

Estudio teórico de las afectaciones y soluciones de contaminación de fuentes hídricas por exceso de nitrógeno debido a operación de cultivos de arroz en Casanare, Colombia.

Andrés Felipe Acosta Bohórquez

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Ambiental

Director

Zulma Lorena Duran Hernández

Ingeniera en Recursos Hídricos y Gestión Ambiental

Universidad Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA)

Monterrey

2021

Resumen

Debido al aumento de la población y por ende el aumento de las actividades agrícolas para cumplir con la seguridad alimentaria a nivel mundial, se han desencadenado diferentes problemas como lo es la contaminación de fuentes hídricas a causa de la agricultura. Estados Unidos y Europa han encontrado en aguas superficiales y subterráneas contaminación de diferentes compuestos químicos entre ellos excesos de nitrógeno y ya que estas aguas finalmente llegan a ríos, lagos y océanos se convierte en un problema de carácter ambiental y con impacto a la salud humana. El arroz en Colombia es sembrado principalmente en la zona de los llanos por lo que es de interés analizar el posible impacto de los cultivos sobre las fuentes hídricas de la región. En el presente trabajo en la primera parte se hace una descripción del proceso de producción del arroz junto con un resumen de los diferentes fertilizantes usados en los cultivos de arroz del departamento de Casanare, posteriormente se exponen cuáles son los impactos en la salud humana, ecosistemas acuáticos y aguas subterráneas por el exceso de nitrógeno, se continúa con un apartado acerca de las regulaciones actuales a nivel nacional e internacional y finalmente con base en la información recolectada se hace un análisis de las posibles zonas afectadas.

Palabras clave: Cultivo de arroz, fertilizantes nitrogenados, desarrollo agrícola sostenible

Abstract

Owing to the increase in population and hence the increase in agricultural activities to meet global food security, several problems have been triggered, such as the contamination of water sources by agriculture. The United States and Europe have found in surface water and groundwater pollution of different chemical compounds among them excess nitrogen and since these waters finally reach rivers, lakes and oceans becomes an environmental problem with an impact on human health. The rice in Colombia is mainly sown in the area of the “llanos” so it is of interest to analyze the possible impact of the crops on the water sources of the region. In the present work in the first part a description of the rice production process is made together with a summary of the different fertilizers used in the rice crops of the department of Casanare, subsequently, the impacts on human health, aquatic ecosystems and groundwater of excess nitrogen are presented, continues with a section about current regulations at the national and international level and finally based on the information collected an analysis of the possible affected areas is made.

Keywords: Rice cultivation, nitrogen fertilizers, sustainable agricultural development

Tabla de contenido

Introducción	9
Generalidades	12
Estado del Arte de la Investigación	12
Identificación del Problema de Investigación	14
Formulación de la Hipótesis de investigación	15
Objetivos	17
Objetivo general	17
Objetivos Específicos	17
Justificación	17
Fundamentación Teórica	18
Ciclo del Nitrógeno en el Ecosistema.....	18
Agroquímicos	19
<i>Fertilizantes</i>	19
<i>Plaguicidas</i>	21
Contaminación agrícola.....	24
Metodología	27
Área de estudio	27
Análisis de información secundaria y estadísticas oficiales	28

Análisis Teórico del Impacto de Cultivos de Arroz en el Área de Estudio.....	29
Entrevista.....	29
Resultados	30
Manejo De Los Cultivos De Arroz En Casanare.....	30
<i>Sistemas De Siembra En El Cultivo Del Arroz</i>	32
<i>Caracterización De Sistema De Cultivos Empleados En Casanare</i>	32
Descripción Del Proceso De Producción.....	34
<i>Preparación Del Terreno</i>	35
<i>Siembra Del Arroz</i>	36
<i>Cuidados</i>	36
<i>Cosecha Del Arroz</i>	37
Insumos utilizados	37
<i>Semillas</i>	37
<i>Herbidas</i>	38
<i>Fungidas</i>	39
<i>Insectidas</i>	41
<i>Uso De Fertilizantes Nitrogenados</i>	43
Afectaciones Del Exceso De Nitrógeno Generado Por El Cultivo De Arroz	46
Salud Humana	49
Ecosistemas Acuáticos	49

Suelos	52
Aguas subterráneas	55
Estrategias De Solución Usadas A Nivel Internacional Para El Manejo De Contaminación De Nitrógeno.....	56
Regulaciones Nacionales E Internaciones De Contenido De Nitrógeno En Fuentes Hídricas	56
Soluciones Técnicas Y Tecnológicas	58
<i>Reemplazo De Fertilizantes Químicos Por Orgánicos.....</i>	<i>58</i>
<i>Agricultura De Precisión</i>	<i>59</i>
<i>Rizipiscicultura – Patos (Sistema Cultivo/Animal)</i>	<i>60</i>
<i>Sistemas De Tratamiento Para Remoción De Nutrientes</i>	<i>61</i>
Análisis teórico de los impactos posibles sobre el entorno de los cultivos en el Casanare	65
Conclusiones	70
Referencias	73
Anexo	81

Lista de figuras

Figura 1 Principales procesos involucrados en el ciclo global de Nitrógeno.....	18
Figura 2 Esquema de metodología	287
Figura 3 Mapa departamento de Casanare	28
Figura 4 Área sembrada arroz mecanizado en Casanare en el periodo 2013-2020	31
Figura 5 Producción de arroz mecanizado (principales departamentos arroceros).....	31
Figura 6 Distribución de fincas arroceras por sistema de producción, Zona llanos, 2016.....	33
Figura 7 Número de productores por rango de edad y nivel de escolaridad.....	34
Figura 8 Procesos de cultivo de arroz	28
Figura 9 Costos asociados con la contaminación de nitrógeno por kilogramo de nitrógeno emitido.	47
Figura 10 Mapa de eutrofización global.	51
Figura 11 a) mapa de fuentes hídricas b) mapa zonificación sistemas de producción arroceros de Casanare	66

Lista de tablas

Tabla 1 Grupos químicos de insecticidas, fungicidas y herbicidas.....	22
Tabla 2 Requerimientos nutricionales cultivo de arroz.....	44
Tabla 3 Matriz de impacto de exceso de nitrógeno.....	448
Tabla 4 Estudios de impacto de nitrógeno en suelos	53
Tabla 5 Máximos límites permisibles de nitrato en agua potable en diferentes países u organizaciones.....	57
Tabla 6 Caracterización de estrategias de solución.....	44

Introducción

La población mundial crece exponencialmente, se espera que para el año 2100 sea 1,5 veces de la población actual (7,673 miles de millones), lo que año a año surge la necesidad de aumentar la producción agrícola y por ende los insumos utilizados (Deknock et al., 2019). Desde la década de los 60 la superficie de riego se ha duplicado a 320 millones de hectáreas, el número de cabezas de ganado se ha triplicado a 24200 millones y la acuicultura se multiplicado por 20 desde los años 80 (Evans et al., 2019). Actualmente se usan 2,7 millones de toneladas de principios activos para cuidar los cultivos y mantener la producción y en diferentes partes del mundo como Estados Unidos y China se considera esta actividad económica como el mayor contribuyente de la contaminación de fuentes difusivas de los sistemas de aguas superficiales y subterráneas a nivel mundial (Chhabra et al., 2010; Deknock et al., 2019).

Es por ello, que los terrenos dedicados a la producción agrícola como cultivos, ganado, etc. aumentarán. De acuerdo con la FAO, se espera un aumento de tierra cultivable de 1.580 millones de hectáreas en 2014 a 1660 millones de hectáreas al 2050 (Roser y Ritchei, 2019), sin considerar los efectos a corto, mediano y largo plazo sobre el ambiente, tales como fragmentación de hábitat, deterioro, y degradación del suelo, así como también contaminación de fuentes hídricas y suelo, entre algunos otros.

Debido a la necesidad de aumentar la producción y alcanzar rendimientos superiores en las plantaciones agrícolas, se ha aumentado el uso de abonos, por ejemplo, en China durante el 2013 la aplicación de fertilizantes fue de 59,11 millones de toneladas (siendo para ese año el 35,5% de la aplicación mundial en solo el 9% de la tierra cultivable), para el 2016 la cantidad de fertilizantes aumentó a 59,84 millones de toneladas (Yu y Wu, 2018) . Estos compuestos que posteriormente se mezclan con las aguas subterráneas o superficiales que luego alcanzan lagos,

ríos hasta finalmente llegar al océano y teniendo en cuenta que los cultivos utilizan el 70% del agua superficial (Banco mundial, 2018), se podría considerar como un problema grave a nivel ambiental al cual se le ha dedicado atención desde los años setenta.

La contaminación del recurso hídrico puede ser de dos fuentes, puntuales y no puntuales o difusas. Las puntuales se refiere a las que provienen de diferentes usos como de la industria o doméstico y por lo tanto es posible determinar y controlar el origen de la contaminación, sin embargo, las no puntuales son aquellas que provienen por ejemplo del sector agrícola y por ende no es posible realizar un rastreo hasta la fuente por lo que se dificulta hallar soluciones efectivas al problema.

De acuerdo con un estudio llevado a cabo por el organismo de protección de los Estados Unidos sobre la contaminación de fuentes hídricas, se determinó que la agricultura es el principal agente de contaminación, ya que se encontró que el 72% de los ríos y el 56% de las superficies de los lagos estudiados estaban contaminados con compuestos relacionados a la agricultura (Ongley, 1997). Este estudio encontró contaminación por nitratos, probablemente del uso de abonos, en las aguas de 49 de sus 50 estados.

Por otra parte, Europa también ha llevado estudios referentes a la contaminación agrícola, manifestando preocupación por los residuos de nitratos, fosforo y plaguicidas en aguas superficiales y subterráneas. Adicionalmente, también se encuentra el caso del Mar de Aral, en el cual diferentes factores entre ellas algunas prácticas agrícolas llevaron no solo al deterioro del suelo, sino también como consecuencia se encontraron afectaciones a la salud humana ya que dieron lugar a enfermedades como fiebre tifoidea, hepatitis viral, número de personas con úlceras gástricas, partos prematuros, cáncer de hígado, esófago, faringe aumentaron considerablemente (Palacios-Vélez y Escobar-Villagrán, 2016).

En Colombia uno de los cultivos principales es el arroz, el cual de acuerdo con el DANE en la zona de los llanos durante el 2019 se sembraron 209.690 hectáreas de arroz mecanizado, cifra superior en comparación con las zonas de Santanderes y bajo Cauca que se sembraron 19.604 y 47.276 hectáreas (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2020), respectivamente. Sin embargo, la medición de la composición de los residuos agroquímicos en las fuentes hídricas es un área con poca atención en la región, por ello es importante analizar cuál es el impacto de los fertilizantes usados en estos cultivos y que alteraciones podrían estar ocasionando sobre las fuentes hídricas en la zona.

El presente documento pretende realizar un análisis teórico del impacto de los fertilizantes nitrogenados usados en el cultivo del arroz sobre el agua, basado en estudios llevados a cabo a nivel nacional e internacional. Aunque el estudio es realizado a nivel teórico se espera ayude a llenar un vacío sobre la temática en la región y sea un principio para motivar el desarrollo de estudios en campo. En la primera parte se inicia con la descripción y caracterización del cultivo del arroz en el Casanare, posteriormente se presentan las afectaciones en la salud humana y el entorno generadas por el exceso de nitrógeno proveniente de los fertilizantes, seguido de las estrategias de prevención y solución empleadas actualmente a nivel internacional y en Colombia.

Generalidades

Estado del Arte de la Investigación

A nivel de Colombia se han llevado algunos estudios acerca de la contaminación difusa o no puntuales, por ejemplo, en el municipio de Pasto se llevaron a cabo estudios para determinar la calidad del agua, en tres puntos de la microcuenca del río Mijitayo, tomando medidas en el río y en las quebradas Mildoro y Juanambú. Se determinaron que las principales formas de contaminación difusa fueron la agricultura y la ganadería, mientras las provenientes de fuentes puntuales, la descarga de los tanques sépticos de las aguas residuales de la zona rural, lavaderos domésticos y residuos sólidos. Entre los parámetros evaluados se encontraba el contenido de nitritos y tanto como para el río y las quebradas, los valores reportados se encontraban por fuera de la norma con valores máximos de 3,81 mg/l, 0,30 mg/l, 0,21 mg/l para el río Mijitayo, y las quebradas Mildoro y Juanambú respectivamente, los valores más altos para las 3 zonas se encontraron en la parte baja de las mismas, debido a la acumulación de la contaminación y de las actividades humanas. El río Mijitayo presenta el valor más alto ya que en este río se depositan las aguas residuales de la zona rural sin ningún tratamiento químico, lo cual debe considerarse un llamado de atención ya que la microcuenca es utilizada como fuente hídrica para abastecimiento humano y según con lo encontrado en el estudio ninguna de los puntos examinados es considerado apto para tal fin (Madroño, 2006).

Parámetros similares se analizaron en la Quebrada “los pozos” en Boyacá, esta es considerada el mayor afluente de la laguna Tota, la que a su vez es usada para abastecer 14 municipios. Las actividades principales realizadas en la quebrada, es para abastecimiento de agua, agricultura (cultivos de cebolla) y ganadería. Se realizaron tomas en 6 puntos distintos y se tomaron muestras

en dos ocasiones, en julio y diciembre que corresponden a las épocas de altas y bajas precipitaciones respectivamente y se evaluaron diferentes parámetros, pero en cuanto al contenido de nitrógeno se encontró que la concentración para nitrógeno orgánico vario entre 9,24 y 18,67 mg/l, siendo la más alta en temporadas de bajas precipitaciones. Mientras la concentración más alta para el nitrógeno amoniacal fue de 2,42 mg/l, en temporada de altas precipitaciones y en un punto en el cual es usado para agricultura y ganadería (Benavides et al., 2020) por lo que en el estudio se determinó que la quebrada presentaba contaminación difusa debido a las diferentes actividades agrícolas de la región

En el valle del Cauca se evaluó el índice de vulnerabilidad de las fuentes hídricas superficiales de la Cuenca del Rio Cerrito a la contaminación difusa de origen agrícola mediante un análisis multicriterio y la gestión de riesgos de desastres. En el estudio se encontró que las zonas con vulnerabilidad alta estaban relacionados con cultivos de hortalizas, cítricos y vid, las zonas con nivel medio son zonas cercanas a cultivos de caña de azúcar, mientras las zonas calificadas con vulnerabilidad baja o muy bajas son Zonas boscosas y herbazales, es decir con poca o ninguna actividad agrícola (Milena y Ramírez, 2020). La misma metodología fue utilizada para analizar la subzona hidrográfica Guachal en Valle del Cauca encontrado que la mayoría del área estudiada presenta índice de vulnerabilidad medio asociado a las actividades antropogénicas, eficiencia y fraccionamiento de agroquímicos al sistema de riego utilizado (Cuellar y Mosquera, 2021).

En la región del valle del cauca, recientemente se han realizado publicaciones enfocadas para determinar el impacto de la contaminación difusa, no obstante, en la región de estudio existe actualmente un vacío respecto al impacto en las fuentes hídricas sobre las actividades agrícolas y los insumos utilizados. Se puede observar que en los estudios anteriormente expuestos la calidad

del agua no era optima o se consideraron zonas vulnerables por lo tanto es un área de investigación en el que se debe trabajar no solo en el departamento de Casanare sino a nivel nacional.

Identificación del Problema de Investigación

Uno de los problemas actuales, y que posiblemente no se solucionará a futuro debido al crecimiento de la población, es la seguridad alimentaria. Es por ello, que los terrenos dedicados a la producción agrícola como cultivos, ganado, etc. han ido en aumento sin considerar los efectos a corto, mediano y largo plazo como, fragmentación de hábitat, deterioro o degradación de suelos, contaminación de suelos o de fuentes hídricas, entre otros.

Debido a la necesidad de aumentar la producción y alcanzar rendimientos superiores en las plantaciones agrícolas se ha aumentado el uso de abonos y plaguicidas, compuestos que posteriormente se mezclan con las aguas subterráneas o superficiales que luego alcanzan lagos, ríos hasta finalmente llegar al océano con sedimentación de estos compuestos y teniendo en cuenta que los cultivos utilizan el 70% del agua superficial, se podría considerar como un problema grave a nivel ambiental al cual se le ha dedicado atención desde los años setenta.

Las contaminaciones de fuentes hídricas pueden ser de dos fuentes localizadas y no localizadas. Localizadas se refiere a las que provienen de la industria y por lo tanto es posible determinar y controlar el origen de la contaminación, sin embargo, las no localizadas son aquellas que provienen por ejemplo del sector agrícola y por ende no es posible realizar un rastreo hasta la fuente y de igual manera de hallar soluciones efectivas al problema.

De acuerdo con un estudio llevado a cabo por el organismo de protección de los Estados Unidos sobre la contaminación de fuentes hídricas, determinó que la agricultura es el principal agente de contaminación, ya que se encontró que el 72% de los ríos y el 56% de las superficies de

los lagos estudiados estaban contaminados con compuestos relacionados a la agricultura y que el 40% de los fertilizantes suministrados a los cultivos llegan a las fuentes hídricas (Milena y Ramírez, 2020)

Este estudio encontró contaminación por nitratos, probablemente del uso de abonos, en las aguas de 49 estados. Por otra parte, Europa también ha llevado estudios referentes a la contaminación agrícola, manifestando preocupación por los residuos de nitratos, fosforo y plaguicidas en aguas superficiales y subterráneas. Adicionalmente, también se encuentra el caso del Mar de Aral, en el cual diferentes factores entre ellas diferentes prácticas agrícolas llevaron no solo al deterioro del suelo, sino también como consecuencia se encontraron afectaciones a la salud humana ya que enfermedades como fiebre tifoidea, hepatitis viral, número de personas son úlceras gástricas, partos prematuros, cáncer de hígado, esófago, faringe aumentaron considerablemente (Palacios-Vélez & Escobar-Villagrán, 2016).

En Colombia uno de los cultivos principales es el arroz, el cual de acuerdo con el DANE en la zona de los llanos durante el 2019 se sembraron 209690 hectáreas de arroz mecanizado, cifra superior en comparación con las zonas de Santanderes y bajo cauca que se sembraron 19604 y 47276 hectáreas(Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2020), respectivamente. Por ello es importante analizar cuál es el impacto que estos cultivos podrían estar ocasionando sobre las fuentes hídricas en la zona.

Formulación de la Hipótesis de investigación

Para la presente Monografía se planteó la siguiente hipótesis:

¿A nivel teórico existen fuentes hídricas en las áreas de cultivo de arroz en el departamento del Casanare afectadas por el uso de fertilizantes nitrogenados?

Objetivos

Objetivo general

Estudiar las posibles afectaciones y soluciones de contaminación de las fuentes hídricas ocasionadas por la contaminación por nitrógeno proveniente de cultivos de arroz en el departamento de Casanare.

Objetivos Específicos

- Identificar el manejo de los cultivos de arroz en el departamento del Casanare.
- Analizar los impactos en los ecosistemas acuáticos y la salud humana por el uso de insumos agroquímicos nitrogenados en cultivos de arroz.
- Establecer estrategias de solución para remediar la contaminación no localizada de los cultivos de arroz.

Justificación

Como se mencionó anteriormente se han llevado a cabo estudios en Estados Unidos y Europa para determinar el impacto de las actividades agrícolas, sin embargo, la mayoría de estos estudios se han realizado en países desarrollados y poco se ha investigado en los países subdesarrollados. Siendo en la mayoría de las ocasiones los países en vía de desarrollo los que presentan como actividad principal la agricultura, siendo uno de ellos Colombia.

Por lo tanto, es de interés conocer cuáles son los problemas que genera la presencia de nitratos, fosforo y plaguicidas procedentes de los cultivos en las fuentes hídricas de acuerdo con investigaciones previas realizadas en países como China o India, además en aras de mejorar y a futuro implementar sistemas de agricultura sostenible en Colombia conocer cuáles son las estrategias que se han implementado en casos similares.

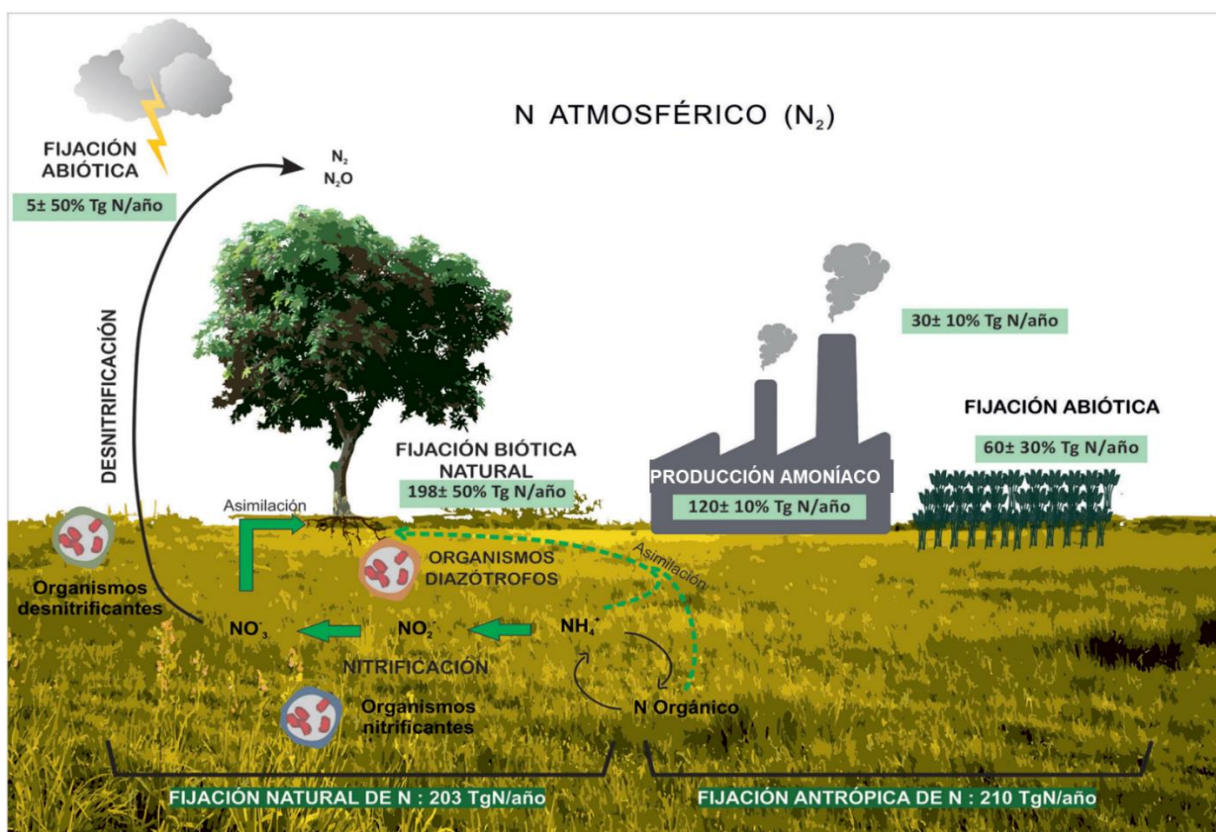
Fundamentación Teórica

Ciclo del Nitrógeno en el Ecosistema

La mayoría del nitrógeno se encuentra en la geosfera, especialmente en el núcleo y en el manto, con un depósito de aproximadamente el 96% de nitrógeno de la tierra (Luengas, 2014). El ciclo de nitrógeno está formado principalmente por los procesos de fijación de nitrógeno (N_2), mineralización, nitrificación, desnitrificación y la oxidación anaeróbica del amonio (Emilia et al., 2012), como se observa en la Figura. 1.

Figura 1

Principales procesos involucrados en el ciclo global de Nitrógeno



Nota: Tomado de (García-Velázquez y Gallardo, 2017)

El nitrógeno se encuentra principalmente en la atmósfera, con 79% de contenido en el aire, de esta forma el nitrógeno no es muy reactivo, por lo tanto, es por medio de la fijación que el nitrógeno reacciona con otros elementos y de esta forma puede ser usado por las plantas. Existen dos tipos de fijación, fijación biótica, el cual ocurre de manera orgánica por medio de organismos que procesan el N_2 y lo reducen a amonio por medio de la enzima nitrogenasa, y la fijación abiótica que es la producción sintética de amoníaco (Emilia et al., 2012), el cual luego es usado en fertilizantes y otros productos. Otra forma de fijación abiótica es cuando se combina el oxígeno y el nitrógeno del aire con la energía de los rayos durante una tormenta eléctrica, ocasionando la formación de óxidos de nitrógeno que posteriormente al reaccionar con el agua se transforman en ácidos, produciendo la lluvia ácida.

Cuando la planta absorbe el nitrógeno en forma de ion amonio o ion nitrato, ocurre la desnitrificación reduciendo de nitrato a nitrito y de nitrito a formas amoniacales con ayuda de enzimas nitrato-reductasa y nitrito reductasa. Por otro lado, los animales sintetizan los compuestos nitrogenados para luego volver al suelo o medio acuático por medio de las excretas, lecho de hojarasca y materia orgánica muerta proveniente de plantas, animales, hongos y bacterias. Finalmente, los organismos del suelo, degradan la materia en forma de amonio y nitrato, otra parte se libera en forma de amoníaco y gas nitrógeno a la atmósfera (Luengas, 2014).

El ciclo del nitrógeno es rápido en comparación con los ciclos del carbono y el fósforo, ya que mientras estos dos últimos retornan a sus reservorios por medio de ciclos geológicos que tardan miles a millones de años, el ciclo del nitrógeno puede llevarlo en escala de días, meses o años (García-Velázquez y Gallardo, 2017).

Agroquímicos

Fertilizantes

Son sustancias químicas u orgánicas que contienen los macronutrientes necesarios para la reposición de los nutrientes del suelo que permiten el crecimiento de las plantas y aumentar su rendimiento. Anteriormente la reposición de los nutrientes se hacía de manera natural, o agregando compuestos orgánicos, sin embargo, con la agricultura intensiva fue necesario el uso de fertilizantes sintéticos.

Dentro de los diferentes nutrientes que aportan los fertilizantes se pueden dividir en tres clases (Navarro y Navarro-García, 2014)

- Nutrientes principales: nitrógeno, fósforo y potasio
- Nutrientes secundarios: Azufre, sodio, calcio y magnesio
- Micronutrientes: Boro, cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc

Existen diferentes tipos de clasificación de los fertilizantes, una de ellas es de acuerdo con los elementos aportados (Riascos, 2017):

Fertilizantes simples: solo contienen uno de los nutrientes principales, entre ellos se encuentran los abonos nitrogenados, fosfatados o potásicos.

Fertilizantes compuestos: Contienen dos o más de los nutrientes principales, a su vez esos se pueden clasificar en fertilizantes de mezcla, los cuales provienen de mezclas físicas incluso compuestos orgánicos y fertilizantes complejos los cuales se obtienen mediante reacciones químicas.

De acuerdo con la forma en que se encuentra su elemento fertilizante se puede clasificar en inorgánicos o minerales, orgánicos, organominerales y líquidos. Otro tipo de clasificación es de acuerdo por su velocidad de acción ya que este puede ser inmediata o prolongada en el tiempo.

De acuerdo con cuál sea su macronutriente principal se pueden clasificar en (Navarro y Navarro-García, 2014):

Fertilizantes nitrogenados: Son abonos con principalmente contenido de compuestos a base de nitrógeno, aunque también pueden llevar azufre u otro microelemento, entre ellos se encuentran el nitrato amoniacal cálcico o el nitro-sulfato amónico. Con su uso debido a las reacciones de nitrificación del amonio dejan un residuo ácido en el suelo

Fertilizantes fosfóricos: Fertilizantes con principal contenido de fósforo.

Fertilizantes potásicos: Fertilizantes con principal contenido de potasio, como el cloruro de potasio.

Fertilizantes NKP: Son fertilizantes que contienen los tres micronutrientes, nitrógeno, fósforo y potasio. También pueden llevar azufre u otro micronutriente. Ejemplo de estos son los fertilizantes orgánicos.

Existe otra clasificación la cual depende del momento de aplicación (Calvo, 2020):

Fertilizante de fondo: se aplican antes de la siembra, generalmente se aplican fertilizantes potásicos o NKP.

Fertilizantes starter: Son aplicados en el momento de la siembra, junto con la semilla, generalmente son nitrogenados sólidos.

Fertilizantes de cobertera: Se aplican con el cultivo ya implantado, suelen ser nitrogenados.

Fertilizantes foliares: Se aplican ya en un estado avanzado del cultivo, suelen estar compuestos por micronutrientes.

Plaguicidas

Se define plaguicida como cualquier sustancia o mezcla de sustancia destinada a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga. Al igual que los fertilizantes existen diferentes tipos de clasificación. Una de ellas es de acuerdo con la plaga a controlar que puede ser herbicidas, insecticidas, fungicidas, acaricidas, entre otros (Bedmar, 2017).

También se clasifican según su modo de acción, es decir, si actúan por contacto directo, por inhalación, ingestión o de un modo sistémico, es decir actúan mediante el movimiento a través de la planta y es transportado por el sistema vascular de la planta (UNICOOP, 2015).

Otra clasificación es de acuerdo con su estructura química, ya que pueden ser inorgánicos, orgánicos, biológico o botánicos.

A continuación, en la Tabla 1 se encuentra una clasificación de acuerdo con la plaga que ataca, el sitio de acción y el grupo químico (Bedmar, 2017).

Tabla 1

Grupos químicos de insecticidas, fungicidas y herbicidas

Tipo de producto	Modo o sitio de acción	Grupo químico
Insecticidas	Interferencia del sistema nervioso	Organoclorados, organofosforados, carbamatos
		Piretroides, piretrinas, fiproles-fenilpirazoles
		avermectina, nicotoides-nitrometilenos
		nicotina
	Reguladores de crecimiento	Benzoil-fenilureas, benzamidas, benzoil-hidrazinas
	Toxinas alimentarias	<i>Bacillus thuringiensis</i>
Fungicidas	Sistema respiratorio	Fosfuros, bromuros, etcétera
	Tóxicos físicos	Aceites minerales, tierra de diatomeas, geles de sílice
	Inhibición de síntesis de ácidos nucleicos	Fenilamidas, pirimidinas, derivados de hidrocarburos aromáticos, carboximidias
		Derivados del benzimidazol
		Ditiocarbamatos, benzimidazoles
Mitosis y división celular	Fenilureas, benzamidas	

	Respiración: Inhibición de la producción de ATP en los procesos enzimáticos del metabolismo energético	Carboximidias, quinonas, cúpricos, arsenicales, derivados del estaño, disulfuros, ditiocarbamatos, estrobirulinas
	Síntesis de aminoácidos y proteínas	Anilino pirimidinas
	Transducción de señales	Quinolinas, fenilpirroles, dicarboximidias
	Síntesis de lípidos y membrana	Dicarboximidias, hidrocarburos aromáticos
		Clorofenoles, nitroanilinas, ditiocarbamatos, amidas
	Biosíntesis de esterol en las membranas	Morfolinas, triazoles
	Alteración de la estructura celular	Dodecilguanidina
	Acción múltiple	Cúpricos, sulfúricos, ditiocarbamatos, ftalamidas, cloronitrilos, sulfamidas, guanidinas, triazinas, quinonas
	Inhibición del acetil coenzima A carboxilasa	Ariloxi-fenoxi, ciclohexanodionas
Herbicidas	Inhibición del aceto lactato sintetasa	Imidazolinonas, sulfonilureas, sulfonamidas
	Inhibición de la formación de microtúbulos	Dinitroanilinas
	Auxinas sintéticas	Clorofenóxidos, derivados del ácido benzoico
		Ácidos piridín carboxílicos, ácidos quinolín carboxílicos
	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II	Triazinas, triazinonas, uracilos, ureas sustituidas, benzotiadiazonas, carbamatos, amidas
	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II y respiración	Benzonitrilos
	Inhibición de la protoporfirinógeno oxidasa	Difeniléteres, N-fenilftalamidas, oxadiazoles
		Triazolinonas
	inhibición de la síntesis de lípidos	Tiocarbamatos
	Desviación de flujo electrónico en el fotosistema I	Bipiridilos

	Inhibición de síntesis de carotenoides	Isoxasoles, nicotinanilidas, otros
	Inhibición de la síntesis de proteínas, metabolismo de lípidos y división celular	Acetanilidas
	Interferencia de la actividad enzimática y precipitación de proteínas	Carboxílicos aromáticos
	Interferencia en el metabolismo del fósforo	Arsenicales
	Inhibición de la enolpivuril shikimato-fosfato sintetasa	Glicinas

Nota: Tomado de Bedmar, 2017.

Además se puede clasificar se acuerdo a su grado de toxicidad, y a su momento de aplicación, si es preventivo, antes de la siembra o de emergencia (Albert, 2002).

Contaminación agrícola

Todas las actividades del ser humano dejan huella o afectan de alguna manera el entorno en el que se desarrollan y la agricultura es una de ellas. Para cumplir la demanda y que disminuyan las pérdidas de los productos, los agricultores deben hacer uso de diferentes abonos y plaguicidas que poseen compuestos contaminantes para el medio ambiente (UNICOOP, 2015)

Esta contaminación llega a las fuentes hídricas como aguas superficiales, que finalmente son llevadas a los océanos, también los compuestos terminan haciendo parte de los suelos, promoviendo el deterioro de estos. Además del daño que genera a la productividad de la tierra, los ecosistemas también pueden impactar gravemente la salud humana por el daño causado a la calidad del agua aumentando enfermedades como fiebre tifoidea, hepatitis viral y aumentar el riesgo de enfermedades como cáncer, cardiopatías, úlceras entre otras (Arauzo et al., 2003).

Esto ha ocurrido debido al excesivo uso de estos insumos, por ejemplo en los pesticidas, con las técnicas de aplicaciones actuales no se distribuye correctamente sobre la zona deseada, además en algunas regiones aún se usan pesticidas organoclorados los cuales se encuentran

prohibidos por el Convenio de Estocolmo o los intentos en Colombia de reanudar las aspersiones aéreas con glifosato a pesar de las prohibiciones actuales (WWF Colombia, 2020).

Un estudio realizado en Guayas, Ecuador sobre la presencia de pesticidas en fuentes hídricas encontró que más del 60% de los puntos de muestreos realizados en la cuenca del río Guayas había presencia de aproximadamente 26 pesticidas, entre ellos cadusafos, butacloro y pendimetalina, aunque aún se encontraban en bajas concentraciones para lograr afectar la calidad biológica del agua si se observó una correlación con las concentraciones de amonio, indicando que también se usó y alcanzó la cuenca del río los fertilizantes usados en los cultivos cercanos (Deknock et al., 2019). A su vez un estudio llevado a cabo para conocer el índice de susceptibilidad en la evaluación del impacto de las actividades agrícolas en la calidad del agua subterránea evidenció que las zonas más vulnerables eran aquellos puntos cercanos a los perímetros de riego de los arrozales debido a las altas tasas de recarga, es decir aunque estos fertilizantes son depositados en el suelo y no en los cuerpos de agua, durante los periodos de lluvia estos excesos de fertilizantes alcanzan los cuerpos de agua superficiales cercanos, así como el subsuelo y finalmente llegando a las aguas subterráneas (Ribeiro et al., 2017).

Mientras en otras regiones de mayor intensidad de producción ya se han empezado a observar el impacto del uso indiscriminado de los fertilizantes, en China, en el lago Taihu en la década de los 70 la calidad del agua era apta para beber o para pescar y bañarse, sin embargo, actualmente se encuentra en Clase IV la cual se considera agua contaminada eutrófica por nutrientes, no apto para beber o bañarse, y se asocia este comportamiento a la lixiviación de los nutrientes de suelos fertilizados (Strokal et al., 2016). En Estados Unidos, en la zona de Missouri el 25% de la longitud total de los ríos y arroyos se consideran deteriorados debido a la alta concentración de *E. Coli*, de fósforo y nitrógeno, entre otros (Jabbar y Grote, 2019).

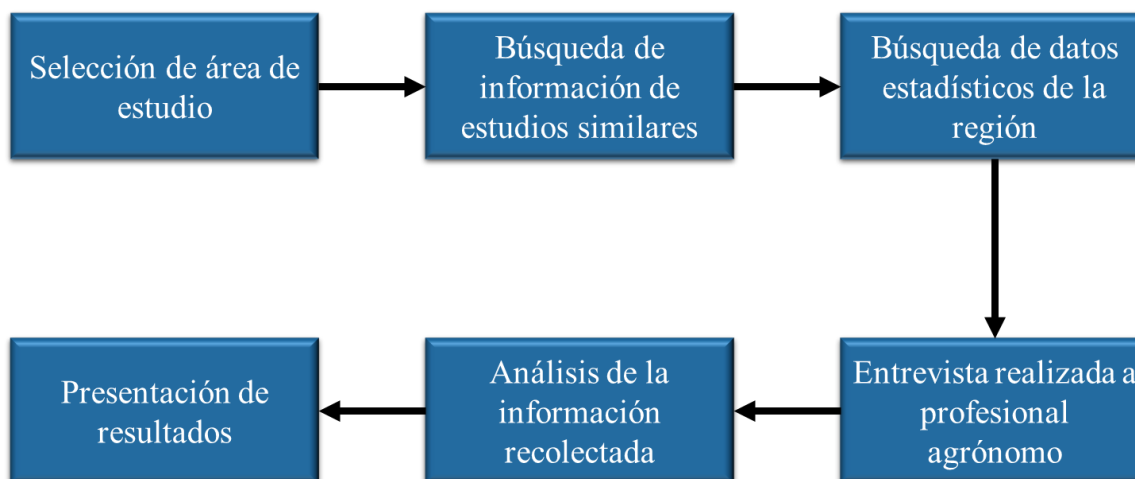
El problema principal en el uso excesivo de nutrientes contribuye a la eutrofización de las aguas, crecimiento excesivo de algas y aumento de la toxicidad. Una de las problemáticas es que la agricultura es una labor empírica por lo que muchos de los campesinos son analfabetas o poseen pocos conocimientos técnicos y no poseen información idónea para saber la cantidad correcta de nutrientes que se deben agregar, ya que los altos contenidos de nitrógeno y fósforo no se debe solamente al uso de fertilizantes químicos, sino también a algunos orgánicos como el estiércol, encuestas realizadas a campesinos en Burkina Faso, ya que el 85% de ellos era analfabetos (Delphine et al., 2020).

Metodología

La presente investigación se llevó a cabo por medio de la siguiente Figura y a continuación se hace una explicación del proceso metodológico

Figura 2

Esquema de metodología



Área de estudio

Casanare es uno de los treinta dos departamentos de la República de Colombia, está ubicado en la región Orinoquía, limita al norte con Arauca, al este con Vichada, al sur con Meta, al Oeste con Cundinamarca y al noroeste con Boyacá como se aprecia en la figura 2. Es el décimo departamento más extenso con 44,490 km y el séptimo menos densamente poblado. Está conformado por 19 municipios y 11 corregimientos (Gobernación de Casanare, 2019b).

Figura 3*Mapa departamento de Casanare*

Nota: Tomado de (Rios del Planeta, 2020)

Análisis de información secundaria y estadísticas oficiales

En esta etapa se llevó a cabo la búsqueda y análisis de información científica relacionada con el uso de fertilizantes en diferentes cultivos, especialmente el arroz, su impacto en las fuentes hídricas y en su entorno, considerando sus afectaciones a los ecosistemas y a la salud humana, así como los avances en manejo, control y prevención de contaminación por nitrógeno a nivel internacional. A su vez se hace un estudio de las regulaciones actuales acerca del contenido de nitrógeno en las fuentes hídricas.

Para toda la recolección de la información se realizó la búsqueda en diferentes bases de datos como Scielo, Science Direct, Dialnet para los artículos investigativos, empleando palabras de búsqueda como contaminación agrícola, contaminación de fertilizantes, desarrollo agrícola

sostenible, impacto de nitrógeno en suelos y regulación de nitrógeno, además se emplearon diferentes buscadores académicos como el proporcionado por la UNAD en su biblioteca y Google Scholar. Para los datos gubernamentales se realizó la búsqueda en bases de datos del DANE, Corpoorinoquia, Fedearroz, entre otras.

De igual manera que la actividad anterior se realizó una búsqueda bibliográfica en las distintas bases de datos acerca de cuáles han sido las soluciones empleadas en otros países para el exceso de nitrógeno, ya sea como prevención de la aplicación en exceso de estos compuestos o como solución de la eliminación del exceso de este en los suelos y fuentes hídricas.

Mediante la información recolectada de las instituciones pertinentes, como secretarías municipales, alcaldías, Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), se recolectó la información para describir los cultivos de arroz usados en el departamento de Casanare, localización, cercanía a fuentes hídricas, cantidad de insumos como pesticidas o fertilizantes usados.

Análisis Teórico del Impacto de Cultivos de Arroz en el Área de Estudio

Con la información recolectada en las etapas anteriores, en esta fase se intenta realizar un análisis teórico de cuáles son los impactos que podrían estar ocurriendo en los cuerpos de agua cercanos a los cultivos, a su vez de plantear algunas estrategias y soluciones.

Entrevista

Se realizó una entrevista semi-estructurada al Ingeniero agrónomo, Diego Alejandro Alba, el cual también es especialista en gestión ambiental, actualmente brinda asistencia técnica de cultivos de arroz y palma en los departamentos de Meta y Casanare. En los anexos se encuentra el consentimiento informado firmado por el Ing. Diego para contar con la aprobación de la publicación de los resultados de ésta.

Resultados

Manejo De Los Cultivos De Arroz En Casanare

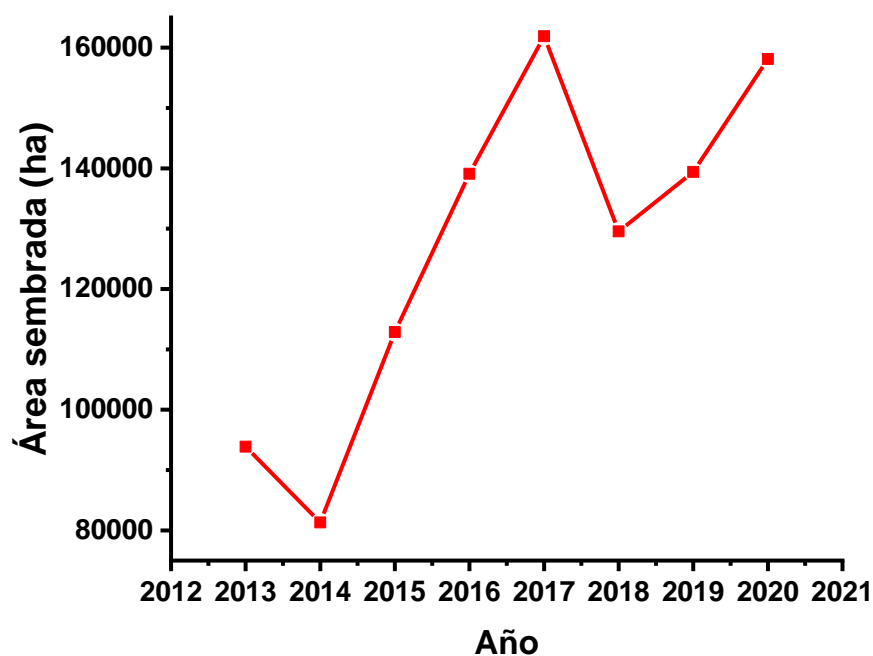
Durante la década de los años 50, empezó un proceso de ampliación de la frontera agropecuaria debido a dos principales factores, primero, la migración de campesinos especialmente boyacenses, debido a los conflictos del país, crisis del minifundio y el aumento de la mecanización agrícola. Como segundo factor, nuevos inversionistas del sector agropecuario buscando terrenos más económicos debido a la alza de precios de tierras en la región de los valles interandinos (Gobernación de Casanare, 2019a).

De esta manera, durante los años setenta y ochenta se iniciaron nuevas actividades agropecuarias, principalmente con cultivos de arroz, sorgo y palma africana. Siendo el arroz uno de los principales cultivos de la región, con el 78% de la producción agrícola, de los cuales el 42% es arroz seco y el 36% es arroz de riego (Gobernación de Casanare, 2019a).

En los últimos años, el área sembrada de cultivos ha aumentado como se observa en la figura 3 de 93.878 hectáreas en el 2013 a 158.112 hectáreas en el primer semestre del 2020 (Departamento administrativo nacional de estadística, 2020). De igual manera, de acuerdo con la encuesta nacional de arroz mecanizado (ENAM) realizada por FEDEARROZ en el segundo semestre del 2021, el departamento de Casanare ha aumentado su producción de arroz desde el 2010, alcanzando 851.869 toneladas en el 2020 y siendo uno de los mayores productores de arroz a nivel nacional, como se observa en la figura 4.

Figura 4

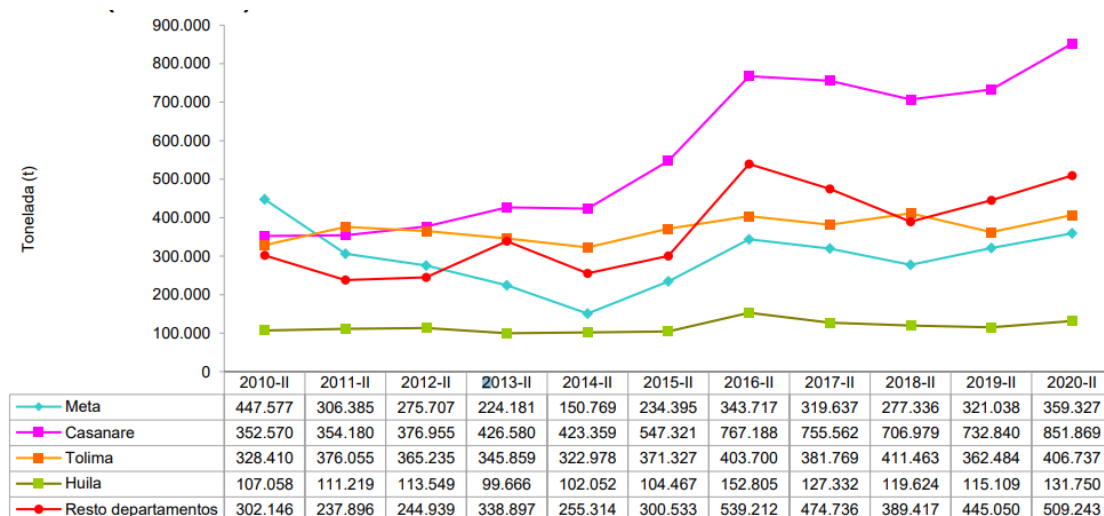
Área sembrada arroz mecanizado en Casanare en el periodo 2013-2020



Nota: Datos obtenidos para realizar la gráfica de (Departamento administrativo nacional de estadística, 2020)

Figura 5

Producción de arroz mecanizado (principales departamentos arroceros)



Nota: Producción total de arroz paddy verde Tomado de (Fedearroz, 2021)

Sistemas De Siembra En El Cultivo Del Arroz

Las condiciones ambientales para el cultivo de arroz son; temperatura promedio de 20 a 38 °C, humedad relativa entre 54% a 87% y altitudes desde el nivel del mar hasta los 1500 metros sobre nivel del mar (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2017) . En Colombia predomina el cultivo de arroz mecanizado, el cual se dividen en dos tipos de sistemas de cultivo, el sistema seco y de riego.

Sistema Secano

Este tipo de cultivo la única agua que se emplea en los requerimientos hídricos es el proveniente de las aguas lluvias. Este tipo de sistema también se realiza a menor escala a nivel manual por parte de agricultores pequeños con bajo nivel tecnológico (Federación Nacional de Arroceros, 2017)

Sistema de riego

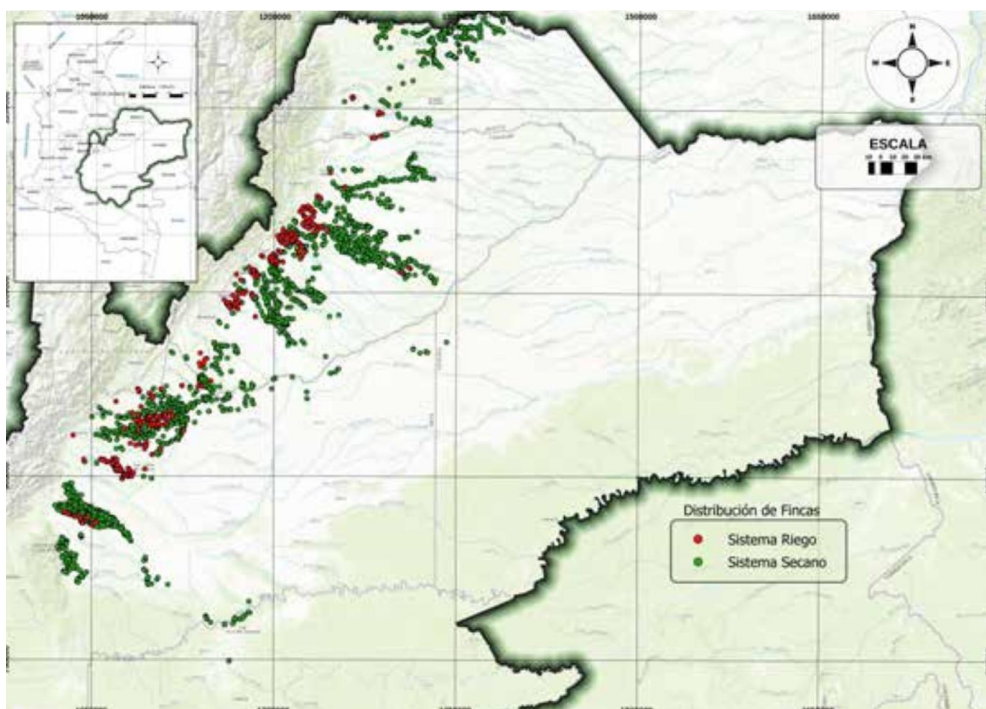
El sistema de riego consiste en que los requerimientos hídricos se satisfacen aplicando una lámina de agua por inundación, y bombeo o gravedad, principalmente para el control de maleza y algunas enfermedades (Federación Nacional de Arroceros, 2017).

Caracterización De Sistema De Cultivos Empleados En Casanare

En la región llanera predomina el cultivo por sistema seco, como se observa en la figura 5, en Casanare, para el 2018 se sembraron 145.564 ha, empleando el método de seco y 16.000 ha bajo el método de riego, la semilla usada principalmente fue *Oryza Sativa L* (Amaya Barrera, 2019).

Figura 6

Distribución de fincas arroceras por sistema de producción, Zona llanos, 2016.

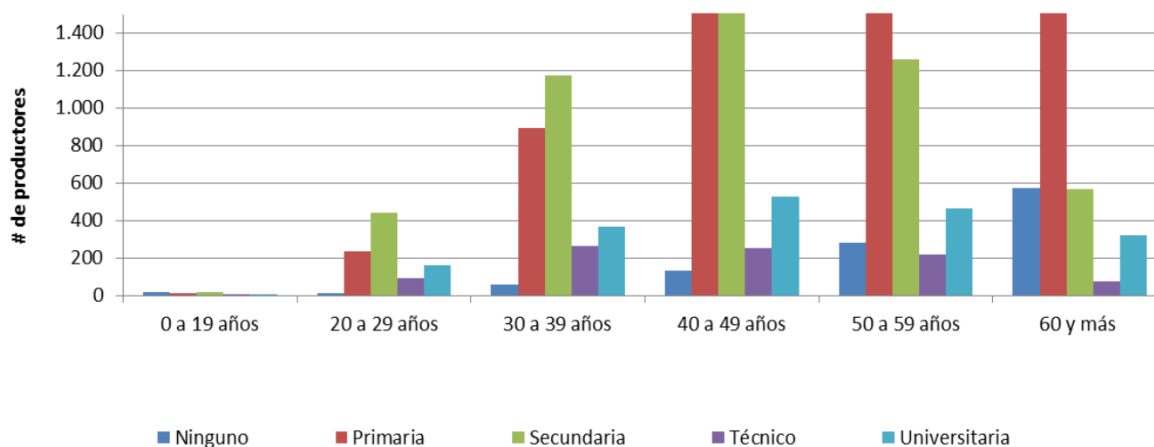


Nota: Tomado de: (Federación Nacional de Arroceros, 2017)

En cuanto a la población dedicada a la producción de arroz, de acuerdo con el censo realizado por el DANE en 2016, la mayoría de los productores se encuentran entre los 40 y 60 años, en cuanto a su sistema de escolaridad, se caracteriza por tener estudios de primaria y secundaria, existe un nivel bajo de productores con estudios universitarios como se observa en la figura 6 , lo que podría influir en la aplicación de conceptos técnicos en los cultivos (DANE, 2017)

Figura 7

Número de productores por rango de edad y nivel de escolaridad



Fuente: DANE - FEDEARROZ - 4° Censo Nacional Arrocerero

Nota: Tomado de DANE-Fedearroz

Descripción Del Proceso De Producción

En Colombia se realizan dos siembras al año. El primer semestre A corresponde al periodo entre el primero de enero y el 30 de junio y el semestre B comprende las siembras entre el primero de julio y el 31 de diciembre (Federación Nacional de Arroceros, 2017). El proceso de producción está conformado por 4 etapas principales como se observa en la Figura. A continuación, se detalla las etapas generales del proceso de cultivo del arroz (Moquete, 2004).

Figura 8

Proceso de cultivo del arroz



Preparación Del Terreno

Generalmente la preparación del suelo se hace en condición de humedad, en la preparación del suelo incluye corte, cruce, rastra, fangueo (batido del lodo, se incorpora paja o restos de cosecha anterior) y nivelación del suelo. En esta etapa se emplean tractores o motocultores según el tamaño del terreno. Para la nivelación se emplean caballos, bueyes o motocultores. En la siembra

mecanizada, la preparación del terreno se realiza en suelo seco, e n esta etapa también incluye la incorporación de abono al suelo, ya sea usando el desperdicio de un cultivo previo, agregando estiércol de animales, restos de vegetales, entre otros (Comunicación personal, 2021).

Siembra Del Arroz

Existen tres principales tipos de siembra:

Trasplante manual: Por este método primero se debe realizar un semillero y al momento de hacer el trasplante se utilizan plántulas de 30-40 días de edad como prevención de factores adversos del suelo y las plagas. Aunque este sistema aumenta los costos de producción, es beneficioso de usar en suelos contaminados o mal nivelados.

Siembra directa en suelo húmedo: se requieren mejor nivelación del suelo con comparación con el método anterior, ya que zonas secas o con exceso de agua pueden interrumpir la germinación de la semilla. Entre los limitantes de este proceso se encuentran las malezas y la germinación de arroz espontáneos. Sin embargo, en términos económicos es 15% más económicos en comparación con el método de trasplante.

Siembra directa en suelo seco: es un método con mínima o poca labranza, como ventajas se encuentran que se usa menor cantidad de semilla y sin remoción del suelo, pueden reducirse los costos del proceso. Es recomendable para suelos no consolidados.

Cuidados

Posterior a la siembra se debe continuar con el cuidado del cultivo hasta la época de cosecha, en esta etapa se evita la formación de maleza mediante la aplicación de herbicidas entre los 4-25 días después de la siembra, evitar la aparición de enfermedades como la hoja blanca, Piricularia, escalado, manchado de grano, entre otras. También se cuida de la aparición de insectos, como los

chinchas los cuales aparecen principalmente durante la etapa de floración (Perez-Cordero y Cuevas-Medina, 2018).

Otros de los factores a cuidar en esta etapa, es el nivel del agua, mantener los nutrientes en el suelo con aplicación de fertilizantes.

Cosecha Del Arroz

Después la siembra, pasan aproximadamente entre tres y cuatro meses (en el caso de arroz comercial), el grano alcanza el punto de maduración adecuado e inicia la etapa de cosecha o recolección del grano, llamado también siega del arroz. Una o dos semanas antes de la siega del arroz se deben drenar los campos.

Una vez el grano es recolectado generalmente en sacos, es pesado y se lleva a un proceso de secado el cual puede ser realizado con ayuda de la luz solar. La humedad normal del arroz para almacenamiento y molienda oscila entre 11-13% (Perez-Cordero y Cuevas-Medina, 2018).

De acuerdo con entrevista, los arroceros una vez recogida la cosecha, los desperdicios son dejados a la exposición del sol durante la época de verano, ocasionando la descomposición de estos en la zona de siembra, entonces estos nutrientes son captados nuevamente por el suelo y por medio de escorrentía son llevados a las fuentes hídricas aumentando el índice de contaminación de agua (Comunicación personal, 2021).

Insumos utilizados

Semillas

En el país existe un amplio rango de variedad de semillas distribuidas comercialmente por Fedearroz, semillas del Huila, nasa, entre otras.

Actualmente Fedearroz ofrece 6 tipos de semillas caracterizadas como F-60, F-67, F-68, F-70, Itagua y 2000, las principales diferencias se encuentran en la cantidad a sembrar por hectárea, el

macollamiento, también varía la cantidad y momentos de agregar el nitrógeno. Por ejemplo, para la F70, el 75% de nitrógeno se debe aplicar antes del inicio del primordio floral, mientras para la mayoría de las otras referencias se deben aplicar en 4 momentos, en el pre-abonamiento, al inicio del macollamiento, en pleno macollamiento, antes de inicio de primordio floral y finalmente al inicio de embuchamiento.

De esta manera, cada proveedor plantea sus recomendaciones e igualmente está a elección del arrocero la semilla que desea utilizar, preferiblemente se selecciona semillas certificadas ya que así se evita que pueda estar contaminada de malezas indeseables, además de contar con los requerimientos agronómicos (Comunicación personal, 2021).

Herbicidas

Su función es la de eliminar las plantas indeseadas, sin embargo, no existe un único tipo e incluso pueden variar de una región a otra. En Colombia existen más de 30 especies de importancia económica que pueden generar competencia con el cultivo de arroz.

El herbicida se selecciona de acuerdo al tipo de maleza que se desee prevenir o eliminar, en general existe 10 tipos de familias de malezas, las cuales son: Gramíneas, Cyperaceas, commelinaceae, Onagraceae, Pontederiaceae, Limnocharitaceae, Asteraceae, Boraginaceae, Amaranthaceaea, Convulvulaceae (Cuevas y Puentes, 2018).

De acuerdo con que familia corresponda se selecciona el herbicida con el principio activo correcto, por ejemplo, el herbicida Fedeamina 4 S.L. con principio activo de Amina 2,4 D se recomienda para maleza de hoja ancha y ciperáceas, la referencia Felino 400 E.C con principio activo Pendimetalina se recomienda para malezas de la familia gramíneas o el herbicida Piclofed con principio activo Picloram se recomienda para malezas de hoja ancha herbáceas y arbustivas.

De esta manera cada proveedor diseña los herbicidas selectivos para el arroz, como también recomendaciones si se pueden usar en preemergencia y pos-emergencia.

Fungicidas

Con este insumo, se impide el crecimiento o eliminación de hongos y mohos. Entre las principales enfermedades causados por hongos, de acuerdo con Fedearroz, se encuentran (Cuevas y Higuera, 2018):

- **Añublo de arroz (*Pyricularia oryzae*):** es la enfermedad más importante, especialmente en la zona de los Llanos Orientales, como sintomatología las hojas presentan lesiones elípticas con centro de color gris o blanquecino, tiende a aparecer en temperaturas entre 25-28°C y humedad relativa superior al 80%
- **Añublo de la vaina (*Rhizoctonia solani*):** Con mayor presencia en zona centro y costa norte. Se presenta como manchas de color oscuro en forma de elipse que cambian de color a verde grisáceo.
- **Helminthosporiosis o Mancha Parda (*Bipolaris oryzae*):** esta enfermedad afecta tallos, hojas, semillas, con manchas pardas que se van extendiendo y tornándose color café
- **Escaldado de la hoja (*Microdochium oryzae*, sin *Rynchosporium oryzae* y *Gerlachiaoryzae*):** se observa con mayor presencia en cultivos de arroz con sistema seco, aparece como manchas alternas de color marrón que inicialmente aparecen en los bordes de las hojas. Tiende a aparecer a los 30 días de la germinación con mayor presencia durante el macollamiento.
- **Cercosporiosis o mancha lineal (*Cercospora janseana*):** Enfermedad con mayor presencia en los Llanos Orientales, esta enfermedad causa la maduración prematura de

los granos, y en las hojas aparecen lesiones cortas entre elípticas y lineales de color marrón.

- **Mancha café de la vaina/Pudrición de la vaina (Complejo de microorganismos más frecuentes: *Sarocladium oryzae*, *Fusarium spp.* *Pseudomonas spp.*):** Si esta enfermedad aparece en etapas iniciales puede causar esterilidad. Inicial con la aparición de micelios de color blanco o salmón, y lesiones principalmente en la vaina de las hojas, manchas en forma de oblonga, con centro gris y bordes marrones que se extienden hasta cubrir completamente la vaina
- **Pudrición café de la vaina, mal del pie. Comúnmente llamado mancha naranja (*Gaeumannomyces graminis*):** Aunque los principales reportes son de África Central, en Colombia ha incrementado su incidencia en los últimos años. Aunque se puede confundir con otro tipo de enfermedades de vaina, esta se caracteriza por la presencia de lesiones de forma irregular, coloración oscura en la vaina de las hojas, base de los tallos además de la formación de micelios de color negro entre las vainas de las hojas.
- **Sarna de las orejas o tizón de las orejas (*Fusarium spp.*, *Curvularia lunata*, *Bipolaris oryzae*, *Cladosporium sp.*, *Epicoccum sp.*, y *Nigrospora spp.*, *Alternaria sp.*):** Debido a que es un complejo de hongos, su sintomatología depende del hongo que esté involucrado, generalmente se presenta decoloración y/o tizón de la panícula entera o por partes y también va acompañado de la maduración prematura del grano
- **Manchado de grano (*Helminthosporium oryzae*, *Curvularia lunata*, *Alternaria padwickii*, *Helminthosporium sigmoideum*, *Pyricularia oryzae*, *Gerlachia oryzae*, *Sarocladium oryzae*, *Cercospora oryzae*, *Pseudomonas spp.*, *Nigrospora spp.*):** Presente en la mayoría de los cultivos de arroz en Colombia, se caracteriza por la pigmentación

del grano y reducción de la germinación de este, también formación de manchas ovaladas de color café y puede aparecer antes o después de la cosecha.

Al igual que los insumos anteriores, existen gran variedad de insumos comerciales, cada uno ellos con diferente ingrediente activo. De acuerdo con Fedearroz, ofrece 15 tipos de fungicidas con diferentes principios activos como: azoxystrobin (impide germinación de esporas), Carbendazim (amplio rango de enfermedades), Clorotalonil (reduce crecimiento de micelio del hongo), Cymoxanil (efecto en diferentes estados de desarrollo del hongo), etc.

Insecticidas

Se aplica para eliminar plagas de insectos. De acuerdo con Fedearroz en su informe de Manejo integrado de insectos en el cultivo de arroz, en Colombia las plagas más comunes en los cultivos de arroz son (Perez-Cordero y Cuevas-Medina, 2018):

- Cucarro (*Euetheola bidentata*): Estiércol de ganado funciona como hospedador, su máximo población se presenta de abril a mayo
- Marranita (*Neocurtilla hexadactyla*): Usan los caballones como refugio, además crean túneles promoviendo la filtración del agua. Favorece su crecimiento el tiempo seco, la desnivelación y mal manejo del agua de riego.
- Chinche de la raíz (*Blissus leucopterus*): se presenta en temporadas secas o en zonas donde el riesgo no es uniforme.
- Cogollero, gusano (*Spodoptera frugiperda*): el tiempo seco promueve su proliferación, se alimentan de malezas de tipo gramíneas, cortaderas y de hoja ancha

- Barrenador (*Diatraea saccharalis*): Zonas con exceso de agua, los tallos son más débiles a la penetración del insecto y una vez el insecto ha alcanzado el tallo es difícil la recuperación de la planta.
- Enrollador de hoja (*Salbia sp*): Se favorece su crecimiento en épocas secas, utilizan como hospederos la maleza gramínea.
- Novia del arroz (*Rupela albinella*): No se puede detectar a simple vista, si no es necesario realizar una disección longitudinal del tallo.
- Sogata (*Tagosodes orizicolus*): Se reduce su población con la incorporación abonos verdes, mantener el cultivo libre de malezas gramíneas. El insecto tiene como enemigos naturales parasitoides de ninfas, huevos, adultos y arañas depredadoras.
- Gorgojito de agua (*Lissorhoptrus kuschelli*): Coloca sus huevos en túneles construidos de barro, es frecuente en lotes desnivelados.
- Minador de la hoja (*Hydrellia spinicornis*): el desnivel de suelos, baja población de plantas y la oviposición de la hembra son favorecidas en condiciones de alta humedad
- Tibraca (*Tibraca limbativentris*): se hospedan en las malezas piñita, liendre puerca y el pasto panameño, su proliferación es favorecida por el exceso de nitrógeno y en épocas secas.
- Chinche negra (*Euchistus sp*): Si sucede el ataque en etapas tempranas, la planta no crece ni responde ante las aplicaciones de fertilizantes, reduciendo su tamaño durante el macollamiento.
- Chinche de la espiga (*Oebalus sp*): Inician el ataque desde las orillas del lote, su principal hospedero es la maleza liendre puerco. Las poblaciones del insecto aumentan en las etapas de floración a la cosecha.

- Acaro blanco del arroz (*Steneotarsonemus spinki*): Su población se favorece por las condiciones altas de temperatura y humedad relativa. No son visibles a simple vista ya que se ubican en el interior de las vainas.
- Ácaros, arañitas (*Schizotetranychus oryzae*): Aparece en épocas secas, con fuertes vientos, altas temperaturas y baja humedad relativa.

Entre los principios activos que se usan en los insecticidas comerciales se encuentran; Abamectina (Ácaros), Imidacloprid (Cucarro), Amitraz (Acaro), clorpirifos (Gusano cogollero, verraquito de tierra chinche de espiga), fipronil (Cucarro), Cipermetrina (Gusano cogollero), Permetrina (Gusano cogollero), Lambda Cyhalotrina (Gusano cogollero).

Uso De Fertilizantes Nitrogenados

De acuerdo con el Instituto Internacional de Nutrición de plantas (IPNI, por su nombre en inglés), en la tabla 2 se encuentran los requerimientos necesarios de nutrientes necesarios que promueven el rendimiento de cultivo de arroz, los cálculos están basados para un cultivo de arroz para un rendimiento de 9000 kg/ha y con 13% de humedad (IPNI, 2016).

En el caso de Casanare, de acuerdo con la Encuesta Nacional de Arroz Mecanizado (ENAM) para el primer semestre del 2021, realizada por el DANE y Fedearroz el rendimiento de arroz en el departamento disminuyó en 1,2% respecto al primer semestre del 2020 y fue de 5,90 t/ha o 590000 kg/ha (DANE y Fedearroz, 2021)

Tabla 2*Requerimientos nutricionales cultivo de arroz*

RENDIMIENTO		HUMEDAD DE GRANO		
<i>(kg ha⁻¹)</i>		<i>(%)</i>		
5900		13		
NUTRIENTE	REQUERIMIENTO	IC	ABSORCIÓN	EXTRACCIÓN
-	<i>(kg t⁻¹)</i>		<i>(kg ha⁻¹)</i>	
N	22.2	0.7	114	75
P	4	0.8	21	17
K	26.2	0.1	134	13
Ca	2.8	0	14	0.6
Mg	2.4	0.4	12	5.2
S	0.94	0.6	4.8	3.1
B	0.016	0.5	0.08	0.04
Cl	9.7	0.4	50	21
Cu	0.027	0.9	0.14	0.16
Fe	0.35	0.6	1.8	1.0
Mn	0.37	0.2	1.90	0.30
Mo	-	-	-	-
Zn	0.04	0.5	0.21	0.10
Ni	-	-	-	-

Nota: Tomado de IPNI, 2016. Requerimiento: Cantidad de nutrientes absorbidos por el cultivo para producir una tonelada de materia seca de grano. IC: Índice de cosecha. Absorción total por cultivo y extracción por cosecha. Absorción: Cantidad total de nutrientes absorbidos por el cultivo durante su ciclo de desarrollo. Extracción: Cantidad de nutrientes removidos o cosechados por tonelada de grano producido.

Observando que la producción media en la región llanos orientales es aproximadamente de 5900 kg, es decir 5.9 toneladas requiriendo una aplicación de 130 kg de Nitrógeno por hectárea y con ellos se estaría cumpliendo con los valores máximos permisibles dentro de la directiva de nitratos de la UE donde se recomiendan en cuanto al estiércol agregado, este no supere el contenido

de nitrógeno de 170 kg/ha en zonas vulnerables y como máximo de 210 kg/ha en zonas no vulnerables (Ministerio de agricultura pesca y alimentación, 2018)

Sin embargo, para conocer el dato exacto de fertilizantes o nutrientes que se deben agregar al suelo para maximizar el rendimiento del cultivo y no agotar el suelo, se deben llevar a cabo estudios previos del suelo (Comunicación personal, 2021). Se usan diferentes tipos de fertilizantes y existe gran variedad a nivel comercial, de acuerdo con el Instituto Colombiano agropecuario en agosto del 2021 se encontraban registrados 8170 fertilizantes (ICA, 2021), entre algunos especializados para el arroz se encuentran por ejemplo de las marcas Precisagro u Fedearroz, con diferentes referencias entre ellas:

- Feticrop Arroz desarrollo con 29% de Nitrógeno, 17% potasio soluble en agua (K_2O), 2% oxido de magnesio, 3% azufre total,
- Feticrop Arroz siembra con 11% de Nitrógeno, 22% fosforo asimilable (P_2O_5), 12% potasio soluble en agua (K_2O), 3% oxido de magnesio, 3% azufre total.
- Feticrop Arroz siembra llano con 11% de Nitrógeno, 23% fosforo asimilable (P_2O_5), 10% potasio soluble en agua (K_2O), 3% oxido de magnesio, 4% azufre total.
- Nutrimon, Fosfato diamonico con 118% de Nitrógeno, 46% fosforo asimilable (P_2O_5)

Uno de los abonos más usados a nivel tradicional es el triple 18, es decir con 18% de contenido de nitrógeno y se tiende a usar en el momento de la siembra, según recomendación del agrónomo (Comunicación personal, 2021).

Afectaciones Del Exceso De Nitrógeno Generado Por El Cultivo De Arroz

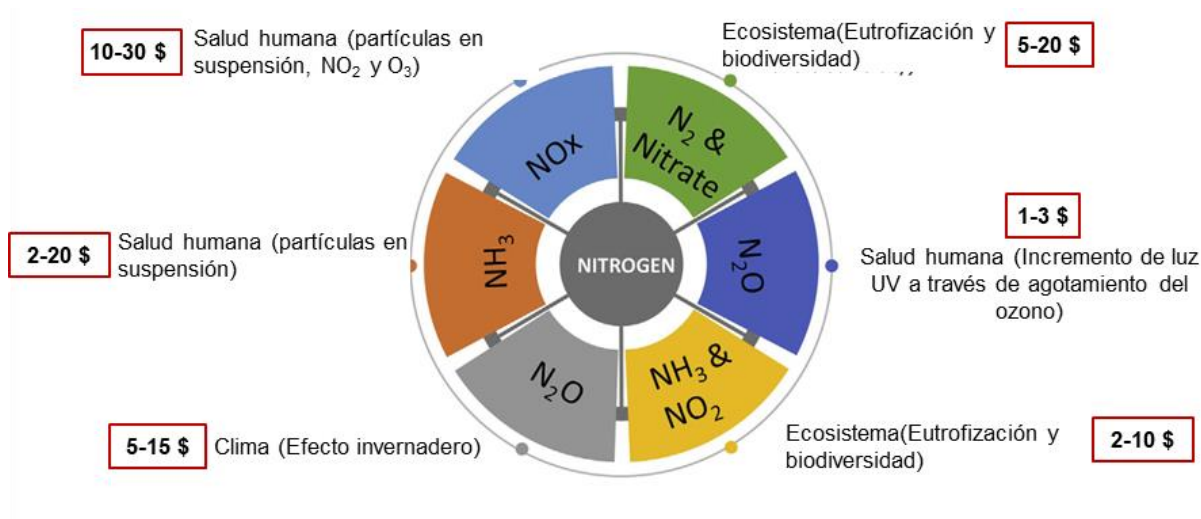
Anteriormente los agricultores usaban diferentes estrategias para el cuidado de los suelos, como variación de cultivos, reciclaje de materia orgánica, patrones de lluvia y diferentes mecanismos de control biológico, sin embargo, al aumentar la cantidad de producción y el empleo de prácticas como monocultivos, se hizo necesario el uso de fertilizantes y abonos los cuales poseen nitrógeno, anteriormente la introducción de nitrógeno en suelos se lograba mediante la variación de cultivos. En estados Unidos se usa de 120 a 550 kilogramos de N por hectárea, en China solo del 30-35% del nitrógeno aplicado es realmente absorbido por los cultivos (Teng et al., 2019), sin embargo debido a los beneficios que genera para los cultivos, se discute poco acerca del impacto que genera para el medio ambiente y la alteración del ciclo de nitrógeno (Arauzo et al., 2003).

Estos abonos o fertilizantes empleados, durante la práctica se hacen de manera indiscriminada, sin control o protocolos y como consecuencia es usado de forma desproporcionada. Ya que estos compuestos no se degradan y su exceso no se elimina mediante ninguna técnica, ocurre la contaminación de tierras y aguas. En estados Unidos se estima que más del 25% de pozos de agua potable presentan contenido de nitratos por encima de lo recomendable para la salud humana según la OMS de 50 mg/l (Altieri, 2012). También un estudio llevado a cabo en las llanuras de Andimeshk y Susa en Irán, se analizó el contenido de NO_3 y aunque hasta el momento todos los puntos de muestreo la concentración se encontraba por debajo de los límites recomendados por la OMS (50 mg/l) si se evidenció un aumento de 6,3 mg/l de 1998 a 10,4 mg/l en 2004 debido a la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Mahvi et al., 2005). Brink y colaboradores presentaron un estimado de los costos a nivel económico que ocasiona la contaminación de nitrógeno en sus diferentes formas, el cual se encuentra resumido en la Figura

7 (Brink et al., 2010). Sin embargo, un costo más importante es impacto que presenta el consumo de exceso de nitrógeno sobre la salud humana.

Figura 9

Costos asociados con la contaminación de nitrógeno por kilogramo de nitrógeno emitido.



Nota: Tomada de (Adegbeye et al., 2020)

A continuación, se muestra en la Tabla 3 el resumen de las principales afectaciones en la salud humana, ecosistemas acuáticos, suelos y aguas subterráneas, posteriormente se encuentra explicado mas a detalle las consecuencias para cada uno de los aspectos

Tabla 3*Matriz de impacto de exceso de nitrógeno*

Afectaciones del exceso de nitrógeno	
Salud Humana	<ul style="list-style-type: none"> • En niños: Hemoglobina se convierte en metahemoglobina o síndrome de bebé azul • Aumentar el riesgo de sufrir de cáncer gástrico • Afectaciones en la glándula de la tiroides
Ecosistemas acuáticos	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento en la turbidez del agua, afectando microorganismos fotosintéticos • Proliferación de algunas especies como algas y malezas acuáticas • Disminución del oxígeno disuelto provocando muerte de pescados por hipoxia
Suelos	<ul style="list-style-type: none"> • Acidificación del suelo, generando supresión de la actividad microbiana • Aceleración del ciclo del nitrógeno y aumentando la cantidad de amoníaco que llega a la atmosfera • El nitrato del suelo es llevado por medio de lixiviado a las fuentes hídricas • Cambios significativos en la diversidad de especies • Afectaciones en el depósito de carbono de la planta subterránea
Aguas subterráneas	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento del contenido de nitrógeno por encima de lo permitido por la norma debido a los lixiviados provenientes del suelo

Salud Humana

De acuerdo a los estudios realizados, los nitratos administrados en la dosis adecuada puede contribuir a reducir la presión arterial, preservar o mejorar la disfunción endotelial (Zhai et al., 2017), sin embargo en exceso puede ocasionar diferentes enfermedades en el cuerpo. En los niños ocasiona la conversión de hemoglobina en metahemoglobina cuando los nitratos son convertidos en nitritos en el cuerpo humano. A su vez estos nitratos al entrar en contacto con compuestos orgánicos del cuerpo pueden reaccionar y transformarse a nitrosaminas y nitrosamidas las cuales son cancerígenas y provocan cáncer gástrico ya que las reacciones se llevan a cabo en el estómago. Como también se ha encontrado evidencia que puede causar afectaciones en la glándula de la tiroides, riesgo de padecer esclerosis múltiple (Majumdar y Gupta, 2000; Zhai et al., 2017).

Ecosistemas Acuáticos

La eutrofización hace referencia al exceso de uno o más nutrientes en un ecosistema o ambiente (Chislock et al., 2013), cuando este proceso ocurre a nivel acuático por exceso de nitrógeno, presenta diferentes afectaciones en la biota, entre sus consecuencias se encuentra el aumento en la turbidez del agua lo que no solo la altera a nivel estético si no también afecta a los microorganismos fotosintéticos, prevaleciendo el crecimiento de algas y malezas acuáticas lo que ocasiona disminución del oxígeno disuelto afectando la demanda de éste en el ecosistema por lo tanto los pescados mueren por hipoxia (García Miranda y Miranda Rosales, 2018). Una concentración de nitrógeno inorgánico se considera crítica en valores alrededor de 0,3 mg/l, ya que puede incrementar el crecimiento de algas. Se recomienda mantener la concentración de nitratos por debajo de este valor, además de la concentración de nitrógeno total en valores inferiores a 0,3 mg/L para no promover la contaminación por algas (Ramakrishnan VV, 2015).

El exceso de nitrógeno no solo ocasiona la muerte de pescados, también afecta a otro tipo de microorganismos, Serrano, Egea evaluó en su tesis doctoral el impacto de compuestos nitrogenados sobre la rana común, *Pelophylax perezii*, exponiendo larvas a cloruro amonio (NH_4Cl), nitrito sódico (NaNO_2) y nitrato sódico (NaNO_3). La exposición al nitrógeno se realizó de dos maneras, la primera con exposición aguda a los compuestos nitrogenados y exposición durante 21 días a concentraciones subletales, ambas exposiciones se hicieron a nivel de laboratorio, pero además también se expusieron las larvas durante 21 días en condiciones de mesocosmos. Para ambas condiciones tanto para concentración agua y subletal a escala de laboratorio se encontró que en aumento en la tasa mortalidad larvaria, además en la exposición prolongada se evidenció reducción en el consumo de alimento. Para la exposición subletal en ambiente de mesocosmos, no afecto la supervivencia pero si redujo significativamente la altura del cuerpo y de la cola, así como la masa final y el crecimiento (Egea-serrano, 2010).

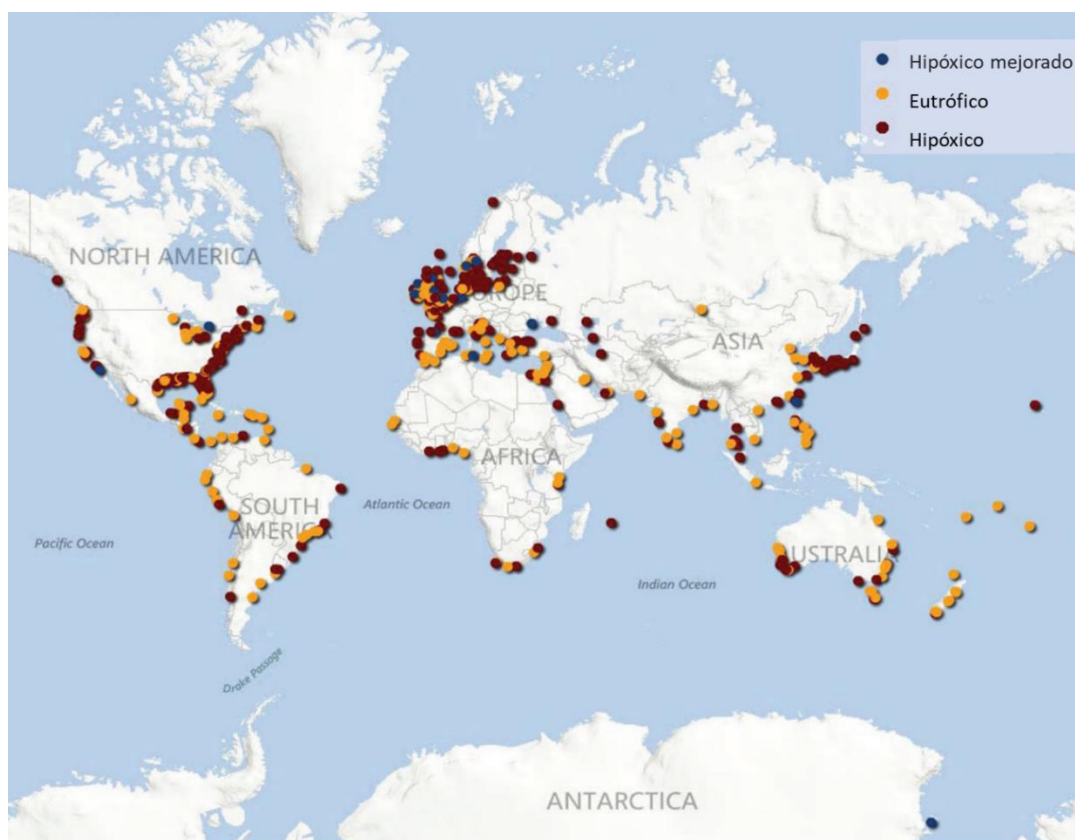
Otra de las consecuencias que se ha observado con el exceso de nitrógeno es el aumento de biomasa del fitoplancton, los cuales producen aleloquímicos, como cianobacterias, toxicas para los animales acuáticos (Azevedo et al., 2015). Adicionalmente de estos efectos negativos desencadenados por el exceso de nitrógeno se suma los efectos ocasionados por el cambio climático. El aumento de la temperatura y de los aportes de nitrógeno por el incremento en la frecuencia de lluvias pueden magnificar los cambios en el conjunto de algas, además en cuerpos de agua dulce con nitrógeno limitado mejora el crecimiento de algas nitrófilas las cuales compiten por los recursos de luz, fosforo y silicio, ocasionando el predominio de esta población sobre la reducción de invertebrados como alimentos para peces (Greaver et al., 2016).

De acuerdo con el proyecto “*Survey of the State of the World's*” realizado en el 2008 por *International Lake Environment committee* el 54% de los lagos asiáticos presentaban eutrofización, 53% en Europa, 48% en América del Norte y el 41% en Sudamérica y 28% en África (Scienze,

2008). Adicionalmente, en la Figura 8 se encuentra un mapa que presenta 726 áreas costera afectadas, de las cuales 479 sitios se identificaron con hipoxia, 228 sitios experimentan alguna otra consecuencia de la eutrofización y solo 55 han mejorado de estados de hipoxia anteriores(Diaz, 2013). En el mapa (Figura 8) se puede destacar que las regiones con más puntos afectados son Estados Unidos y Europa, sin embargo, no significa que sean las zonas más afectas si no los lugares con mayor recolección de datos por lo tanto se puede evidenciar la falencia en el desarrollo de investigaciones en Latinoamérica y África por el impacto que ha tenido el exceso de nitrógeno en los ecosistemas acuáticos.

Figura 10

Mapa de eutrofización global.



Nota: Tomado de (Jessen et al., 2014), a su vez elaborado con datos eutrofización en zonas costeras del Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por su nombre en inglés)

Suelos

Los aportes de nitrógeno son indispensables para la fertilidad del suelo y en regiones con ausencia de éste, como por ejemplo, en algunos países en vía de desarrollo o que se encuentran por fuera de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) la insuficiencia de nitrógeno ocasiona bajo rendimiento de cultivos, insuficiencia en la producción de alimentos, ocasionando escasez de alimentos (Stevens, 2019).

Sin embargo, el extremo opuesto de exceso de nitrógeno también provoca efectos negativos. El principal problema es la acidificación del suelo, lo cual genera supresión de la actividad microbiana, disminución de la biomasa de raíces finas y disminución de la biodiversidad. Al realizarse mayores aportes de Nitrógeno al suelo se acelera el ciclo del N, impulsado por la transferencia de amonio a nitrato, seguido de la lixiviación (Mao et al., 2017) por lo que aumenta la cantidad de amoniaco que es llevado a la atmosfera donde contribuye a la formación de aerosoles secundarios que posteriormente pueden depositarse en diferentes ecosistemas. A su vez el nitrato formado por medio de la lixiviación es llevado a aguas subterráneas y a otras fuentes hídricas impactando en los sistemas acuáticos como se vio en el literal anterior. Por otra parte el NO y NO₂ producidos durante los procesos de nitrificación o desnitrificación hacen parte de los gases de efecto invernadero (Ju y Zhang, 2017).

Se han llevado a cabo diferentes investigaciones tanto a nivel experimental, como simulación con el objetivo de conocer impacto del exceso del nitrógeno sobre los suelos y su vegetación, en la tabla 3 se encuentra algunos de ellos, en los cuales se puede observar los resultados como reducción de biomasa, acidificación del suelo, entre otros.

Tabla 4*Estudios de impacto de nitrógeno en suelos*

Referencia	Estudio	Conclusiones
Bowman et, al Tomado de (Stevens, 2019)	Aplicación simulada de nitrógeno durante 12 años en un pastizal alpino en las Montañas Rocosas de Estados Unidos	Cambios significativos en la composición de especies como la disminución de una clase de juncia(planta herbácea, <i>Cyperus rotundus</i> , que tiende a crecer en lugares encharcados como bordes de ríos) previamente dominante y aumento de otras especies, también se encontró modificaciones en la proporción de hongos y bacterias, nitrificación del suelo, variación del pH del suelo, concentración de metales tóxicos y concentraciones de cationes. Nueve años después de detener las aplicaciones, muchas de las variables aún no habían regresado a los valores ni la biota se había recuperado.
(Averill et al., 2018)	Evaluar el impacto de deposición de nitrógeno sobre los hongos micorrizicos arbusculares y ectomicorrizicos mediante un análisis estadístico de recolección de bases de datos.	Los hongos arbusculares dependen principalmente de formas inorgánicas de N, mientras los de tipo ectomicorrizicos dependen más de fuentes de N orgánico por lo que se encontró que las aplicaciones de N disminuyen los árboles de micorrizas ectomicorrizicos
(Du et al., 2014)	Evaluar el impacto sobre la biomasa y estequiometria del musgo <i>Rhytidium rugosum</i> de enriquecimiento de nitrógeno en cantidades de 0, 2, 5 y 10 g N/m ² año en un bosque boreal en el noreste de China	Resultados estadísticos indican que las adiciones bajas de N no tuvieron efectos significativos sobre la biomasa del musgo, mientras que las moderadas y altas adiciones de N redujeron significativamente la biomasa de musgo en 51% y 88% respectivamente y un comportamiento similar se observó entre la proporción de tejidos verde a marrón.

		Además, se evaluó el contenido de carbono y fosforo en la biomasa, las adiciones moderadas y altas de nitrógeno disminuyeron significativamente las reservas de C en 51% y 88% respectivamente y el P, en 47% y 81% respectivamente
--	--	---

Otro factor a considerar en el suelo, es la relación que existe entre los ciclos biogeoquímicos del carbono y el nitrógeno, Chen, 2015 realizó un metaanálisis de 88 estudios sobre los efectos del exceso de nitrógeno sobre el ciclo del Carbono encontrando que aportes bajos de nitrógeno tiene efectos positivos sobre la dinámica del ciclo del C, sin embargo, con el nitrógeno en exceso se afecta el depósito de carbono de la planta subterránea, aumento de caída de la hojarasca, disminución de la hojarasca y de la respiración del suelo, lo que podría significar un aumento en el secuestro de C del suelo (H. Chen et al., 2015)

Debido a las consecuencias generadas en el ambiente y que en Europa la contaminación por nitrógeno se ha reducido en la última década, Stevens realizó un metaanálisis de diferentes investigaciones en pastizales, bosques, humedales y brezales donde han cesado o reducido las aplicaciones de nitrógeno en Europa encontrando como puntos en común que las variables de composición de las especies de vegetación, las comunidades subterráneas y los procesos del suelo pueden tardar en recuperarse, mientras que algunas variables del suelo, como las concentraciones de nitrato y amonio, pueden responder con relativa rapidez a las reducciones en las aportaciones de nitrógeno. Sin embargo surge la preocupación de que aún con las estrategias de reducción o mejoras en el manejo de nitrógeno se pierda la biodiversidad del entorno sin posibilidad de recolonizar debido a ausencia de semillas locales (Stevens, 2016).

Aguas subterráneas

Otra de las consecuencias derivadas del exceso del nitrógeno, son los lixiviados acumulados en los suelos que posteriormente a causa de las lluvias o escorrentía, alcanzan las aguas subterráneas, que generalmente son usadas para consumo humano. En China, la agricultura se ha considera parte de las actividades económicas más contaminantes es por ello que se han llevado a cabo algunos estudios al respecto, en la provincia de Shaanxi de China, región con actividades agrícolas intensas se midió la concentración de nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$), nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$) Y nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_4\text{-N}$), de 47 muestras de aguas subterráneas, en el estudio se encontró que las concentraciones de nitrato estuvo entre 0 y 82,8 mg/L, de nitrito entre 0 y 0,15 mg / L y de nitrógeno amoniacal de 0 y 3,52 mg/L, mientras las regulaciones nacionales permiten concentraciones de nitrato, nitrito y amoníaco para beber agua subterránea en 20, 0.02 y 0.2 mg/L, respectivamente (Zhang et al., 2018), es decir que no es agua apta para consumo humano, representando un riesgo para la salud humana, especialmente para niños y adultos mayores por las enfermedades desarrolladas por consumo excesivo de nitrógeno mencionadas anteriormente. De manera similar se llevó un estudio Shenfu, en el noroeste de China, la concentración de las muestras recolectadas de $\text{NH}_4 - \text{N}$, $\text{NO}_3 - \text{N}$ y $\text{NO}_2 - \text{N}$ están en el rango de 0.00–116.67, 0.00–92.81 y 0.00–18.87 mg/L, respectivamente, encontrado que el promedio de concentración de nitrito y nitrógeno amoniacal es 4,32 y 21,50 veces mayor que el estándar nacional correspondiente y se encuentra altamente relacionado con el uso de fertilizantes nitrogenados usados en las actividades agrícolas de la región (Su et al., 2018).

En Europa también, debido a la atención recibida por parte de la directiva de nitratos se ha encontró en el informe sobre el período 2004-2007 indica que el 15 % de las 27 estaciones de control de aguas subterráneas que posee Europa registra niveles de nitratos superiores al límite de 50 mg por litro (Comisión Europea, 2010).

Estrategias De Solución Usadas A Nivel Internacional Para El Manejo De Contaminación De Nitrógeno

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por su nombre en inglés) define el desarrollo agrícola sostenible como “El desarrollo sostenible es el manejo y conservación de la base de recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional de tal manera que se asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras. Este desarrollo sostenible (en los sectores agrícola, forestal y pesquero) conserva la tierra, el agua y los recursos genéticos vegetales y animales, no degrada el medio ambiente y es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable” (do Nascimento et al., 2020). A continuación, se plantean diferentes tipos de estrategias para prevenir y controlar la contaminación por nitrógeno proveniente de los cultivos de arroz.

Regulaciones Nacionales E Internaciones De Contenido De Nitrógeno En Fuentes Hídricas

Aunque para cumplir y mantener los rendimientos necesarios en la época actual es necesario el uso de fertilizantes, estos deben ser usados de manera responsable teniendo en cuenta su impacto en la vida humana y en la naturaleza el exceso de nitrógeno en las fuentes hídricas y en el entorno por ello una de las estrategias de solución es la prevención la cual se realiza mediante las regulaciones de los diferentes países y organizaciones.

En la tabla 4 se muestran las concentraciones permitidas en el agua potable de acuerdo con diferentes países u organizaciones. Como evidencia del impacto de estas regulaciones se puede observar el comportamiento en la Unión Europea que entre el 2004 y 2007 las concentraciones de

nitratos en aguas superficiales se mantuvieron estables o disminuyeron en un 70% (Comisión Europea, 2010).

Tabla 5

Máximos límites permisibles de nitrato en agua potable en diferentes países u organizaciones

País/Organización	Concentración NO₃-N [mg/l]	Concentración NO₃ [mg/l]
OMS	10	45
Estados Unidos	10	45
ICMR (India)	10	45
Canada	10	45
Polonia	10	45
EEC	11.3	50
Bulgaria	6.7	30
Bélgica	11.3	50
Dinamarca	11.3	50
Finlandia	6.8	30
Hungría	9	40
Reino Unido	11.3	50
	22.6	100

Nota: Tomada de (Majumdar y Gupta, 2000)

Otras de las regulaciones establecidas en cuanto a nitratos es la presencia de estos en los alimentos, por ejemplo, en la Unión Europea por medio de la directiva de nitratos de EU se establece la concentración de nitratos máxima permitida para alimentos elaborados a base de cereales en 200 mg NO₃/kg (Diario Oficial de la Unión Europea, 2006)

En Colombia, en relación con la regulación de nitrógeno, se encuentra la Resolución 0883 del 2018 expedida por el Ministerio de Protección Social, la cual establece las concentraciones máximas permitidas de vertimientos de aguas residuales a cuerpos de aguas marinas, para cada actividad económica, respecto a la agroindustria las concentraciones permitidas son 1 mg/L, 0,5 mg/L, 5 mg/L, 10 mg/L para nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, y nitrógeno total

respectivamente. Sin embargo, en el vertimiento de aguas derivado de la fabricación de abonos y compuestos nitrogenados exige su análisis y reporte, sin establecer un límite (Minambiente, 2018) e igualmente en la Resolución 0631 del 2015, que relaciona los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas y no domésticas a cuerpos de superficiales, en lo relacionado a actividades productivas de agroindustria y ganadería no establece un límite para los compuestos de nitrógeno, solo establece realizar un análisis y reporte.

En cuanto a términos de consumo humano, en los alimentos, la resolución 4506 del 2013, para los alimentos elaborados a base de cereales se establece una concentración límite de 200 mg NO_3/kg (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013) y la Resolución 2115 del 2007 establece las propiedades fisicoquímicas del agua apta para consumo humano, la concentración máxima aceptadas de nitritos y nitratos en 0,1 mg NO_3/L y 10 mg NO_3/LB respectivamente (Ministerio de la protección social, 2007).

Soluciones Técnicas Y Tecnológicas

Reemplazo De Fertilizantes Químicos Por Orgánicos

Algunas de las estrategias para poner en práctica un sistema de agrícola sostenible es la reducción del uso de fertilizantes y pesticidas, los cuales se pueden reemplazar por heces, aguas residuales, lodos o desperdicios orgánicos. También mantener la rotación de cultivos lo cual ayuda en la introducción natural del nitrógeno en los suelos además de interrumpir los ciclos de insectos y plagas. También el uso de cultivos de cobertura que mejora la fertilidad de los suelos (Altieri, 2012). Sin embargo para asegurar la eficacia de reemplazar los fertilizantes por abonos orgánicos se deben conocer diferentes parámetros, como la cantidad de nitrógeno disponible en el abono, el nitrógeno disponible en suelos, la técnica y cantidad de aplicación, de lo contrario se pueden obtener efectos adversos, en China se considera que las principales fuentes de

contaminación de nitrógeno son, la aplicación de fertilizantes y estiércol en cultivos (Lu et al., 2019)

De acuerdo con un metaanálisis llevado a cabo por Xia, *et al*, compuesto de 376 estudios de producción de granos básicos (arroz trigo y maíz), sobre prácticas de manejo de nitrógeno en las que se incluye los fertilizantes de liberación controlado, inhibidores de nitrificación y ureasa, mayor frecuencia de división de la aplicación de fertilizantes y colocación profunda de fertilizantes, estas prácticas aumentaron el rendimiento de grano de 1,3 a 10%, la absorción de N en la superficie, de 5,1 a 12,1%, , además de reducir las pérdidas de nitrógeno entre 5,4% y 38,8%, además de reducir las emisiones de NO₂, NH₃ y la lixiviación en un máximo de 61,5%, 37,3% y 45% respectivamente.

Agricultura De Precisión

Entre las soluciones planteadas por diferentes autores, se encuentra la agricultura de precisión la cual integra las tecnologías de la información, comunicación y control en las prácticas agronómicas, en si consiste en la implementación de aplicaciones, sensores, sistema GPS y SIG dentro de los campos de cultivo, ayuda de satélites, entre otros (Tarazona, 2019).

El principal objetivo de la agricultura de precisión es mejorar la eficiencia del cultivo a nivel agronómico, económico y ambiental, mediante la ayuda tecnológica es posible medir diferentes parámetros como, humedad, contenido de nutrientes en el suelo, temperatura, detectar enfermedades en tiempo real, lo que permite mayor aprovechamiento de los recursos, regular la aplicación de los fertilizantes, agua y pesticidas sobre el cultivo (Narmilan y Puvanitha, 2020)

Pero la agricultura de precisión no solo hace referencia al uso de equipos tecnológicos, una de la rama de esta es el desarrollo de productos inteligentes, en cuanto a los fertilizantes se han desarrollado fertilizantes de liberación controlada, que consiste en fertilizantes solubles en agua

revestidos por un polímero, este revestimiento presenta pequeños orificios que permiten la entrada de agua, disolviendo lentamente el fertilizante (PRO MIX, 2021), además este monitoreo y control se puede extender a medir no solo el cultivo si no el nivel de nitratos en aguas superficiales y subterráneas en las zonas cercanas a la producción agrícola, con ello se puede prevenir y remediar la contaminación antes de que sea consumida por las poblaciones.

También se han desarrollado inhibidores de nitrificación e inhibidores de ureasa los cuales pueden ser aplicados de manera independiente o junto con el fertilizante y aumentan el tiempo que el nitrógeno permanece en el suelo mejorando la eficiencia en el uso del nitrógeno. Su funcionamiento consiste en el bloqueo de enzimas, en el caso de la nitrificación bloquean a los inhibidores trabajan en el caso de la nitrificación, bloquean temporalmente la enzima mono-oxigenasa de amonio en las bacterias *Nitrosomonas* ssp, son responsables del primer paso del proceso de nitrificación, en el caso de la ureasa bloquean estas enzimas presentes en el suelo retardando la conversión de nitrógeno ureico en nitrógeno amoniacal (Fertilizers europe, 2019).

Rizipiscicultura – Patos (Sistema Cultivo/Animal)

Otra solución a implementar durante el proceso es la combinación de cultivos con el peces y aves, por ejemplo en Shanghái se estudió la posibilidad de implementar un cultivo integrado de arroz, junto con los propios patos de la zona y disminuyó las cantidades de escorrentía y lixiviación de nitrógeno y fosforo en un 83% y 92% respectivamente, respecto a un cultivo de arroz normal(Teng et al., 2019).

También, ya desde hace 1500 años en China se empleaba la combinación de cultivos de arroz y peces, posteriormente durante el siglo XIX fue llevado a Madagascar, Italia, Estados Unidos y actualmente es una práctica ampliamente usada en India, Japón y Taiwán (Luna y Lozano, 2018). Este sistema permitió el aumento de la productividad y eficiencia del sistema, las especies más

usadas son la carpa común (*Cyprinus carpio*), tilapia de mozambique (*Oreochromis mossambicus*), gurami (*Trichogaster pectoralis*), tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), pez búfalo (*Ictiobus cyprinellus*), pez dorado (*Carassius auratus*), sabalote (*Chanos chanos*), lisas (*Mugil* sp.), gobis (*Gobiidae*), anguila y pez gato (*Clarias batrachus*) (Luna y Lozano, 2018).

Se ha evaluado este método como estrategia para minimizar la perdidas de nitrógeno a través de la volatilización, en Universidad Agrícola de Huazhong en China, comparando dos sistemas de co-cultivos de arroz-patos y arroz- pez, en ambos casos se obtuvieron mejoras significativas al reducir la perdida de nitrógeno por medio de emisión de NO₂, volatilización de NH₃ y de lixiviación, en términos de pérdidas totales de nitrógeno que se obtuvieron para el tratamiento de control, la combinación con patos y peces fue de 54,97 kg N/ha, 51,39 kg N/ha, y 52,60 kg N/ha respectivamente (Cheng-Fang et al., 2008). También se ha realizado co-cultivos de arroz-camarones y arroz-cangrejos, en ambas investigaciones la integración del cultivo de arroz con la especie animal, con el camarón se mitigó la emisión de N₂O y NH₃ en 108,3% y 22,6% respectivamente, en el caso del cangrejo se evaluó la mejora de absorción de los nutrientes y para el caso del nitrógeno, se observó una mejoría del 23% respecto al tratamiento del control (Khoshnevisan et al., 2021; F. Li et al., 2019)

Sistemas De Tratamiento Para Remoción De Nutrientes

Como medida para remediar las contaminación de aguas subterráneas, consiste en la implementación de humedales de tratamiento, los cuales son humedales artificiales, diseñados y fabricados por el ser humano donde con la ayuda de microorganismos idóneos y otros sistemas se logra aumentar la eficacia de depuración en comparación de un humedal natural (Arteaga-Cortez et al., 2019), entre las estrategias se ha usado adicional a los microorganismo subproducto

de corcho como material filtrante reportando eficiencias de remoción de nitrógeno superior al 90% (Aguilar et al., 2019).

Existen diferentes tipos de humedales, si son clasificados dependiendo del tipo de macrofitas utilizadas, pueden ser de macrofitas flotantes, macrofitas de hoja flotante, macrofitas sumergidas y macrofitas emergentes. Pero debido a la variedad y modificaciones que se presentan en los sistemas, también se clasifican de acuerdo al sentido del movimiento del agua, que puede ser sistemas de flujo libre o humedales de flujo superficial (HFS), sistemas con flujo horizontal subsuperficial (HFSS), sistema con flujo vertical (HFV) y sistemas híbridos (SH) (Gorgoglione y Torretta, 2018).

Sin embargo, para seleccionar el tipo de humedal que se ajusta a la capacidad a tratar y al espacio disponible, se deben tener en cuenta diferentes criterios de diseño desde punto de vista hidrológico, hidráulico, en las que intervienen variables como tiempo de retención, volumen de humedad, régimen hidrológico, uso y propiedades del suelo, la eficiencia hidráulica, entre otros (Arteaga-Cortez et al., 2019), que sería necesario un estudio de investigación aparte para determinar el mejor diseño para la región estudiada en el presente trabajo.

Esta técnica ha sido ampliamente utilizada a nivel mundial, en los Estados Unidos ya era comúnmente utilizada en los años 80 y también han sido utilizados en Ámsterdam para tratar escorrentías de la ciudad, Nueva Zelanda para el tratamiento de aguas lluvia, en China para tratar la escorrentía de actividades agrícolas. También a menor escala se encuentran en algunos aeropuertos como en Zúrich, Toronto, y Suecia (Arteaga-Cortez et al., 2019).

Actualmente en Colombia también ya se han implementado en algunas partes, como en Bogotá que se han empleado para proteger los humedales naturales de la ciudad (Arteaga-Cortez et al., 2019), en el corregimiento San Fernando, Pasto Colombia se empleó para tratar las aguas residuales de un colegio, permitiendo que éstas fueran aptas para realizar la descarga a un cuerpo

receptor, incluso ser utilizada en la agricultura (Cabrera y Ojeda, 2021), por lo tanto esta técnica es empleada en el tratamiento para disminuir la remoción de nutrientes como en contaminación difusa y puntual.

Otra de las estrategias es reducir o mitigar la tasa de lixiviación de los suelos, para ello se ha implementado la aplicación de biocarbón con resultados eficientes. Shuailin *et al*, evaluó la aplicación de biocarbón sobre un suelo arcilloso limoso variando el porcentaje de aplicación en 1%, 2% y 4% en peso, las aplicaciones al 1% aumentó la lixiviación, pero disminuyó la conductividad del suelo, mientras el 4% aumento la lixiviación y la conductividad, mientras el tratamiento a 2% redujo significativamente la lixiviación de nitratos entre 8,3 y 17% además de incrementar la conductividad del suelo en 20,9% (S. Li et al., 2018). Haijun *et al*, realizó un estudio similar pero en un suelo salino costero y variando la concentración de biocarbón en 0,5%, 1%, 2% y 4% en peso, se lograron efectos positivos con los tratamientos de 0,5%, 1%, disminuyó significativamente las concentraciones de NH_4^+ , NO_3^- y N total de lixiviados, en términos de cargas totales se redujeron en valores de 11,6-24%, 13,2-29,7% y 14,6-26% respectivamente (Sun et al., 2017). Por otra parte, también se ha evaluado el impacto de este tratamiento sobre biomasa microbiana y comunidad bacteriana encontrando que no solo reduce la tasa de lixiviación sino además se evidenció aumento en la capacidad de retención de agua, la biomasa microbiana, el pH, la conductividad eléctrica, la mineralización neta de N y la tasa de respiración del suelo con un tratamiento de biocarbón de 2% (Xu et al., 2016).

A continuación se muestra una tabla resumen de las diferentes estrategias de solución, describiendo si son a corto, mediano o largo plazo, los responsables de llevarlo a cabo y el tipo de costo.

Tabla 6*Caracterización de estrategias de solución*

Estrategia	Tiempo de solución	Responsables	Nivel de Costo
Implementación de regulaciones	Largo plazo	Gobierno Agricultores	Variable
Agricultura de precisión	Mediano plazo	Agricultores Inversionistas	Alto
Reemplazo de fertilizantes químicos por orgánicos	Corto plazo	Agricultores	Bajo
Rizipsicultura	Mediano plazo	Agricultores	Medio
Sistema de tratamiento para remoción de Nutrientes	Mediano Plazo	Agricultores	Alto

Análisis teórico de los impactos posibles sobre el entorno de los cultivos en el Casanare

El departamento de Casanare cuenta con 17 millones de hectáreas de cuencas hidrográficas, de los cuales 5 millones de hectáreas se encuentran ordenadas de acuerdo al POMCA'S de Corporinoquia (Corporinoquia, 2017), sin embargo durante la revisión bibliográfica del presente proyecto se encontró que las investigaciones sobre el contenido de nitrógeno en cuerpos de agua o su impacto en los ecosistemas de la región, son escasas, por lo tanto es necesario promover el desarrollo de estas. En la Figura 9 se encuentra una comparación entre las cuencas hidrográficas del departamento y las zonas arroceras, es notorio observar y de acuerdo con la bibliografía consultada, las cuencas de los ríos ubicados en los municipios de Paz de Ariporo, Trinidad, Nunchia, San Luis de Palenque podrían encontrarse altamente afectados por el uso de fertilizantes en cultivos de arroz, en un nivel moderado en los municipios de Tauramena y Yopal y a niveles bajos los municipios restantes.

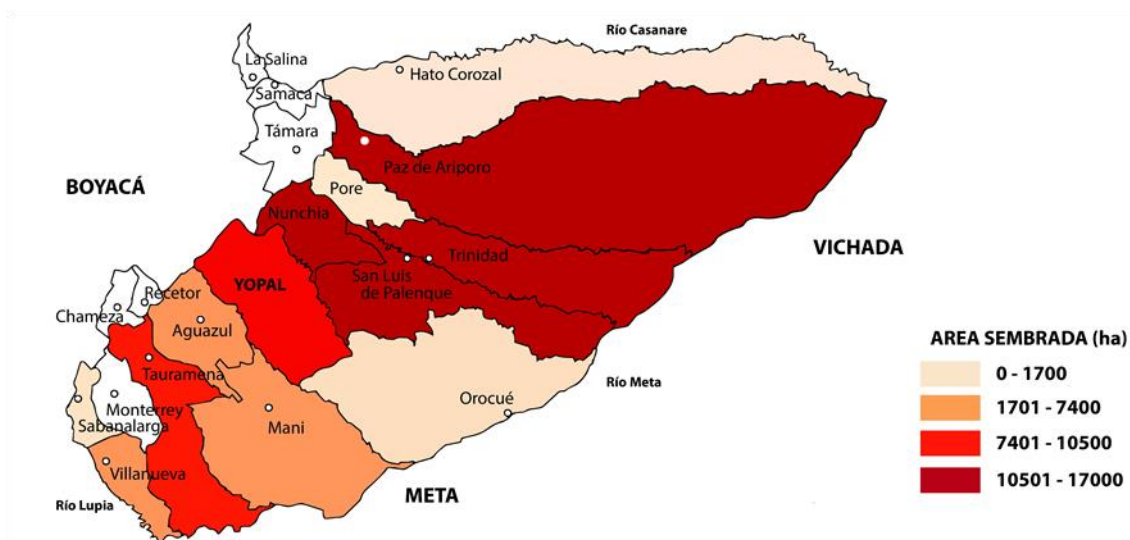
Figura 11

a) Mapa de fuentes hídricas b) Mapa zonificación sistemas de producción arrozero de Casanare

a)



b)



Nota: a) Tomado de (Rios del Planeta, 2020) y b) adaptado de: Secretaria de Desarrollo productivo, Agricultura, Ganadería y Medio ambiente de Casanare PDEA, 2017

Sin embargo, es necesario buscar indicadores o medidas ya sean cualitativas o cuantitativas que permitan diagnosticar las fuentes hídricas, tal es el caso en Navarra, España donde Aldaya *et al.*, estudiaron como era la relación de los indicadores de huella hídrica gris (GWF, siglas por sus nombre en inglés) y nivel de contaminación del agua (WPL, siglas por sus nombre en inglés) en la región midiendo los niveles de nitrógeno en aguas subterráneas, encontrando una relación positiva, es decir en las zonas con mayor nivel de contaminación de agua correspondía un nivel alto de nitrógeno (Aldaya et al., 2020), por lo que este indicador puede ser una medida de diagnóstico de contaminación por exceso de nitrógeno.

En Colombia, el IDEAM, define el ICA como el índice de contaminación del agua, lo cual representa grado de calidad de un cuerpo de agua, en términos del bienestar humano independiente de su uso. Este indicador se obtiene del análisis de diferentes propiedades físicas, y químicas y en algunos casos microbiológicas del cuerpo de agua (IDEAM, 2014), es así como en el presente trabajo se investigó los valores del ICA de las cuencas de los ríos Ariporo, Pauto y Cravo sur los cuales son algunos de los que se encuentran en zonas de mayor área sembrada de arroz.

En los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) se encuentra este indicador en temporada seca o de lluvia. Para POMCA de la cuenca del Rio Ariporo, en época seca el 91,3% de las muestras son aceptables, mientras un 4,3% en estado regular y 4,3% en estado muy malo (muestra cerca al casco urbano de Paz de Ariporo, probablemente relacionado por el vertimiento de aguas residuales de uso doméstico), mientras en época de lluvias el porcentaje de muestras aceptables se reduce a 54,5% y las muestras en estado regular aumentan al 45,5%. Teniendo en cuenta que el arroz es un cultivo que se realiza durante la época de lluvia, esto explicaría el aumento de las muestras en estado regular, ya que con el uso de los fertilizantes nitrogenados y las lluvias permiten la contaminación del agua por el exceso del nitrógeno.

En cuanto al río Cravo Sur se observa un comportamiento similar, ya que en temporada seca 77% el de los puntos de muestreo arroja resultados aceptables, 17% regular y 7% bueno, en las zonas con muestras de estado regular se debe al vertimiento de aguas residuales domésticas. Mientras en época de lluvia, el porcentaje de estado aceptable disminuye al 50%, regular aumenta al 44% y 6% se clasificaron con un índice malo. Finalmente para la cuenca del río Pauto, se encuentran las mediciones de concentración de nitrógeno, se realizaron 9 muestras de las cuales 4 no se consideran aptas para consumo humano debido al contenido de nitrógeno amoniacal con concentraciones entre 0,02 y 18,45 mg/L y en cuanto a la concentración de nitratos medidos, 2 de las muestras no se consideran aptas para consumo humano ya que superan los 10 mg/L dispuestos por la ley por lo que la mayoría de las muestras se consideran de calidad baja o media.

Como parte positiva, existen recomendaciones agronómicas para la aplicación de nitrógeno y actualmente se trabaja para mejorar el manejo de la aplicación de los fertilizantes, ser aplicados en el momento y con la cantidad correcta (Comunicación personal, 2021), además existen regulaciones para el vertimiento de aguas permitido por actividades económicas como la agroindustria en aguas marina (0883 de 2018).

Sin embargo, la regulación actual para los cuerpos de aguas superficiales (0631 de 2015) no establece un límite respecto a la concentración de nitrógeno para diferentes actividades económicas, entre ellas, la agroindustria, y a nivel académico, es poca la investigación respecto a las afectaciones que el nitrógeno ha causado en fuentes hídricas y suelos por el uso de fertilizantes nitrogenados.

Para aumentar la eficacia y eficiencia de los insumos es necesario la integración de los arroceros, la academia y el gobierno. De acuerdo con un estudio realizado en China se encontró que el subarriendo de tierras puede influir en la contaminación por la agricultura, como también ha encontrado que los subsidios que motivan y promuevan la innovación tecnológica en la

agricultura presentan mejores resultados y mejores prácticas que aquellos subsidios que se enfocan en los niveles de producción (Y. Chen et al., 2017; Serra et al., 2019; Yu y Wu, 2018).

Por otra parte como estrategia de solución, y en base a lo observado en la distribución de área sembrada de arroz es posible implementar la estrategia sugerida por Lu *et al*, la cual consiste en determinar diferentes Zonas vulnerables a los nitratos y de acuerdo a como se determina la zona se toman diferentes acciones en cuanto a la aplicación de fertilizantes, riego y porcentaje de aplicación de estiércol (Lu et al., 2019)

Conclusiones

- En el departamento de Casanare se realiza cultivo de arroz mecanizado, en el 2020 alcanzó una producción de casi 852 mil toneladas, el tipo de cultivo predominante es de tipo seco. Como aspecto favorable se encuentra que ya se ha introducido desarrollo tecnológico en el proceso, por lo tanto se realizan estudios de suelo previo a la siembra con el fin de mejorar el manejo de agroquímicos, sin embargo, de acuerdo a la información recolectada en la presente investigación el departamento no cuenta con investigaciones específicamente hacia la medición de la contaminación difusa por las actividades agroquímicas, por ende no cuenta con planes de prevención o remediación que pueda promover o ampliar el uso de las estrategias de mejora propuestas.
- Aunque actualmente se están trabajando en la aplicación eficiente de los fertilizantes, la disponibilidad de la información es escasa, ya que es necesario mayor coordinación entre los agricultores, academias y organización para el desarrollo y avance de investigaciones que promuevan las buenas prácticas en el uso de fertilizantes.
- De acuerdo con la información disponible en los POMCA de los ríos Ariporo, Pauto y Cravo sur es posible que las fuentes hídricas presenten contaminación de compuestos del nitrógeno debido al uso de fertilizantes nitrogenados en cultivos de arroz en las zonas con mayor área sembrada, lo que podría ocasionar impacto sobre los ecosistemas acuáticos, como disminución de la biodiversidad, disminución del oxígeno presente, también generar enfermedades en niños y ancianos y en un caso extremo el incremento de cáncer gástrico.
- En el presente trabajo se expusieron diferentes estrategias de prevención o mejora, con diferentes rangos económicos y tecnológicos, sin embargo, de acuerdo con la economía nacional y

el nivel educativo de la región sería recomendable aplicar técnicas mas operativas como la Rizipiscicultura, la cual a su vez podría diversificar la economía del cultivador y aumentar sus ingresos.

- El monitoreo de las fuentes hídricas se ha convertido en una herramienta fundamental para la generación de información, que permiten hallar y analizar los focos de cambio en la calidad del agua y con ello buscar el origen de las afectaciones en ella.

Recomendaciones

- Ampliar el desarrollo de investigaciones en el área para conocer las afectaciones reales debido a la contaminación difusa por las actividades agrícolas
- Mayor participación y comunicación entre agricultores y entes gubernamentales para fortalecer las bases de datos, desarrollo tecnológico y planes de prevención y remediación

Referencias

- Adegbeye, M. J., Ravi Kanth Reddy, P., Obaisi, A. I., Elghandour, M. M. M. Y., Oyebamiji, K. J., Salem, A. Z. M., Morakinyo-Fasipe, O. T., Cipriano-Salazar, M., y Camacho-Díaz, L. M. (2020). Sustainable agriculture options for production, greenhouse gasses and pollution alleviation, and nutrient recycling in emerging and transitional nations - An overview. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118319. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118319>
- Aguilar, L., Gallegos, Á., Arias, C. A., Ferrera, I., Sánchez, O., Rubio, R., Saad, M. Ben, Missagia, B., Caro, P., Sahuquillo, S., Pérez, C., y Morató, J. (2019). Microbial nitrate removal efficiency in groundwater polluted from agricultural activities with hybrid cork treatment wetlands. *Science of the Total Environment*, 653, 723–734. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.426>
- Albert, L. (2002). Plaguicidas. *Curso Basico de Toxixología Ambiental*, 311.
- Aldaya, M. M., Rodriguez, C. I., Fernandez-Poulussen, A., Merchan, D., Beriain, M. J., y Llamas, R. (2020). Grey water footprint as an indicator for diffuse nitrogen pollution: The case of Navarra, Spain. *Science of the Total Environment*, 698, 134338. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134338>
- Altieri, M. A. (2012). Impactos ambientales en la agricultura moderna. *Department of Environmental Science, Policy and Management. University of California, Berkeley*, 1–19. <http://www.ayuntamientomotril.es/fileadmin/areas/medioambiente/ae/IOAgriculturaModerna.pdf>
- Amaya Barrera, J. O. (2019). Del Cultivo Tradicional a la Cadena Agroindustrial del Arroz (*Oryza sativa* L.) en el Departamento de Casanare. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 27(48), 1–88.
- Arauzo, M., Díez, J. A., y Hernáiz, P. (2003). Estimación de balances hídricos y lixiviación de nitratos en sistemas agrícolas. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*, 6, 39–44.
- Arteaga-Cortez, V. M., Quevedo-Nolasco, A., Del Valle-Paniagua, D. H., Castro-Popoca, M., Bravo-Vinaja, Á., y Ramírez-Zierold, J. A. (2019). State of art: A current review of the mechanisms that make the artificial wetlands for the removal of nitrogen and phosphorus. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(5), 319–342. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-12>
- Averill, C., Dietze, M. C., y Bhatnagar, J. M. (2018). Continental-scale nitrogen pollution is shifting forest mycorrhizal associations and soil carbon stocks. *Global Change Biology*, 24(10), 4544–4553. <https://doi.org/10.1111/gcb.14368>
- Azevedo, L. B., Van Zelm, R., Leuven, R. S. E. W., Hendriks, A. J., y Huijbregts, M. A. J. (2015). Combined ecological risks of nitrogen and phosphorus in European freshwaters. *Environmental Pollution*, 200, 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.02.011>
- Banco mundial. (2018). *El agua en la agricultura*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>

- Bedmar, F. (2017). Informe especial plaguicidas agrícolas. *The Journal of Agricultural Science*, 21(doi:10.1017/S0021859605005708.), 144, pp 31-43. <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859605005708>
- Benavides, A., Cárdenas, L., Vargas, Á., Campos, A., y Cifuentes, G. (2020). Dinámica de nitrógeno y fósforo en la quebrada “los Pozos”, afluente del lago Tota, Boyaca, Colombia. *Revista geográfica venezolana*, 61(1), 12–24.
- Brink, P., Badura, T., Bassi, S., Gantioler, S., y Kettunen, M. (2010). *Estimating the Overall Economic Value of the Benefits provided by the Natura 2000 Network*. <http://www.ieep.eu>.
- Cabrera, P. A. M., y Ojeda, C. A. (2021). Eficiencia de un humedal de flujo subsuperficial horizontal para tratar los efluentes de un colegio rural en Colombia / Eficiência de uma área úmida de fluxo subsuperficial horizontal para tratar efluentes de uma escola rural na Colômbia. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(3), 3488–3499. <https://doi.org/10.34188/BJAERV4N3-056>
- Calvo, A. (2020). *Qué tipos de fertilizantes existen y cuáles usar*. Agroptima. <https://www.agroptima.com/es/blog/tipos-fertilizantes/>
- Chen, H., Li, D., Gurmessa, G. A., Yu, G., Li, L., Zhang, W., Fang, H., y Mo, J. (2015). Effects of nitrogen deposition on carbon cycle in terrestrial ecosystems of China: A meta-analysis. *Environmental Pollution*, 206, 352–360. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.07.033>
- Chen, Y., Wen, X., Wnag, B., y Nie, P. (2017). Agricultural pollution and regulation: How to subsidize agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 164, 258–264.
- Cheng-Fang, L., Cou-Gui, C., Jin-Ping, W., Ming, Z., Wei-Ling, Y., y Ahmad, S. (2008). Nitrogen losses from integrated rice-duck and rice-fish ecosystems in southern China. *Plant and Soil*, 307(1–2), 207–217. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9597-1>
- Chhabra, A., Manjunath, K. R., y Panigrahy, S. (2010). Non-point source pollution in Indian agriculture: Estimation of nitrogen losses from rice crop using remote sensing and GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(3), 190–200. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.02.007>
- Chislock, M. F., Doster, E., Zitomer, R. A., y Wilson, A. E. (2013). Eutrophication: Causes, Consequences, and Controls in Aquatic Ecosystems. *Nature Education Knowledge*, 4(4), 10. <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/eutrophication-causes-consequences-and-controls-in-aquatic-102364466>
- Comisión Europea. (2010). *La Directiva de nitratos de la UE*.
- Corporinoquia. (2017). *Con 17 millones de hectáreas asociadas a cuencas hidrográficas, Corporinoquia trabaja por una Región Viva*. <https://www.corporinoquia.gov.co/index.php/pages/2015-02-02-15-01-12/531-con-17-millones-de-hectareas-asociadas-a-cuencas-hidrograficas-corporinoquia-trabaja-por->

una-region-viva.html

- Cuellar, L., y Mosquera, A. (2021). *Estimación de la vulnerabilidad de las fuentes hídricas superficiales a la contaminación difusa de origen agrícola en la subzona hidrográfica guachal, Valle del Cauca*. Universidad del Valle.
- Cuevas, A., y Higuera, O. (2018). Guía para el monitoreo y manejo de enfermedades. En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Número 9).
- Cuevas, A., y Puentes, B. (2018). El manejo de las malezas en el programa AMTEC. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. http://www.fedearroz.com.co/docs/cartilla_malezas.pdf
- DANE. (2017). *4° Censo Nacional Arroceros Año 2016. Boletín técnico*. 1–35.
- DANE, y FEDEARROZ. (2021). Boletín Técnico: Encuesta Nacional de arroz mecanizado. *Fedearroz*, 1–23. http://fedearroz.com.co/new/documentos/2019/encuesta_arroz_mecanizado.pdf
- Deknock, A., De Troyer, N., Houbraken, M., Dominguez-Granda, L., Nolivos, I., Van Echelpoel, W., Forio, M. A. E., Spanoghe, P., y Goethals, P. (2019). Distribution of agricultural pesticides in the freshwater environment of the Guayas river basin (Ecuador). *Science of the Total Environment*, 646, 996–1008. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.185>
- Delphine, B. N. A., Habiba, B. G., Mahamadou, K., Dial, N., y Hamma, Y. (2020). Impact of Agricultural Inputs on Groundwater Pollution in Off-Season Rice Farming in the Pic of Sindou Perimeter in Burkina Faso. *Journal of Water Resource and Protection*, 12(05), 381–388. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2020.125022>
- Departamento administrativo nacional de estadística. (2020). *Censo de arroz mecanizado zona llanos*.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2020). *Encuesta Nacional de Arroz Mecanizado (ENAM)*. 1–17.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2017). Características que se destacan en el cultivo de arroz seco (Oryza Sativa L.) en Colombia. *Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*, 58, 1–5. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_abr_2017.pdf
- Diario Oficial de la Unión Europea. (2006). *REGLAMENTO (CE) N o 1881/2006 DE LA COMISIÓN* (Vol. 2006, Número 8). http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out123_en.pdf
- Diaz, R. (2013). *Interactive Map of Eutrophication & Hypoxia*. World Resources Institute. <https://www.wri.org/data/interactive-map-eutrophication-hypoxia>
- do Nascimento, F. S., Calle-Collado, Á., y Benito, R. M. (2020). Social and solidarity economy and agroecology in family agriculture cooperatives in Brazil as a form of development of sustainable agriculture. *CIRIEC-Espana Revista de Economía Publica, Social y Cooperativa*, 98, 189–211.

<https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.98.14161>

- Du, E., Liu, X., y Fang, J. (2014). Effects of nitrogen additions on biomass, stoichiometry and nutrient pools of moss *Rhytidium rugosum* in a boreal forest in Northeast China. *Environmental Pollution*, 188, 166–171. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.011>
- Egea-serrano, A. (2010). Aspectos relevantes en la conservación de anfibios en la Región de Murcia: efectos de la contaminación por fertilizantes sobre *Pelophylax perezi* (Seoane, 1885). *Tesi*, 403.
- Emilia, L., Rincón, C., Ancízar, F., y Gutiérrez, A. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos Nitrogen and phosphorus cycles dynamics in soils. *Rev. Colomb. Biotecnol. Julio, XIV(1)*, 285–295.
- Evans, A. E., Mateo-Sagasta, J., Qadir, M., Boelee, E., y Ippolito, A. (2019). Agricultural water pollution: key knowledge gaps and research needs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 36, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.10.003>
- Fedearroz. (2021). *Encuesta Nacional de Arroz Mecanizado (ENAM) II semestre 2020*. 1–26.
- Federación Nacional de Arroceros. (2017). *IV Censo Nacional Arroceros 2016 - Zona Llanos*.
- Fertilizers europe. (2019). *Fertilización nitrogenada: Inhibidores*. <https://www.fertiberia.com/media/605841/folleto-fertilizer-europe-inhibidores.pdf>
- García-Velázquez, L., y Gallardo, A. (2017). El ciclo global del nitrógeno. Una visión para el ecólogo terrestre. *Ecosistemas*, 26(1), 4–6. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-1.02>
- García Miranda, F. G., y Miranda Rosales, V. (2018). *EUTROFIZACIÓN, UNA AMENAZA PARA EL RECURSO HÍDRICO*.
- Gobernación de Casanare. (2019a). *Páginas - Economía*. <https://www.casanare.gov.co/ElCasanare/Paginas/Economia.aspx>
- Gobernación de Casanare. (2019b). *Páginas - Presentación*. <https://www.casanare.gov.co/ElCasanare/Paginas/Presentacion.aspx>
- Gorgoglione, A., y Torretta, V. (2018). Sustainable Management and Successful Application of Constructed Wetlands: A Critical Review. *Sustainability 2018, Vol. 10, Page 3910, 10(11)*, 3910. <https://doi.org/10.3390/SU10113910>
- Greaver, T. L., Clark, C. M., Compton, J. E., Vallano, D., Talhelm, A. F., Weaver, C. P., Band, L. E., Baron, J. S., Davidson, E. A., Tague, C. L., Felker-Quinn, E., Lynch, J. A., Herrick, J. D., Liu, L., Goodale, C. L., Novak, K. J., y Haeuber, R. A. (2016). Key ecological responses to nitrogen are altered by climate change. *Nature Climate Change*, 6(9), 836–843. <https://doi.org/10.1038/nclimate3088>
- ICA. (2021). *Fertilizantes registrados-Agosto 2021*. <https://www.ica.gov.co/getdoc/a2f80265-2a07-4f5b-964c-f7d39e60e023/productos-registrads-fertilizantes-pag-web-enero-3.aspx>
- IDEAM. (2014). *INDICADORES*. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

- IPNI. (2016). *Cálculo de Requerimientos Nutricionales - Versión 2016*. <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>
- Jabbar, F. K., y Grote, K. (2019). Statistical assessment of nonpoint source pollution in agricultural watersheds in the Lower Grand River watershed, MO, USA. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(2), 1487–1506. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3682-7>
- Jessen, C., Voolstra, C. R., y Wild, C. (2014). In situ effects of simulated overfishing and eutrophication on settlement of benthic coral reef invertebrates in the Central Red Sea. *PeerJ*, 2014(1). <https://doi.org/10.7717/peerj.339>
- Ju, X. tang, y Zhang, C. (2017). Nitrogen cycling and environmental impacts in upland agricultural soils in North China: A review. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(12), 2848–2862. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61743-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61743-X)
- Khoshnevisan, B., Bashir, M. A., Sun, Q., Pan, J., Wang, H., Xu, Y., Duan, N., y Liu, H. (2021). Optimal rice-crab co-culture system as a new paradigm to air-water-food nexus sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 291. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.125936>
- Li, F., Feng, J., Zhou, X., Xu, C., Haissam Jijakli, M., Zhang, W., y Fang, F. (2019). Impact of rice-fish/shrimp co-culture on the N₂O emission and NH₃ volatilization in intensive aquaculture ponds. *Science of the Total Environment*, 655, 284–291. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.440>
- Li, S., Zhang, Y., Yan, W., y Shangguan, Z. (2018). Effect of biochar application method on nitrogen leaching and hydraulic conductivity in a silty clay soil. *Soil and Tillage Research*, 183(May), 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.06.006>
- Lu, J., Bai, Z., Chadwick, D., Velthof, G. L., Zhao, H., Li, X., Hu, C., y Ma, L. (2019). Mitigation options to reduce nitrogen losses to water from crop and livestock production in China. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 40(October), 95–107. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.10.002>
- Luengas, N. N. (2014). *El ciclo del nitrógeno. Propuesta para ciclo tres de educación media rural*. Universidad Nacional de Colombia.
- Luna, D., y Lozano, J. (2018). *Técnica de rizipiscicultura*.
- Madroñero, S. (2006). *Manejo del recurso hídrico y estrategias para su gestión integral en la microcuenca Mijitayo , Pasto Colombia*. 56, 197.
- Mahvi, A. H., Nouri, J., Babaei, A. A., y Nabizadeh, R. (2005). Agricultural activities impact on groundwater nitrate pollution. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 1(2), 41–47.
- Majumdar, D., y Gupta, N. (2000). Nitrate pollution of groundwater and associated human health disorders. *Indian Journal of Environmental Health*, 42(1), 28–39.
- Mao, Q., Lu, X., Zhou, K., Chen, H., Zhu, X., Mori, T., y Mo, J. (2017). Effects of long-term nitrogen and

- phosphorus additions on soil acidification in an N-rich tropical forest. *Geoderma*, 285, 57–63.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.09.017>
- Milena, S., y Ramírez, B. (2020). *Vulnerabilidad De Fuentes Hídricas Superficiales Difusa Agrícola Vulnerability of Surface Water Sources of the Cerrito*. 11(2), 117–130.
- Minambiente. (2018). *18-Res 883 De 2018.Pdf* (pp. 1–14).
- Ministerio de agricultura pesca y alimentación. (2018). *Fichas de Difusión de la Condicionalidad*.
<http://www.mapa.es>
- Ministerio de la protección social. (2007). Resolución 2115 de 2007. *Gaceta Oficial*, 1, 23.
https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislación_del_agua/Resolución_2115.pdf.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Resolución 4506 de 2013. En *Resolution* (pp. 1–10).
http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/03d591f205ab80e521292987c313699c/resolucion-4506-de-2013.pdf
- Moquete, C. (2004). *GENERALIDADES DEL CULTIVO DE ARROZ, EN LA REPUBLICA DOMINICANA*. 42.
- Narmilan, A., y Puvanitha, N. (2020). Mitigation Techniques for Agricultural Pollution by Precision Technologies with a Focus on the Internet of Things (IoTs): A Review. *Agricultural Reviews*, 41(03), 279–284. <https://doi.org/10.18805/ag.r-151>
- Navarro, G., y Navarro-García, S. (2014). *Fertilizantes: química y acción* (Ediciones).
https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=3McUBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=fertilizantes&ots=4ItPbbql0o&sig=IUq6ULWj10HOfAUNlojicHR64HM&redir_esc=y#v=onepage&q=fertilizantes&f=false
- Ongley, E. . (1997). *Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55)*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
<http://www.fao.org/3/W2598S/w2598s03.htm>
- Palacios-Vélez, O. L., y Escobar-Villagrán, B. S. (2016). La sustentabilidad de la agricultura de riego ante la sobreexplotación de acuíferos. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(2), 5–16.
- Perez-Cordero, C.-R., y Cuevas-Medina, A. (2018). Manejo Integrado De Insectos En El Cultivo De Arroz. En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Número 9).
http://www.fedearroz.com.co/docs/cartilla_manejo_insectos.pdf
- PRO MIX. (2021). *Fundamentos básicos de los fertilizantes de liberación controlada*.
<https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/fundamentos-basicos-de-los-fertilizantes-de-liberacion-controlada/>
- Ramakrishnan VV, G. A. (2015). Nitrogen Sources and Cycling in the Ecosystem and its Role in Air, Water

- and Soil Pollution: A Critical Review. *Journal of Pollution Effects & Control*, 03(02). <https://doi.org/10.4172/2375-4397.1000136>
- Riascos, R. G. (2017). *Propiedades Generales de los Fertilizantes*. <http://www.monmeros.com/descargas/dpmanualfertilizacion.pdf>
- Ribeiro, L., Pindo, J. C., y Dominguez-Granda, L. (2017). Assessment of groundwater vulnerability in the Daule aquifer, Ecuador, using the susceptibility index method. *Science of the Total Environment*, 574, 1674–1683. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.004>
- Rios del Planeta. (2020). *Río Casanare: todo lo que necesita saber sobre él*. <https://riosdelplaneta.com/rios-casanare/>
- Roser, M., y Ritchey, R. (2019). *Yields and Land Use in Agriculture*. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/yields-and-land-use-in-agriculture>
- Scienze, L. (2008). *Eutrofizzazione dei laghi: non solo azoto*. https://www.lescienze.it/news/2008/07/22/news/eutrofizzazione_dei_laghi_non_solo_azoto-578799/
- Serra, J., Cordovil, C. M. d. S., Cruz, S., Cameira, M. R., y Hutchings, N. J. (2019). Challenges and solutions in identifying agricultural pollution hotspots using gross nitrogen balances. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 283(June), 106568. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106568>
- Stevens, C. J. (2016). How long do ecosystems take to recover from atmospheric nitrogen deposition? *Biological Conservation*, 200, 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.06.005>
- Stevens, C. J. (2019). Nitrogen in the environment. *Science*, 363(6427), 578–580. <https://doi.org/10.1126/science.aav8215>
- Strokal, M., Ma, L., Bai, Z., Luan, S., Kroeze, C., Oenema, O., Velthof, G., y Zhang, F. (2016). Alarming nutrient pollution of Chinese rivers as a result of agricultural transitions. *Environmental Research Letters*, 11(2). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/2/024014>
- Su, H., Kang, W., Xu, Y., y Wang, J. (2018). Assessing Groundwater Quality and Health Risks of Nitrogen Pollution in the Shenfu Mining Area of Shaanxi Province, Northwest China. *Exposure and Health*, 10(2), 77–97. <https://doi.org/10.1007/s12403-017-0247-9>
- Sun, H., Lu, H., Chu, L., Shao, H., y Shi, W. (2017). Biochar applied with appropriate rates can reduce N leaching, keep N retention and not increase NH₃ volatilization in a coastal saline soil. *Science of the Total Environment*, 575, 820–825. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.137>
- Tarazona, A. (2019). *Agricultura de Precisión - ¿Qué es y por qué debería importarte?* <https://www.antoniotarazona.com/agricultura-de-precision-y-uso-de-fertilizantes-microcomplejos/>
- Teng, Q., Hu, X. F., Luo, F., Wang, J., y Zhang, D. mei. (2019). Promotion of rice–duck integrated farming in the water source areas of Shanghai: its positive effects on reducing agricultural diffuse pollution. *Environmental Earth Sciences*, 78(5), 0. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8183-6>

- UNICOOP. (2015). Manual para el buen uso y manejo de plaguicidas. *UniSol Agricultura Sustentable*, 75. <http://www.unicoop.com.py/admin/archivos/manual-para-el-buen-uso-de-plaguicidas.pdf>
- WWF Colombia. (2020). *Volver a la aspersión aérea con glifosato es repetir una medida sin resultados, y retroceder en aspectos sociales y ambientales*. https://www.wwf.org.co/sala_redaccion/noticias/?uNewsID=364699
- Xu, N., Tan, G., Wang, H., y Gai, X. (2016). Effect of biochar additions to soil on nitrogen leaching, microbial biomass and bacterial community structure. *European Journal of Soil Biology*, 74, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.02.004>
- Yu, J., y Wu, J. (2018). The sustainability of agricultural development in China: The agriculture-environment nexus. *Sustainability (Switzerland)*, 10(6), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su10061776>
- Zhai, Y., Zhao, X., Teng, Y., Li, X., Zhang, J., Wu, J., y Zuo, R. (2017). Groundwater nitrate pollution and human health risk assessment by using HHRA model in an agricultural area, NE China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 137(October 2016), 130–142. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.11.010>
- Zhang, Y., Wu, J., y Xu, B. (2018). Human health risk assessment of groundwater nitrogen pollution in Jinghui canal irrigation area of the loess region, northwest China. *Environmental Earth Sciences*, 77(7). <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7456-9>

Anexo

Anexo 1: Grabación entrevista

Narración de la entrevista:

Entrevistado: Diego Alejandro Alba

Profesión: Ingeniero agrónomo especialista en gestión ambiental

Cargo: Asistencia Técnica de cultivo de arroz y palma

Enlace: <https://voca.ro/12nlqkGLAqLo>

Anexo 2: Consentimiento informado entrevista

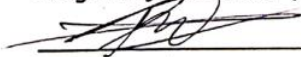
ANEXOS

ANEXO 1: CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO


Monterrey - Casanare 20 de agosto de 2021

Yo Diego Alejandro Alba Q., con C.C numero 1121848567 declaro que se me ha explicado que mi participación en el "estudio teórico de las afectaciones y soluciones de contaminación de fuentes hídricas por exceso de nitrógeno debido a operación de cultivos de arroz en Casanare, Colombia", consistirá en responder una entrevista que pretende aportar al conocimiento, comprendiendo que mi participación es una valiosa contribución. Acepto la solicitud de que la entrevista sea grabada en formato de audio para su posterior transcripción y análisis, los cuales podrá tener acceso la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Declaro que se me ha informado ampliamente sobre los posibles beneficios, riesgos y molestias derivados de mi participación en el estudio. El responsable de estudio es Andrés Felipe Acosta Bohórquez y se ha comprometido a responder cualquier pregunta y aclarar cualquier duda que les plantee acerca de los procedimientos que se llevarán a cabo, riesgos, beneficios o cualquier otro asunto relacionado con la investigación. Asimismo tomara parte como entrevistador, además tengo claro que mi nombre y profesión serán divulgados en el estudio y que los datos relacionados con mi privacidad serán manejados en forma confidencial. En caso de que el producto de este trabajo se requiera mostrar al público externo (publicaciones, congresos y otras presentaciones), se solicitará previamente mi autorización. Por lo tanto, como participante, acepto la invitación en forma libre y voluntaria, y declaro estar informado de que los resultados de esta investigación tendrán como producto una monografía que será presentado como opción de grado de la carrera Ingeniería Ambiental. He leído esta hoja de Consentimiento y acepto participar en este estudio según las condiciones establecidas.

Diego Alejandro Alba (entrevistado)



Andrés Felipe Acosta (Entrevistador)



Ingeniero Agrónomo

Tarjeta Profesional: 25 209 287745 (N)