agustín Codazzi. (2017). Producción agropecuaria en los grandes Distritos de riego de Colombia ha sido improvisada: IGAC. <https://igac.gov.co/es/noticias/produccion-agropecuaria-en-los-grandes-distritos-de-riego-de-colombia-ha-sido-improvisada#:~:text=De%20los%2018%20Distritos%20de,y%20capacidad%20de%20sus%20tierras.>

IRRI. (2003). Aerobic rice: preparing for a water crisis. Rice Research: The Way Forward. Annual report 2000-2001: , 20-21.

Junguito, R., Perfetti, J., & Becerra, A. (2014). Desarrollo de la agricultura colombiana. Bogotá: Cuadernos Fedesarrollo N 48, 53.

Kamoshita, A. (2018). Phenotypic and genotypic analysis of drought-resistance traits for development of rice cultivars adapted to rainfed environments. Field Crops Research, , vol. 109, no. 1–3, pp. 1-23, ISSN 0378-4290, DOI 10.1016/j.fcr.2008.06.010.

Kato, Y., & Katsura, K. (2014). Rice adaptation to aerobic soils: physiological considerations and implications for agronomy. Plant Production Science, 17(1), 1-12.

Liu, M., Lin, S., Saiz, G., Tao, Y., & Dannenmann, M. (2014). Do water-saving ground cover rice production systems increase grain yields at regional scales?. Field crops research, 150, 19-28.

M. Mekonnen, H. A. (2019). The green, blue and grey water footprint of production and consumption. National Water Footprint accounts, 2.

Martinez, M. (2018). Tecnologías para el uso sostenible del agua: una contribución a la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático.  
[http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/AGRO\\_Noticias/docs/Tecnologias\\_para\\_el\\_uso\\_sostenible\\_del\\_agua.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/Tecnologias_para_el_uso_sostenible_del_agua.pdf)

Mantilla, G., De la Torre, L., Gómez, C., Ordóñez, E., Ceballos, J., Euscátegui, C., Pérez, P., Pérez, S., Martínez, N., Sánchez R., Maldonado, N., Gaitán, J., Chávez, L., Chamorro, C., Flórez, A. (sf). Los suelos: estabilidad, productividad y degradación. El Medio Ambiente en Colombia.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). Anuario estadístico 2018. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2.

Naturalista, CONABIO (2020). <https://colombia.inaturalist.org/taxa/61381-Oryza-sativa>. Acceso 22 de noviembre del 2020.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible. <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/sustainable-agriculture/es/>

Orjuela, H. (2014). Hidraco. Distritos de riego en Colombia: Una actividad latente: <http://www.hidraco.co/blog-hidraco/distritos-de-riego-en-colombia-una-necesidad-latente>

Pulido, J. (2016). Estimación de pérdidas en los cultivos de arroz secano en tres fincas de los municipios de Yopal y Aguazul por algunos factores edafoclimáticos. *Revista de Ciencias Unisalle*, 36-52.

Redaccion El Tiempo. (2020). El cultivo de arroz en Colombia.  
<https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1246592>.

Rincón, A., Castro, H., Gómez, M. (2008). Caracterización física de los suelos sulfatados ácidos del Distrito de Riego del Alto Chicamocha (Boyacá) y su aplicación al manejo. *Agronomía Colombiana*, vol 26 (1) pp 134 - 145. Bogotá, Colombia.

Secretaria de agricultura. (2017). Distritos de riego.  
[http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeagricultura/Secagri culturadespliegue/asdesarrollorural\\_contenidos/csecreagri\\_distritos-de-riego](http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeagricultura/Secagri culturadespliegue/asdesarrollorural_contenidos/csecreagri_distritos-de-riego)

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017). Distritos de riego.  
<http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeagricultura/Secagri culturadespli>

Sistema de Información Ambiental en Colombia. Ministerio de Ambiente de Desarrollo Sostenible.  
[http://www.siac.gov.co/sueloscolombia#:~:text=Los%20suelos%20de%20Colombia%20son,inceptisoles%20\(IGAC%2C%202012\).](http://www.siac.gov.co/sueloscolombia#:~:text=Los%20suelos%20de%20Colombia%20son,inceptisoles%20(IGAC%2C%202012).)

Shah, S., & Ediling, R. (2000). Daily evapotranspiration prediction from Louisiana flooded rice field. *Irrig and Drain Engin*, 8-13.

Tuong, T. P. & Bhuiyan, S. I., (1999). Increasing water-use efficiency in rice production: farm-level perspectives, *Agricultural Water Management*, Elsevier, vol. 40(1), pages 117-122.

UNCTAD. (2006). Información sobre el arroz.

<http://www.unctad.org/infomm/espanol/arroz/calidad.htm>

Universidad de la República. (2018). Aspectos morfológicos del arroz (*Oryza sativa*).

<http://biblioteca.fagro.edu.uy/historico/boletin69.html>

Vivas, L., Intriago, D. (2014). Guía para el reconocimiento y manejo de las principales enfermedades en el cultivo de arroz en Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Departamento Nacional de Protección Vegetal.

Weather spark (2020). El clima promedio en El Zulia.

<https://es.weatherspark.com/y/25313/Clima-promedio-en-El-Zulia-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Wikipedia. (2020). El Zulia. [https://en.wikipedia.org/wiki/El\\_Zulia](https://en.wikipedia.org/wiki/El_Zulia)

Wikipedia. (2020). Río Zulia. [https://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo\\_Zulia](https://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Zulia)

### **Resumen analítico especializado-RAE**

**Tema:** Enfoque escrito con dicha investigación documental, el cual permitirá implementar tecnologías de producción agrícola alternativas que contribuyan al uso eficiente del recurso hídrico.

**Título:** Investigación documental de tecnologías de producción agrícola en el cultivo de arroz (*oryza sativa*) para optimizar el uso del agua en el distrito de riego de el zulía, norte de Santander.

**Autores:** Miguel Angel Carrillo Romero.

**Fuentes bibliográficas:** Se referencian 72 fuentes bibliográficas dentro de las cuales se encuentran: Colorado, J. (2017). *Desarrollo de una herramienta para la agricultura de precisión en los cultivos de arroz: sensado del estado de crecimiento y de nutrición de las plantas usando un dron autónomo*. Pesquisa Javeriana. Bogotá, Colombia.

IAGUA. *sf. Ciencia y tecnologías para el uso eficiente del agua en la agricultura*. Recuperado el 28 de febrero del 2021 de <https://www.iagua.es/noticias/irta/ciencia-y-tecnologias-uso-eficiente-agua-agricultura>

M. Mekonnen, H. A. (2019). The green, blue and grey water footprint of production and consumption. *National Water Footprint accounts*, 2.

**Año:** 2021

#### **Resumen:**

El arroz (*Oriza sativa L*) en Colombia se cultiva en varios departamentos, por ejemplo, en el Distrito de riego del río Zulia, Norte de Santander, se siembra aproximadamente el 42% de la

producción total del país. Dicha producción ha causado un desequilibrio hídrico, ya que para producir 1 kg de arroz se necesitan en promedio 5000 L de agua. Por lo tanto, este escrito se busca resaltar tecnologías alternativas que superan al sistema convencional en rendimiento y en la cantidad de arroz cosechado por metro cúbico de agua invertido. En algunos casos exitosos, se destacan aspectos importantes para la construcción de la agenda de investigación y la apropiación social de las tecnologías alternativas con miras a la optimización del recurso hídrico en el cultivo de arroz; donde se recomienda priorizar el arroz aeróbico y la medición efectiva del consumo de agua, indispensable para controlar su uso, planear, dirigir y entender cómo estas tecnologías alternativas conducen a la recuperación de la inversión de los agricultores y a la rentabilidad del cultivo.

**Palabras claves:** arroz, agua, desperdicio de agua, uso agrícola del agua, uso óptimo del agua, tecnologías en el cultivo de arroz, técnicas para el ahorro de agua, producción de arroz, avances tecnológicos en la producción agrícola, agricultura de precisión.

**Contenido:**

- Generalidades del arroz.
- Distrito de riego en el cultivo del arroz.
- Distrito de riego el zulia.
- Uso sostenible del agua en la agricultura.
- Uso de agua en cultivos agrícolas a nivel nacional e internacional.
- Sistemas agrícolas y utilización del agua en Colombia para el cultivo de arroz.
- Implementación de los distritos de riego en Colombia.
- Reglamentación vigente y propuesta de manejo del recurso agua en Colombia.

- Avances tecnológicos a nivel internacional y nacional para la optimización del riego en el cultivo del arroz.
- Conclusiones

**Descripción del problema de investigación:** El arroz (*Oryza sativa L*) es básico en la canasta familiar para cerca de la mitad de la población mundial, el segundo cereal con mayor área cosechada y un cultivo que ejerce una gran presión sobre el recurso hídrico (Barona, E. 2010). El sector agrícola en Colombia demanda anualmente 54% del agua consumida (19386 millones (M) de m<sup>3</sup>), de los cuales 4185 Mm<sup>3</sup> son implementados para el cultivo de arroz y de estos, se estima que solo 962 Mm<sup>3</sup> son consumidos de forma efectiva. Para el Norte de Santander, uno de los dos principales productores de arroz del país, la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ) y las asociaciones de usuarios de los distritos de riego, estiman que la demanda de agua en zonas inundables oscila entre 16000 y 30000 m<sup>3</sup>/ha-cosecha. El Zulia es el principal distrito productor y cultivador de arroz del país, allí se cultiva entre el 38 al 42% de la producción total, necesitando en promedio 4,2 mil millones de m<sup>3</sup> procedentes del río Zulia. El arroz en esta zona se caracteriza por que se cultiva bajo el agua para protegerlo de malas hierbas que pueden robarle nutrientes, espacio y luz además de atraer plagas.

**Objetivo general:**

Documentar las tecnologías agrícolas viables que son utilizadas en la optimización de los recursos hídricos como alternativa al desperdicio de agua en la producción arrocerera del distrito de riego El Zulia, Norte de Santander.

**Objetivos específicos:**

Evidenciar aspectos relacionados con la optimización del recurso hídrico en un contexto agrícola y en la producción de arroz en Colombia.

Identificar las propuestas planteadas en Colombia en términos de política pública que resultan viables para la reducción del alto consumo de agua en el cultivo de arroz.

Describir nuevas tecnologías y avances científicos desarrollados en los cultivos de arroz que evitan el desmesurado uso de agua en el distrito de riego El Zulia.

**Referentes teóricos:**

Para el desarrollo de esta investigación, se recolecta información de base de datos científicos y revistas de interés con el fin de cumplir los objetivos pactados en el desarrollo de este trabajo, además se hace importante realizar una investigación documental de las tecnologías de producción agrícola en el cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*) para optimizar el uso de agua en el distrito de riego de el Zulia, Norte de Santander.

**Referentes conceptuales:**

El problema ambiental y de rentabilidad del cultivo de arroz mencionado anteriormente reafirma la necesidad de implementar tecnologías de producción agrícola alternativas que contribuyan al uso eficiente del recurso hídrico, lo cual se ha ratificado en las diferentes agendas prospectivas y de desarrollo tecnológico del Gobierno Colombiano

**Resultados:**

En Colombia se han venido desarrollando diferentes tecnologías que evitan el desperdicio del agua y permiten que su uso sea óptimo, de allí que el resultado de esta investigación es establecer la base técnica y metodológica para asesorar a los agricultores a lo largo de todas las etapas de

producción arrocera, para transferir de forma continua todos los desarrollos tecnológicos disponibles para el correcto y óptimo manejo del cultivo, permitiendo que el productor pueda evidenciar de manera directa sus beneficios, lo que se traduce en una producción más eficiente y por consiguiente con mejores ingresos.

**Conclusiones:**

Establecimiento de campañas de concientización sobre el uso eficiente del agua, sobre la importancia y los mecanismos de ahorro de este recurso. Lo que implica todo un plan de educación ambiental participativo con las personas que habitan y hacen parte del distrito de riego.

La protección de los recursos naturales asegura la calidad del agua, manejo adecuado al medio ambiente, manejo adecuado al sector agrícola para evitar la pérdida desmesurada e innecesaria del agua.

Tecnologías para la captación y análisis de big data e inteligencia artificial. Una de estas tecnologías se basa en la agricultura de precisión la cual toma datos exactos sobre el área a cultivar y establece recomendaciones sobre el tipo de variedad a sembrar y el manejo del riego que se debe emplear para evitar el desperdicio de insumos y recursos naturales invertidos.