



UNIVERSIDAD TECNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



Componente práctico de carácter Complexivo, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

“Ciclaje de nutrientes en áreas cultivadas con arroz en rotación con soya bajo el sistema de siembra directa, en Los Ríos”

AUTOR:

Roddy Franklin Álvarez Rodríguez

TUTOR

Ing. Agr. Tito Xavier Bohórquez Barros. MBA

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2021

RESUMEN

El cultivo de arroz (*Oryza sativa*) merece ser destacado por ser uno de los cereales más consumido en el mundo, además contribuye con el 20 % de calorías. Se estima que para el 2030 la demanda de consumidores será aproximadamente 5 billones, la misma que tiene que ser satisfecha a partir de recursos naturales no renovables, como suelo y agua. Sin embargo, los suelos propicios para el cultivo de arroz son caracterizados por tener bajo contenido de materia orgánica y estar expuestos a la degradación. No obstante, en la actualidad se están adaptando técnicas de manejo de suelo que mejoren su calidad, que reduzca el impacto ambiental y que maximicen la productividad del cultivo de arroz. Ante lo expuesto, el siguiente trabajo bibliográfico tuvo como objetivo demostrar el efecto del ciclaje de nutrientes sobre la calidad de los suelos dedicados a la producción de arroz en rotación con soya, en sistema de siembra directa. Así, se determinó que mantener los residuos de cosecha en la superficie del suelo, contribuye en la acumulación carbono orgánico en el horizonte superficial y de nutrientes. Además de mejorar los atributos físico-químico del suelo a mediano plazo.

Palabras claves: Agregados del suelo, Carbono orgánico del suelo, Cultivo mínimo, Manejo convencional de suelo.

SUMMARY

The rice crop (*Oryza sativa*) deserves to be highlighted for being one of the most consumed cereals in the world, it also contributes 20% of calories. It is estimated that by 2030 consumer demand will be approximately 5 billion, the same that has to be satisfied from non-renewable natural resources, such as soil and water. However, soils suitable for rice cultivation are characterized by having low organic matter content and being exposed to degradation. However, soil management techniques are currently being adapted to improve its quality, reduce environmental impact and maximize the productivity of rice cultivation. Given the above, the following bibliographic work aimed to demonstrate the effect of nutrient cycling on the quality of soils dedicated to the production of rice in rotation with soybeans, in a direct sowing system. Thus, it was determined that keeping crop residues on the soil surface contributes to the accumulation of organic carbon in the surface horizon and of nutrients. In addition to improving the physical-chemical attributes of the soil in the medium term.

Keywords: Soil aggregates, Soil organic carbon, reduced tillage, Conventional soil management.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo con mucho aprecio y cariño a todas las personas que me brindaron su apoyo incondicional a lo largo de mi vida estudiantil. A Dios mi padre celestial, que sin su ayuda espiritual no habría sido posible continuar en este trabajo para culminar esta importante etapa.

A mi querida madre, la Dra. Lorena Rodríguez quien ha sido un pilar fundamental en mi vida, con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis abuelos, Franklin Rodríguez y Adela Baldeon por siempre brindarme su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A mis hermanos y a toda mi familia porque con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

AGRADECIMIENTOS

Como prioridad en mi vida agradezco a Dios por su infinita bondad, y por haber estado conmigo en los momentos que más lo necesitaba, por darme salud, fortaleza, responsabilidad y sabiduría, por haberme permitido culminar un peldaño más de mis metas, y porque tengo la certeza y el gozo de que siempre va a estar conmigo.

A mi madre la Dra. Lorena Rodríguez por haber estado conmigo apoyándome en los momentos difíciles, por dedicar tiempo y esfuerzo para ser un hombre de bien, y darme excelentes consejos en mi caminar diario.

A mis abuelos, Franklin Rodríguez y Adela Baldeon que con su ejemplo y dedicación me han instruido para seguir adelante en mi vida profesional, y así, de manera muy especial a mis hermanos Gustavo, Emily y Nahia por brindarme su apoyo incondicional.

I. TABLA DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	MARCO METODOLÓGICO	4
2.1.	DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	4
2.2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2.3.	JUSTIFICACIÓN.....	5
2.4.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
2.4.1.	<i>Importancia socio económica del cultivo de arroz</i>	6
2.4.2.	<i>Exigencias edafoclimáticas del cultivo de arroz</i>	7
2.4.2.1.	Exigencias edáficas.....	7
2.4.2.2.	Exigencias climáticas	7
2.4.3.	<i>Manejo de suelo</i>	8
2.4.3.1.	Sistema convencional	9
2.4.3.2.	Sistema de cultivo mínimo	10
2.4.3.3.	Sistema de siembra directa	10
2.4.4.	<i>Ciclaje de nutrientes</i>	12
2.5.	METODOLOGÍA	13
III.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	14
3.1	DESARROLLO DEL CASO	14
3.2	SITUACIONES DETECTADAS	14
3.3	SITUACIONES PLANTEADAS	16
IV.	CONCLUSIONES.....	17
V.	RECOMENDACIONES.....	17
VI.	BIBLIOGRAFÍA	18

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de arroz (*Oryza sativa*) merece ser destacado por ser uno de los cereales más consumido en el mundo. Este cereal es consumido por la población con alto y bajo poder adquisitivo, siendo su valor relativo menor a otros cereales y además contribuye con el 20 % de calorías. Por tanto, este cultivo desempeña un papel estratégico en la seguridad alimentaria de la población global (SOSBAI 2018).

Los mismos autores indican que el arroz es el cereal más cultivado en el mundo con una superficie aproximada de 161 millones de hectáreas (ha), de las cuales se producen 756,5 millones de toneladas (t) de arroz paddy, siendo este volumen apenas el 29 % del total de granos usados en la alimentación humana. El maíz es el cereal con mayor volumen de producción y corresponde a 33 %.

El cultivo de arroz presenta una amplia adaptabilidad ecológica, es decir, se puede cultivar en suelos con textura desde arenosa a arcillosa y se lo puede establecer bajo condiciones de riego y secano. En Ecuador, el área dedicada a la producción de este cereal es aproximadamente 366 194 ha, de las cuales, el 40 % se cultivan bajo condiciones de secano (Salazar et al. 2016). Siendo este sistema asociado a una producción de bajos retornos económicos y altos riesgos climáticos (Naylor et al. 2007, Terdooy y Feola 2016).

Por otro lado, los suelos dedicados a la producción intensiva de arroz se caracterizan por tener bajo contenido de materia orgánica debido al constante revolvimiento de la capa arable, lo cual acelera la mineralización de los residuos orgánicos, pudiendo resultar en mayores riesgos de erosión y degradación del suelo (Munareto et al. 2010, Sanchez et al. 2019).

La producción de arroz bajo los sistemas convencionales de producción conlleva a la búsqueda de alternativas como la siembra directa y la sucesión de cultivos (Verneti Junior et al. 2009). De este último, es comprobado que la

sucesión de cultivo de arroz con soya (*Glycine max*) presenta grandes beneficios al sistema productivo, una vez que los residuos de cosecha aumenta la concentración de nutrientes en el suelo, principalmente nitrógeno (N), este elemento desempeña funciones importantes como: nutrición de la microbiota en la capa arable y formación de compuestos básicos de la materia orgánica del suelo (Munareto et al. 2010).

En este escenario, estudios que se fundamenten en producir mayor cantidad de biomasa y que proporcionen nutrientes al suelo para ser utilizados en los cultivos anuales en sucesión son necesarios en nuestro medio. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión bibliográfica se fundamenta en determinar los beneficios en el reciclaje de nutriente en los residuos de plantas de soya cultivada en sucesión con el cultivo de arroz bajo el sistema de siembra directa.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Demostrar el efecto del ciclaje de nutrientes sobre la calidad de los suelos dedicados a la producción de arroz en rotación con soya, en sistema de siembra directa.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Establecer los efectos en los atributos químicos de suelo en áreas cultivadas de arroz en rotación con soya bajo el sistema de siembra directa
- Describir los efectos en los atributos físicos de suelo en áreas cultivadas de arroz en rotación con soya bajo el sistema de siembra directa

II. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Definición del caso de estudio

La presente revisión bibliográfica tuvo como finalidad recopilar información para enriquecer los conocimientos sobre el Ciclaje de nutrientes en áreas cultivadas con arroz en rotación con soya bajo el sistema de siembra directa, en Los Ríos.

2.2. Planteamiento del problema

El uso intensivo de los suelos tropicales trae como consecuencia la pérdida de la calidad en la capa arable, sumado a esto, un horizonte más profundo con cierto grado de compactación, resultante de la presión ejercida por los neumáticos de los implementos agrícolas.

La desagregación del suelo, la compactación y la reducción del contenido de materia orgánica son considerados los principales inductores de la degradación de los suelos agrícolas.

En la actualidad, el desconocimiento de prácticas de manejo sustentable de suelo por parte de los productores de nuestro medio favorece la pérdida de calidad de este recurso no renovable.

Sin embargo, existen resultados de investigaciones realizadas durante muchos años que permiten viabilizar sistemas de producción que posibilitan mayor eficiencia energética y conservación ambiental, creándose nuevos paradigmas tecnológicos basados en la sustentabilidad.

2.3. Justificación

El incremento de la productividad para suplir la creciente demanda de alimentos en el mundo se tornó en un gran desafío debido a factores como: escases de recursos hídricos, degradación de suelos, aumento de costos de producción, cambio climático, entre otros.

Dicho desafío ha promovido la exploración de alternativas de manejo de cultivos incluyendo la intensificación de la producción de arroz, que exige frecuentemente la construcción o modernización de infraestructura y una mayor dependencia de insumos agrícolas, en tales circunstancias, la productividad del cultivo de arroz no aumenta de manera significativa, aunque se incorporen anualmente más fertilizantes.

Esto indica que la remoción de los residuos de cosecha por el constante laboreo del suelo es considerada una de las amenazas mas graves para una producción sustentable.

En otro escenario, el uso de prácticas agronómicas que se fundamenten en mantener los residuos de cosecha en la superficie del suelo, resulta en mejoras de su calidad, debido al constante aporte de sustratos y energía para la actividad microbiana, lo que contribuye en la agregación de las partículas de suelo, ciclaje de nutrientes, mejoría en la relación suelo – agua – aire, y consecuentemente las condiciones para el crecimiento de las plantas serán favorables.

2.4. Fundamentación teórica

2.4.1. Importancia socio económica del cultivo de arroz

El cultivo de arroz es uno de los cereales más consumidos a nivel mundial y merece ser destacado. Este cereal aporta con el 20 % de calorías en la dieta diaria y desempeña un papel estratégico en la seguridad alimentaria de la población global (SOSBAI 2018).

Este mismo autor indica que, el consumo per cápita a nivel mundial oscila alrededor de 54 kg año⁻¹, siendo los países asiáticos en donde se reporta más del 90 % (680,85 millones de toneladas) de la producción total, son los países que presentan el mayor consumo de arroz con promedio de 78 kg año⁻¹ (Fernando Carvalho da Conceição et al. 2019, SOSBAI 2018).

A pesar del gran volumen producido, el arroz es un rubro con pequeño comercio internacional. Los países con mayor producción de este cereal son: China, India, Indonesia, Bangladesh, Vietnam, Tailandia, Myanmar, Filipinas y Brasil. Este último, aporta con una producción anual entre 11 y 13 millones de toneladas y aporta con 78 % de la producción del Mercosur, seguido por Uruguay, Argentina y Paraguay (CONAB 2018).

En Ecuador, este cultivo representa la tercera parte de toda la superficie sembrada, alcanzando una superficie de 354 136 hectáreas y representa una fuente de ingreso de aproximadamente 14 000 familias. La mayor área sembrada se encuentra en la región Costa, por sus óptimas condiciones edafoclimáticas el cultivo de arroz se produce mayormente en la provincia de Guayas, Los Ríos, Manabí, El Oro y Loja (Panimboza 2017).

Este cereal genera actividad económica superior a los 146 millones de dólares en toda la cadena de producción, constituida por los productores de arroz, la agroindustria, transportistas, proveedores de insumos agrícolas, comerciantes, consumidores, entre otros (Viteri Viteri y Edison Zambrano 2017).

2.4.2. Exigencias edafoclimáticas del cultivo de arroz

2.4.2.1. Exigencias edáficas

Las exigencias edáficas se refieren a los atributos de suelo requeridos para suplir los requerimientos de oxígeno, agua y nutrientes a las plantas. En el caso del cultivo de arroz bajo condiciones de riego, el cumplimiento de esas funciones es facilitado por la abundancia del volumen de agua empleado en el riego y por las características del sistema radicular al poseer aerénquimas que conducen oxígeno a los puntos de crecimiento a las raíces (Acosta et al. 2013).

Sin embargo, los suelos destinados a la producción de arroz bajo condiciones de riego requieren ciertas características intrínsecas como: baja conductividad hidráulica (suelos mal drenados) de topografía plana y profundos para un buen desarrollo radicular. La baja fertilidad natural del suelo no constituye una limitante en su uso, pues los requerimientos nutricionales deben ser atendidos de manera adecuada por el manejo de la fertilización (Petrini y Vernetti Junior 2014).

2.4.2.2. Exigencias climáticas

La temperatura es uno de los elementos climáticos de mayor importancia para el crecimiento, desarrollo y productividad del cultivo de arroz. Es decir, cada fase fenológica de la planta tiene sus temperaturas críticas óptimas, mínimas y máximas. La temperatura ideal para la germinación va de 30 a 35 °C, para el desarrollo del cultivo de arroz oscila entre los 20 y 35 °C y para la floración de 20 a 25 °C. La ocurrencia de altas temperaturas durante el día (> 35 °C) puede ocasionar esterilidad de las espigas, una vez que las fases más sensibles a altas

temperaturas son durante la pre floración y floración, situación similar puede ocurrir cuando la temperatura decrece (Ramos 2016).

La radiación solar exigida por el cultivo de arroz varía de una fase a otra, siendo la fase reproductiva la más exigente. En esta fase, las etapas más importantes están comprendidas entre la diferenciación floral y la floración, las mismas que influyen en el número de granos por panículas y entre la floración y la maduración, influyen en el peso de granos (SOSBAI 2018).

Los elementos climáticos citados son los que más influyen en la productividad del cultivo de arroz. Sin embargo, existen otros que también pueden causar daños considerables, dependiendo de su intensidad y época de ocurrencia. Entre estos, se destacan las heladas, vientos, precipitaciones excesivas y estiajes prolongados, humedad relativa, nubosidad y punto de rocío (Santiago et al. 2013, Ramos 2016).

2.4.3. Manejo de suelo

Los suelos ideales para el cultivo de arroz bajo riego se caracterizan por su topografía plana y difícil drenaje, con proximidad del nivel freático a la superficie del suelo, dificultando la percolación de agua. Esas características, normalmente son desfavorables para otros cultivos (Petrini y Verneti Junior 2014).

Para el óptimo aprovechamiento de las áreas de producción de arroz bajo riego, hay la necesidad de establecer un proceso de sistematización que consiste en la creación de un sistema funcional de manejo, que incluye la apertura de canales de riego y drenaje y nivelación de la superficie del suelo.

Por otro lado, los ecosistemas para el cultivo de arroz son bajo condiciones de secano y bajo riego. Este último se caracteriza por crear una condición anaeróbica que implica una serie de transformaciones que influyen no solamente en el desarrollo de la planta de arroz sino también en la absorción de nutrientes y

manejo del suelo. Mientras que, bajo condiciones de secano, las raíces de la planta se desarrollan bajo condiciones aeróbica (Dos Santos 2010).

Los sistemas de cultivo utilizados para la producción de arroz son: convencional, cultivo mínimo, siembra directa y trasplante. Independiente del sistema de cultivo adoptado, la posibilidad de realizar la rotación de sistema de cultivo dentro de una misma área se constituye en una alternativa técnica para determinados problemas fitosanitarios (SOSBAI 2018).

2.4.3.1. Sistema convencional

El manejo de suelo comprende un conjunto de practicas que, cuando son usadas racionalmente promueven mejor productividad de los cultivos, mientras que, cuando son usadas de forma incorrecta, causan degradación física, química y biológica del suelo, afectando la producción de los cultivos.

En este sistema de manejo, la utilización intensiva de la mecanización, de agroquímicos, fertilizantes minerales, sumado al monocultivo, conlleva a los suelos a un proceso acelerado de degradación, teniendo como consecuencia la pérdida de su calidad, afectando de manera irreversible extensas áreas cultivadas, contribuyendo en la reducción de la productividad de cultivos de importancia económica.

El proceso de pérdida de calidad de los suelos es caracterizado por la formación de horizontes compactados, reducción de materia orgánica y disminución de la actividad biológica del suelo, tornándose los cultivos cada vez más exigentes en insumos, sumándose a esto, una serie de consecuencias ecológicas, energéticas, económicas y sociales negativas (Freitas 2005).

2.4.3.2. Sistema de cultivo mínimo

En este sistema de cultivo, la siembra de arroz es realizada en siembra directa en suelo previamente preparado, con la finalidad de contar con tiempo suficiente para la formación de una cobertura vegetal, la misma que es controlada mediante el uso de herbicidas de acción total. De esta manera, se reduce la movilización de suelo en comparación con el sistema convencional (SOSBAI 2018).

En el sistema de cultivo mínimo, las operaciones de preparación de suelo son semejantes a las realizadas en el sistema de siembra directa, difiere apenas en la preparación anticipada (45 a 60 días antes de la siembra) del suelo con la finalidad de corregir pequeñas imperfecciones en el micro relieve, además de estimular la germinación de semillas de malezas y realizar la aplicación de herbicidas para conseguir de esta manera cobertura vegetal antes de realizar la siembra (Pardo et al. 2019).

La cobertura vegetal muerta en el cultivo mínimo es formada por la flora de sucesión que se establezca después de la preparación del suelo, predominando generalmente por arroz espontáneo, puyón y otras malezas gramíneas. Sin embargo, para el establecimiento de la cobertura vegetal en cultivo de arroz bajo riego, dos o tres toneladas de materia seca ha^{-1} son necesarias para una siembra adecuada. Cantidades mayores, además de dificultar la evaporación del agua del suelo, pueden producir ácidos orgánicos en niveles tóxicos durante el establecimiento del cultivo de arroz (Muzilli 2006, Dos Santos 2010).

2.4.3.3. Sistema de siembra directa

El sistema de siembra comprende un conjunto de técnicas integradas con la finalidad de reducir costos, promover la sustentabilidad ambiental, permitiendo interacciones biológicas y procesos naturales benéficos en el suelo, mejorando las condiciones ambientales para explorar de la mejor forma posible el potencial

genético de producción de los cultivos en condiciones tropicales con el menor impacto ambiental posible (Freitas 2005).

Este sistema de siembra se fundamenta en tres principios básicos: movimiento mínimo del suelo, cobertura permanente del suelo y rotación o sucesión de cultivos. La siembra directa consiste en colocar la semilla directamente en el suelo no removido, en un surco de profundidad y ancho suficiente para garantizar la germinación de la semilla. Con eso, hay una movilización mínima del suelo, contribuyendo a un mejor control de malezas (Munareto et al. 2010).

La adopción del sistema de siembra directa resulta en beneficios para el productor rural, ya sean empresarios produciendo en grandes extensiones o agricultores familiares en pequeñas unidades productivas. Las principales razones que lleva a los productores adoptar este sistema de producción son:

- Reducir la erosión del suelo
- Disminuir los costos de producción
- Menor dependencia del clima, permitiendo establecer fechas de siembra, disminuyendo de esa manera, riesgos en el cultivo
- Menor inversión en maquinarias agrícolas y menor consumo de combustible
- Mayor competitividad y eficiencia productiva
- Sustentabilidad de la producción, entre otras ventajas (Freitas 2005, Muzilli 2006, Munareto et al. 2010)

Sin embargo, el sistema de siembra directa en la producción de arroz bajo riego puede resultar de difícil implementación, debido a la cosecha mecanizada que suele ocurrir con el suelo húmedo o inundado, lo que favorece la desestructuración superficial, requiriendo nueva preparación del suelo. Entretanto, el éxito de este sistema de siembra se lo obtiene en época seca más comúnmente en cultivos como soya, sorgo o maíz, ya que esos cultivos son cosechados con

menor grado de humedad y menor desestructuración de la superficie del suelo (Beutler et al. 2014, Dalchiavon et al. 2012).

2.4.4. Ciclaje de nutrientes

El ciclaje de nutrientes se refiere al proceso de absorción de los minerales por las plantas, traslocación interna entre tejidos vegetales y transferencia de esos elementos, acumulados en la fitomasa, nuevamente para el suelo, la atmósfera y la hidrósfera, tornándose disponibles para ser reabsorbidos. Este es un ciclo esencial para el mantenimiento de la vida en el planeta (Boer et al. 2007).

Entre los mecanismos envueltos en el ciclaje de nutrientes, la conservación de los residuos de plantas en la superficie del suelo y su descomposición gradual, cumplen un papel fundamental en la sustentabilidad de esos ecosistemas, principalmente en suelos tropicales de baja fertilidad natural (Santos et al. 2019).

En áreas dedicadas a la producción de arroz, mantener los residuos de plantas después de la cosecha es una práctica que reduce la erosión, incrementa el contenido de materia orgánica y contribuye al ciclaje de nutrientes. En este escenario, la sucesión del cultivo de arroz con de especies leguminosas como la soya puede aumentar el contenido de nutrientes al suelo, especialmente N (nitrógeno), vía fijación biológica (Silva et al. 2008).

El N desempeña funciones importantes, como: nutrición de la microbiota del suelo y de la formación de varios compuestos básicos de la materia orgánica (ácidos húmicos, fúlvicos y huminas). Además de este elemento, el P (fósforo) y K (potasio) son los elementos que presentan mayores tasas de liberación al suelo. En este contexto, especies como *Brachiaria ruziziensis* y *Pennisetum glaucum* han sido ampliamente empleadas para la producción de materia seca, cobertura y acumulación de nutrientes en la superficie del suelo, las mismas que despuntan como promisorias en el ciclaje de nutrientes en la producción de arroz de siembra directa bajo condiciones de riego (Pacheco et al. 2011).

2.5. Metodología

Para el desarrollo de la presente revisión bibliográfica se consultó información de artículos científicos, revistas, libros y demás fuentes confiables.

La información relacionada con el tema propuesto se copiló bajo técnicas de análisis, parafraseo, síntesis y resumen, tratando que esta información referente sea comprendida por el lector.

En el presente trabajo de investigación bibliográfica se utilizó el gestor bibliográfico Mendeley.

III. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Desarrollo del caso

El propósito de esta revisión bibliográfica fue recabar información acerca del Ciclaje de nutrientes en áreas cultivadas con arroz en rotación con soya bajo el sistema de siembra directa con la finalidad de dar a conocer una alternativa adecuada de sistemas de producción que proporcionen una agricultura sostenible y amigable con el medio ambiente.

3.2 Situaciones detectadas

En las ultimas décadas, la preocupación con la evaluación de la calidad del suelo ha destacado merecida atención, y la cuantificación de las alteraciones en sus atributos, en función de la intensificación del sistema de manejo y uso del suelo, ha sido ampliamente realizada para monitorear la producción de los suelos y la conservación de los recursos naturales.

Sin embargo, la producción intensiva de arroz altera los procesos biogeoquímicos en el suelo, alterando el estoque de carbono, ciclaje de nutrientes, pudiendo afectar la productividad del cultivo (Buresh y Haefele 2010). Así, los sistemas de producción convencional aumentan los riesgos de degradación, ya que el contenido de materia orgánica disminuye (Santos et al. 2019).

En este contexto, los suelos dedicados a la producción de arroz bajo riego, bajo el sistema de manejo convencional, conlleva al aumento de la densidad del suelo debido al uso excesivo de maquinarias pesadas. Es decir, este sistema de manejo en donde el tráfico de maquinarias agrícolas se realiza en suelo saturado, alterando así su estructura, afectando de esta manera las relaciones entre la fase sólida, líquida y gaseosa. Este sistema de manejo divide la capa arable en una parte superficial pulverizada (sin estructura) y otra subsuperficial compactada (Pacheco et al. 2011).

En consecuencia, el desarrollo radicular del cultivo de arroz se ve afectado por la formación de “hardpans” (capa dura), como resultado del aumento de la densidad del suelo (Verneti Junior et al. 2009), tal efecto influye en la absorción de nutrientes, alterando así, la producción de tallos secundarios y la producción total de biomasa, principalmente por el aumento de su resistencia mecánica a la penetración (Zhou et al. 2014, Medeiros et al. 2005).

El manejo convencional del suelo en la producción de arroz bajo condiciones de riego se fundamenta en incorporar y acelerar la descomposición de los residuos de cosecha, lo cual resulta perjudicial en la producción intensiva cuando el contenido de masa seca supera las 3 t ha^{-1} (Verneti Junior et al. 2009). La descomposición de cantidades mayores de restos de plantas de la cosecha anterior bajo condiciones saturadas del suelo, resulta en liberación de ácidos orgánicos, causando toxicidad al cultivo, alterando el proceso de germinación y crecimiento de la planta, alteración en la absorción de nutrientes, entre ellos N, P, K, Ca y Mg (Schmidt et al. 2007).

3.3 Situaciones planteadas

El cultivo de arroz es uno de los cereales más importantes para más del 50 % de la población mundial, se estima que para el 2030 la demanda de consumidores será aproximadamente 5 billones, la misma que tiene que ser satisfecha a partir de recursos naturales no renovables, como suelo y agua. Sin embargo, los suelos propicios para el cultivo de arroz son caracterizados por tener bajo contenido de materia orgánica y estar expuestos a la degradación (Benbi y Chand 2007, Prasanna et al. 2012).

No obstante, en la actualidad se están adaptando técnicas de manejo de suelo que mejoren su calidad, que reduzca el impacto ambiental y que maximicen la productividad del cultivo de arroz (Correia et al. 2013).

El interés de implementar prácticas conservacionistas está siendo cada vez mayor ya que la tasa de erosión y compactación reduce significativamente. Desde ese punto de vista, es conocido que el cultivo mínimo en el cultivo de arroz bajo condiciones de riego reduce la perturbación del suelo, además de conservar los residuos de plantas de la cosecha anterior (Gómez-Rey et al. 2012).

En este sentido, la reducción del tráfico de maquinarias y la conservación de residuos de plantas de la cosecha anterior altera positivamente la estabilidad estructural, la resistencia mecánica, la conductividad hidráulica y a largo plazo aumenta la concentración de carbono en el suelo a través de la formación de macro agregados (Kahlon et al. 2013).

Mantener los residuos de cosecha en la superficie del suelo, la sucesión de cultivos con especies leguminosas en áreas de producción de arroz bajo condiciones de riego, favorece el ciclaje de nutrientes, reduce la infestación de malezas, principalmente arroz rojo y mejora la calidad del suelo. En este contexto, la producción de arroz bajo riego en sucesión con especies de mayor tamaño radicular permite expandir significativamente la zona de raíz, mejora la agregación del suelo y mejora la producción de arroz (Linh et al. 2015).

La sucesión del cultivo de arroz con soya, juega un papel importante en la calidad del suelo. Por tratarse de una fabaceae, la soya tiene la “habilidad” de fijar nitrógeno atmosférico (N₂), aportando este nutriente al suelo, pudiendo así, contribuir al incremento de la producción del cultivo de arroz (Lorensi 2006).

En este contexto, el aporte residual de nutrientes al suelo por cada tonelada de residuos de cosecha de soya es aproximadamente 23,5 kg de N; 2,6 kg de P; 13,1 kg de K; 9,9 kg de Ca; 4,7 kg de Mg; 6 kg de S; 69,5 g de B; 352,0 g de Fe, 97,8 g de Mn; 14,2 g de Cu; 22,4 g de Zn y 1,8 g de Mo (Martins 2019). De esta manera, mantener los residuos de cosecha en la superficie del suelo contribuye en la acumulación de nutrientes, reduciendo a mediano plazo el uso de fertilizantes minerales.

IV. Conclusiones

Por lo expuesto anteriormente se concluye que:

- La producción de arroz bajo condiciones de riego, en sucesión con cultivo de soya, en siembra directa mejora los atributos físicos y químicos del suelo.
- Mantener los residuos de cosecha en la superficie del suelo, contribuye en la acumulación carbono orgánico en el horizonte superficial y de nutrientes a mediano plazo.

V. Recomendaciones

Realizar estudios similares considerando la sucesión de cultivos anuales, bajo el sistema de siembra directa con la finalidad de determinar el aporte nutricional en el suelo como resultado del ciclaje de nutrientes. Además de determinar los efectos en los atributos físico - químico del suelo.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, M; Aguirreolea, J; Agusti, M; Aparicio, T; Aranda, X. 2013. Fundamentos de Fisiología Vegetal (en línea). 2 ED. Azcón, J; Talón, M (eds.). MADRID, s.e. 1-669 p. Consultado 4 abr. 2021. Disponible en <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>.

Benbi, DK; Chand, M. 2007. Quantifying the effect of soil organic matter on indigenous soil N supply and wheat productivity in semiarid sub-tropical India. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 79(2):103-112. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-007-9100-z>.

Beutler, AN; Munareto, JD; Greco, AMF; Pozzebon, BC; Galon, L; Guimarães, S; Burg, G; Schmidt, MR; Deak, EA; Giacomeli, R; Da Silva Alves, G. 2014. Manejo do solo, palha residual e produtividade de arroz irrigado por inundação (en línea). *Semina: Ciências Agrárias* 35(3):1153-1162. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n3p1153>.

Boer, CA; De Assis, RL; Silva, GP; Braz, AJBP; Barroso, ALDL; Filho, AC; Pires, FR. 2007. Nutrient cycling in off-season cover crops on a Brazilian savanna soil (en línea). *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 42(9):1269-1276. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2007000900008>.

Buresh, R; Haefele, S. 2010. Changes in paddy soils under transition to water-saving and diversified cropping systems. (August):9-12.

CONAB. (2018). *Perspectivas para a agropecuária* (en línea). Brasília, s.e. Consultado 4 abr. 2021. Disponible en https://www.google.com/search?q=conab+2018&rlz=1C1CHBD_esEC902EC902&sxsrf=ALeKk01JsFaQUmaLAUP2R0QsfAQnF2jcw%3A1617574191841&ei=LzlqYImEM9GKwbkPxJiGkAQ&oq=conab+2018&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAMyBggAEBYQHjIGCAAQFhAeMgYIABAWEB4yBggAEBYQHjIGCAAQFhAeMgYIABAWEB4yBg.

Correia, S da L; da Silva, PRF; Serpa, M da S; Vieira, VM; Boeni, M; Menezes, GB. 2013. Estratégias de manejo da palha de azevém para cultivo do arroz irrigado em sucessão (en línea). *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 37(2):512-520. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000200022>.

Dalchiavon, FC; De Passos e Carvalho, M; Coletti, AJ; Caione, G; Da Silva, AF; Andreotti, M. 2012. Correlação linear entre componentes da produção e produtividade do arroz de terras altas em sistema plantio direto (en línea). *Semina:Ciencias Agrarias* 33(5):1629-1642. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n5p1629>.

Fernando Carvalho da Conceição, L; Barros Pinto, L; Vianna Cuadra, S. (2019). Análise de desempenho de um modelo fenológico para a cultura do arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul (en línea). 12. s.l., s.e. Consultado 4 abr. 2021. Disponible en <https://revista.ufrr.br/actageo/article/view/5268>.

Freitas, P. (2005). (PDF) *Sistema Plantio Direto: Conceitos, Adoção e Fatores*

Limitantes (en línea). s.l., s.e. Consultado 11 abr. 2021. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/242644984_Sistema_Plantio_Direto_Conceitos_Adocao_e_Fatores_Limitantes.

Gómez-Rey, MX; Couto-Vázquez, A; González-Prieto, SJ. 2012. Nitrogen transformation rates and nutrient availability under conventional plough and conservation tillage. *Soil and Tillage Research* 124:144-152. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.05.010>.

Kahlon, MS; Lal, R; Ann-Varughese, M. 2013. Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. *Soil and Tillage Research* 126:151-158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.08.001>.

Linh, TB; Sleutel, S; Vo Thi, G; Le Van, K; Cornelis, WM. 2015. Deeper tillage and root growth in annual rice-upland cropping systems result in improved rice yield and economic profit relative to rice monoculture. *Soil and Tillage Research* 154:44-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.011>.

Lorensi, J. 2006. Universidade federal de santa maria centro de ciências rurais programa de pós-graduação em zootecnia. :0-39.

Martins, G. 2019. Tabela de Extração e Exportação dos nutrientes na Cultura da SOJA - Nutrição de Safras (en línea, sitio web). Consultado 19 abr. 2021. Disponible en <https://www.nutricaoadesafras.com.br/tabela-de-extracao-e-exportacao-dos-nutrientes-na-cultura-do-soja/>.

Medeiros, RD de; Soares, AA; Guimarães, RM. 2005. Compactação do solo e manejo da água. I: efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz (en línea). *Ciência e Agrotecnologia* 29(5):940-947. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-70542005000500004>.

Munareto, JD; Beutler, AN; Ramão, CJ; Dias, NP; Ramos, PV; Pozzebon, BC;

Alberto, CM; Hernandez, GC. 2010. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado por inundação no sistema plantio direto. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 45(12):1499-1506. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010001200022>.

_____. 2010. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado por inundação no sistema plantio direto (en línea). Pesquisa Agropecuaria Brasileira 45(12):1499-1506. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010001200022>.

Muzilli, O. 2006. Manejo do solo em sistema de plantio direto. s.l., s.e. p. 9-27.

Naylor, RL; Battisti, DS; Vimont, DJ; Falcon, WP; Burke, MB. 2007. Assessing risks of climate variability and climate change for Indonesian rice agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America . DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0701825104>.

Pacheco, LP; Barbosa, JM; Leandro, WM; de Almeida Machado, PLO; de Assis, RL; Madari, BE; Petter, FA. 2011. Biomass production and nutrient cycling of cover crops in upland rice and soybean (en línea). Revista Brasileira de Ciencia do Solo 35(5):1787-1799. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-06832011000500033>.

Pacheco, LP; Barbosa, JM; Leandro, WM; Machado, PLO de A; Assis, RL de; Madari, BE; Petter, FA. 2011. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja (en línea). Revista Brasileira de Ciência do Solo 35(5):1787-1800. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-06832011000500033>.

Panimboza, I. 2017. Análisis económico de inversión para la producción y comercialización de arroz, en el Cantón Urdaneta, Ecuador. s.l., s.e. 35 p.

Pardo, G; Cirujeda, A; Perea, F; Verdú, AMC; Mas, MT; Urbano, JM. 2019. Effects of reduced and conventional tillage on weed communities: Results of a long-term experiment in Southwestern Spain (en línea). Planta Daninha 37. DOI:

<https://doi.org/10.1590/s0100-83582019370100152>.

Petrini, J; Verneti Junior, F de J. (2014). Manejo do solo e sistema de plantio. Brasilia, s.e.

Prasanna, R; Nain, L; Pandey, AK; Saxena, AK. 2012. Microbial diversity and multidimensional interactions in the rice ecosystem. Archives of Agronomy and Soil Science 58(7):723-744. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2010.537325>.

Ramos, L. 2016. INFLUENCIA DE LAS ALTAS TEMPERATURAS EN EL VANEAMIENTO DE DOS MATERIALES DE ARROZ (*Oryza sativa* L. subsp. japónica). s.l., UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS. 64 p.

Salazar, D; Villafuerte, W; Cuichán, M; Orejuela, D; Chávez, R; Suárez, M. 2016. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2012 Dirección responsable de la información estadística y contenidos: DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICAS ECONÓMICAS. Inec .

Sanchez, L; Melo, V; Nunes, T; Portalanza, D; Durigon, A; Farah, S. 2019. African Journal of Agricultural Research Soil chemical indicators and nutrient cycling variations across sequential years of rice cultivation: A case study of floodplain conditions of the Amazon, Brazil (en línea). 14(32):1499-1508. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2019.14215>.

Santiago, CM; Breseghello, HC de P; Ferreira, CM. (2013). Coleção ♦ 500 Perguntas ♦ 500 Respostas Arroz O produtor pergunta, a Embrapa responde. s.l., s.e.

Dos Santos, A. (2010). Agência Embrapa de Informação Tecnológica - Sistema de cultivo (en línea). s.l., s.e. Consultado 11 abr. 2021. Disponible en <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000g1wcnzza02wx5ok0ha2lipwbeel46.html>.

Santos, GL Dos; Pereira, MG; Corrêa Neto, TDA; Mendonça, VMM; Menezes,

CEG. 2019. Nutrient cycling in different topographic conditions in semideciduous forest, Pinheiral - RJ state (en línea). *Ciencia Florestal* 29(4):1737-1747. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509826880>.

Schmidt, F; Bortolon, L; De Sousa, RO. 2007. Toxicity of propionic and butyric acids in rice seedlings (en línea). *Ciencia Rural* 37(3):720-726. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-84782007000300018>.

Silva, EC da; Muraoka, T; Buzetti, S; Espinal, FSC; Trivelin, PCO. 2008. Utilização do nitrogênio da palha de milho e de adubos verdes pela cultura do milho (en línea). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32(spe):2853-2861. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-06832008000700032>.

SOSBAI. 2018. Arroz Irrigado - Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil (2018) (en línea). Embrapa Clima Temperado :205. Consultado 15 feb. 2021. Disponible en <http://www.sosbai.com.br/>.

Terdo, F; Feola, G. 2016. The vulnerability of rice value Chains in Sub-Saharan Africa: A review. s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli4030047>.

Vernetti Junior, F; Gomes, A; Schuch, L. 2009. Sucessão de culturas em solos de várzea implantadas nos sistemas plantio direto e convencional (en línea). *Revista Brasileira de Agrocência* 15(1):37-42. DOI: <https://doi.org/10.18539/cast.v15i1-4.1984>.

Viteri Viteri, GI; Edison Zambrano, C. 2017. Comercialización de arroz en Ecuador: Análisis de la evolución de precios en el eslabón productor-consumidor (en línea). *Ciencia y Tecnología* 9(2):11. DOI: <https://doi.org/10.18779/cyt.v9i2.210>.

Zhou, W; Lv, TF; Chen, Y; Westby, AP; Ren, WJ. 2014. Soil physicochemical and biological properties of paddy-upland rotation: A review. s.l., Hindawi Publishing Corporation, vol.2014. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/856352>.