



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**INGENIERÍA AGRONÓMICA**



Perfil práctico de carácter complejo presentado al consejo directivo,  
como requisito previo para obtener el título de:

**Ingeniero Agrónomo**

**Tema:**

Dinámica de la materia orgánica bajo condiciones anóxicas en la  
producción de arroz (*Oryza sativa* L.)

**Autor:**

Alexander Bolívar Coloma Bajaña

**TUTOR**

Ing. Agr. Luis Enrique Sánchez Jaime, MSc.

**Babahoyo – Los Ríos – Ecuador**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mis agradecimientos primeramente a Dios, quien es que nos da la vida y salud para cumplir todas las metas que nos proponemos en la vida.

Mis más sinceros agradecimientos al cuerpo docente de la Facultad de Ciencias Agropecuarias por ayudar a formarme como un profesional y en especial al Ing. Luis Sánchez por guiarme en el proceso investigativo de manera dedicada, paciente y siempre optimista.

De igual manera me gustaría agradecer a la Universidad Técnica de Babahoyo, a sus docentes por brindarme todos los conocimientos necesarios que me permitieron crecer como profesional siendo un aporte para la sociedad.

Finalmente quisiera agradecer al Ing. Eduardo Colina que para mí fue un ejemplo a seguir como profesional, obsequiando conocimientos que servirán para la vida profesional y cotidiana.

## DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

La persona que hizo posible todo esto mi madre Jovita de Jesús Bajaña quien estuvo ahí confiando en mí en todo momento, quien me enseñó que si nos esforzamos podemos cumplir todo aquello que nos proponemos y que debemos proteger todo lo que queremos con todas nuestras fuerzas.

A mi padre quien una vez me dijo el mejor consejo de la vida y es que “un hombre nunca dice no puedo sin ni si quiera haberlo intentado”.

A mi mejor amigo Carlos Ramos por apoyarme cuando lo necesite, le agradezco por darme un lugar donde trabajar y sustentar mis gastos universitarios.

Y finalmente me gustaría agradecer a Katherine Sánchez mi novia por enseñarme a ser paciente y darme confianza a mí mismo de que puedo lograr todo lo que me propongo.

## Contenido

I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Descripción del problema .....	3
1.2 Preguntas de la investigación.....	3
1.3 Justificación .....	4
1.4 Objetivos .....	5
1.4.1 General.....	5
1.4.2 Especifico .....	5
II. MARCO TEÓRICO .....	6
2.1 Importancia del cultivo de arroz.....	6
2.3 Materia orgánica en el suelo .....	6
2.4 Efectos de la materia orgánica en condición anaeróbica.....	7
2.5 Dinámica del carbono en el cultivo de arroz .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.6 Actividad microbiana .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.7 Efectos de la materia orgánica sobre la producción de arroz .	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
III. MARCO METODOLOGICO .....	9
3.2 Métodos de investigación .....	9
3.3 Situaciones detectadas .....	9
3.4 Soluciones planteadas .....	10

IV. CONCLUSIONES .....	12
V. RECOMENDACIONES .....	12
VI. RESUMEN .....	13
VII. SUMMARY .....	14

## I. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es un cereal altamente consumido y considerado muy importante en algunas culturas (especialmente en el continente asiático), de igual manera en países de América Latina es considerado un alimento indispensable en la alimentación diaria por su alto contenido de carbohidratos (Oerke 2006, Kuenzer y Knauer 2013).

Debido al constante aumento demográfico en el mundo, la producción intensiva de arroz está en aumento llegando de dos a tres cosechas durante el año (Linh et al. 2015). Sin embargo, las prácticas de manejo del suelo en áreas de producción intensiva con uso de maquinarias pesadas, la cual, se fundamenta en destruir la estructura del suelo con la finalidad de facilitar la germinación y el establecimiento del cultivo de arroz (Sanchez et al. 2019), favorece el proceso erosivo, pudiendo llegar a un estado de infertilidad del mismo.

Por otro lado, la materia orgánica del suelo está compuesta por residuos vegetales y animales en descomposición, se la puede definir como el conjunto de sustancias que suelen encontrarse en el suelo y que aportan a su fertilidad. Es decir, para que el suelo sea apto para la agricultura y obtener una producción de calidad, el suelo debe tener un nivel superior al 2,5 % de materia orgánica (Lehmann y Kleber 2015, Volk y Loeppert 2018).

En áreas intensivas de arroz irrigado, la remoción de residuos de plantas después de cada cosecha, resulta en la disminución de la materia orgánica incorporada, llevando a menor concentración de carbono en suelos dedicados a la producción de este cereal en comparación con áreas de ecosistema natural donde permanecen estables los residuos vegetales y animales (Mazzoncini et al. 2016, Sanchez et al. 2019).

Entre tanto, los suelos sometidos a regímenes de inundación y drenaje periódico durante el ciclo del cultivo de arroz, ocasionan modificaciones en el ambiente en función de las alteraciones de la microbiota y en los procesos químicos que se alternan entre

una condición aeróbica y otra anaeróbica, tales alteraciones pueden resultar en una dinámica de la materia orgánica, en relación a los productos formados y a la velocidad de descomposición (Da Rosa et al. 2008, SALES et al. 2017) . En ese escenario, es conocido que los sistemas convencionales de producción aumentan los riesgos de degradación de los suelos y consecuentemente en manera significativa, mermas en la productividad (Bento 2016).

Ante lo expuesto, esta revisión bibliográfica se objetiva en la discusión de la dinámica de la materia orgánica bajo condiciones irrigadas en la producción de arroz, además de las principales prácticas de manejo que minimizan la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

## **1.1 Descripción del problema**

El suelo es un recurso natural muy importante que ha sido aprovechado para sustentar la vida brindando habitad y soporte, sin embargo a través de los años el suelo que es destinado a la producción agrícola se ve amenazado por factores que favorecen su degradación, donde cada vez la demanda alimentaria aumenta y el área productiva disminuye.

Varios estudios relatan que dada las condiciones edafoclimáticas similares, la materia orgánica permanece más tiempo en suelos inundados en comparación con los suelos de tierra alta (arroz de secano). Es decir, la descomposición de residuos de plantas en suelo seco es relativamente más rápida bajo condiciones aeróbicas.

La descomposición bajo condiciones anaeróbicas es más lento debido que en ausencia de oxígeno, la descomposición depende de los receptores de electrones alternativos (Hierro y Sulfato) que son relativamente lentos e ineficientes en la mineralización de los residuos de plantas (Da Silva et al. 2011). Consecuentemente, en la descomposición anaeróbica de residuos de plantas resultan una serie de compuestos de bajo peso molecular, de los cuales destacan los ácidos: fórmico, acético, butírico y propiónico. Estos ácidos interfieren en el desarrollo de las plantas de arroz cuando aumentan de concentración en el suelo (Bento 2016).

## **1.2 Preguntas de la investigación**

¿Cuáles son las causas de la pérdida de fertilidad del suelo?

¿Qué beneficios hay al aplicar materia orgánica en el cultivo de arroz bajo riego?

¿Qué prácticas son necesarias para garantizar la sostenibilidad del cultivo de arroz y alcanzar su máxima productividad?



### **1.3 Justificación**

El cultivo de arroz es considerado una de las principales fuentes de carbohidratos de aproximadamente el 50 % de la población mundial y para satisfacer la creciente demanda de alimentos, el arroz es sembrado bajo condiciones de secano y bajo riego, debida a la amplia adaptabilidad ecológica.

Sin embargo, los suelos que están sometidos a largos periodos de inundación seguido de drenaje, ocasionan modificaciones periódicamente en el ambiente, en función de las alteraciones de la microbiota y los procesos electroquímicos que se alteran entre una condición aeróbica y la otra anaeróbica, tales cambios pueden resultar en una dinámica de la materia orgánica en relación a los productos formados y a la velocidad de descomposición.

Por otro lado, la eliminación de los residuos de plantas después de cada cosecha y el sistema de manejo utilizado para la producción, disminuye la concentración de carbono orgánico del suelo, resultando en alteraciones significativas en los atributos del suelo, aumentando los riesgos de pérdida de su calidad y consecuentemente la merma en la productividad.

Ante lo expuesto, la discusión de la dinámica de la materia orgánica bajo condiciones anaeróbicas contribuirá a un mejor entendimiento acerca de los procesos biogeoquímicos que ocurren durante la producción de arroz irrigado, además de proporcionar información técnica actualizada a los agricultores dedicados a la producción de este importante rubro.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 General**

- Determinar la dinámica de la materia orgánica bajo condiciones anaeróbicas en la producción de arroz irrigado.

### **1.4.2 Especifico**

- Comprender los factores que inciden en la descomposición de la materia orgánica en la producción de arroz.
- Analizar las mudanzas que se producen en el suelo como resultado de la descomposición de la materia orgánica en los suelos anaeróbicos.
- Enumerar los efectos de la incorporación de la materia orgánica en la producción de arroz irrigado.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Importancia del cultivo de arroz**

El cultivo de arroz es la base alimentaria de aproximadamente el 50 % de la población global y es cultivado bajo diferentes condiciones de suelo y clima debido a su amplia adaptabilidad ecológica, pues además de ser cultivada en diferentes partes del mundo es cultivada bajo condiciones de riego y secano (Gathala et al. 2011). Por otro lado, las áreas cultivadas están disminuyendo continuamente por diversas causas, como: degradación del suelo, abandono de las tierras, urbanización entre otras. Sin embargo, la población y la demanda de alimentos continúan en aumento (Zhou et al. 2014, Wang et al. 2014).

En Ecuador, la región Litoral o Costa presenta la mayor superficie de arroz sembrada con el 98,71% a nivel nacional, tomando en cuenta que la producción de la provincia del Guayas es Mayor debido a la calidad de suelo que posee, siendo Guayas y los Ríos con el 60% y 34% de participación, respectivamente en la siembra de dicho cultivo, del total de la superficie sembrada en esta zona.

Sin embargo se indica que debido a factores climáticos la Provincia del Guayas alcanza a realizar de dos a tres ciclos de producción mientras que en la Provincia de los Ríos regularmente realiza un ciclo debido a que mayor parte de la zona no posee una adecuada tecnificación (INEC 2015).

### **2.3 Materia orgánica en el suelo**

Es ampliamente reconocida la importancia que tiene la materia orgánica en la formación y evolución de los suelos, siendo una característica distintiva cuando se compara con el material geológico de formación reciente, constituyendo la única fuente de reserva de nitrógeno del suelo, además de estar presente en la estructura del mismo, especialmente los de textura fina. La calidad y la cantidad de materia orgánica, influye considerablemente en los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo, lo que

determina el nivel de fertilidad que va a poseer el sistema edáfico (Pascual y Venegas 2010, FAO 2019).

La fertilidad será óptima si se incorpora residuos de origen vegetal o animal, sin embargo, la práctica de incorporar directamente al suelo es un manejo poco recomendable por el tiempo que estos requieren para transformarse en compuestos asimilables para las plantas, pasando por procesos de mineralización y humificación. La estabilización de los residuos orgánicos previo a su incorporación al suelo tiene como finalidad acelerar la descomposición de los residuos, para obtener un producto orgánico más estable biológicamente además de estar enriquecido por compuestos húmicos y libre de patógenos (Céspedes y Millas 2014).

#### **2.4 Materia orgánica en el cultivo de arroz irrigado**

La materia orgánica (MO) presenta influencias reconocidas en el comportamiento de los suelos. Pues su descomposición depende de una serie de factores como la temperatura, aireación, pH, relación C:N, disponibilidad de agua y nutrientes, mucho de ellos condicionados por el uso y manejo agronómico empleado (Möller y Müller 2012).

La adición de residuos de plantas de arroz y abonos verdes al suelo, favorece la emisión de formación de dióxido de carbono (bajo condiciones aeróbicas), metano, ácido acético (bajo condiciones anaeróbicas) y otros compuestos. (Tsutsuki y Ponnampereuma 1987). Sin embargo, la formación de estos compuestos es directamente proporcional a la disponibilidad de carbono lábil (Tian et al. 2013). Así, en suelos que reciben adición significativa de residuos de plantas días antes del periodo de inundación presentan mayor producción de ácidos orgánicos y son más propensos a causar toxicidad a las plantas (Bento 2016).

Estudios determinaron que la producción de biomasa de la planta de arroz disminuyó con el aumento de la concentración de los ácidos orgánicos (Julca-Otiniano et al. 2006), siendo que el sistema radicular presenta mayor sensibilidad a los ácidos, además de que estos compuestos interfieren en procesos responsables en la producción de energía en la raíz y consecuentemente en la reducción de la capacidad de

macollamiento, resultando en mermas significativas de los rendimientos (Möller y Müller 2012).

En este contexto, es necesario la evaluación de los efectos de la incorporación de residuos de cosecha en el reciclaje de nutrientes y en la acumulación de carbono (C), nitrógeno (N) para la adopción de técnicas que mejoren la calidad de los suelos dedicados a la producción de arroz bajo riego, reduciendo los impactos al medio ambiente (Ge et al. 2012).

Por otra parte, un buen manejo de residuos de plantas favorece biomasa microbiana, mejorando la interacción microorganismos – materia orgánica, favoreciendo la “transformación” de fertilizantes y supresores en la asimilación de nutrientes y en la producción de biomasa en la planta.

Ciertas bacterias permiten a la planta la correcta asimilación de los elementos como el fósforo y potasio, en el caso del fósforo uno de los elementos esenciales usualmente pasa a ser insoluble al ser bloqueado por otros elementos, los microorganismos actúan transformando el fósforo a orgánico asimilable para la planta.

Como resultado de la actividad microbiana en suelos inundados, ocurre la liberación de gases efecto invernadero por varias vías (ebullición, difusión y vía aerénquima). Sin embargo, se ha demostrado que manejar adecuadamente los regímenes de inundación y drenaje reduce significativamente la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera (Breidenbach y Conrad 2015).

## **III. MARCO METODOLOGICO**

### **3.1 Ubicación**

El presente trabajo de investigación, cuyos resultados sustentan la escritura de esta monografía fue realizada en la Universidad Técnica de Babahoyo, facultad de Ciencias Agropecuarias, escuela de Ingeniería Agronómica, ubicada en el Km 7 ½ de la vía Babahoyo – Montalvo, Provincia de Los Ríos.

### **3.2 Métodos de investigación**

Para la ejecución de este trabajo bibliográfico, se realizó una recopilación de información de varias fuentes como artículos científicos, libros, páginas web debidamente certificadas, cuya información aportó a la discusión de la temática propuesta.

Cabe mencionar que toda la información pasó por un proceso de síntesis, evaluación, análisis y valoración por su contenido e importancia para llegar a un resumen claro y explícito que aporte en la revisión bibliográfica.

### **3.3 Situaciones detectadas**

Los suelos dedicados a la producción de arroz irrigado son sometidos a largos periodos de inundación seguido de drenajes durante el ciclo del cultivo, esa mudanza resulta en una dinámica en los procesos relacionados a la velocidad de descomposición de los residuos y a los compuestos formados (Tsutsuki y Ponnamperuma 1987).

Respecto a eso, cabe mencionar que el intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera es básicamente por difusión, siendo que la difusión del O<sub>2</sub> en el agua es aproximadamente 10 mil veces más lenta que en el aire, por tanto, en las áreas dedicadas a la producción de arroz bajo riego, luego de la inundación del suelo, la disponibilidad de O<sub>2</sub> en el suelo es baja, llegando a ser inferior a la demanda microbiológica y debido a este déficit, los microorganismos consumen el O<sub>2</sub>, luego se inactivan o mueren (Da Rosa et al. 2008, SALES et al. 2017).

En este escenario, varios estudios relatan que dada las condiciones edafoclimáticas similares, la materia orgánica permanece más tiempo en suelos inundados en comparación con los suelos dedicados a la producción de arroz de secano, es decir, la descomposición de residuos de plantas está en función de la disponibilidad de  $O_2$ , el mismo que cumple la función de aceptor de electrones, mientras que bajo condiciones anóxicas, la descomposición depende de aceptores de electrones alternativos como el Hierro y Sulfatos que son relativamente lentos y consecuentemente los residuos de plantas tardan más tiempo en descomponerse (Breidenbach y Conrad 2015).

Como resultado de esta dinámica, ocurre la liberación de gas metano ( $CH_4$ ) y óxido nitroso ( $N_2O$ ) del suelo hacia la atmósfera, sin embargo, la mayor emisión de  $CH_4$  se registra cuando se descomponen residuos vegetales bajo condiciones anóxicas. Mientras que, las mayores emisiones de  $N_2O$  ocurren luego de la adición de fertilizantes nitrogenados seguido de drenaje del suelo (Bento 2016).

Este mismo autor relata que el cultivo de arroz irrigado es el responsable de alrededor del 15 % de todas las emisiones anuales de  $CH_4$ . De acuerdo eso, la implementación de prácticas agrícolas que resulten en un mayor secuestro de carbono o que incremente la actividad de microorganismos metanotróficos son necesarias para disminuir la emisión de gases efecto invernadero (Conrad y Klose 2006).

### **3.4 Soluciones planteadas**

Las alternativas de promover o incentivar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental de los sistemas agrícolas, requiere enfocarse como tema principal en fertilidad del suelo, que garantice obtener una máxima producción de nuestros cultivos y extraer una mínima porción de reserva de sus nutrientes sin alterar sus propiedades físicas y químicas que terminen en una degradación de la tierra.

La adición de materia orgánica bajo condiciones anóxicas inhibe significativamente la producción de biomasa en el cultivo de arroz irrigado, sin embargo el proceso de mineralización de los residuos de plantas ocurre en función de varios

factores y puede tardar de 6 a 12 meses en que la materia orgánica proporcione nutrientes a la planta.

La adición de MO en el suelo aumenta el porcentaje de materia seca y en la etapa de producción promueve una mayor formación de panículas por planta y llenado de granos, se considera que la incorporación de MO es una práctica muy eficaz que aporta en el cuidado del medio ambiente y en el aumento del rendimiento del cultivo (Xu et al. 2008).

En la producción de arroz bajo riego, los regímenes de inundación, fertilización nitrogenada y óptimo manejo de residuos de cosecha son factores importantes que determinan el incremento de biomasa en la planta, aunque el aumento de la productividad depende de la acumulación y traslocación de nutrientes en la materia seca, es decir, la traslocación de foto asimilados a la panícula es un buen indicador en términos económicos. Por tanto, todos estos procesos fisiológicos son limitados por las condiciones edafoclimáticas (Bento 2016).

En la actualidad, el empleo de técnicas que se fundamentan en conservar los residuos de plantas y en la reducción de la labranza, resultan en mejoras significativas en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, mejorando la productividad del cultivo de arroz irrigado. En este sentido, la compensación entre la productividad y la salud del suelo debe considerar las prácticas de cultivo en combinación con la adición de fertilizantes orgánicos y minerales, a fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Sanchez et al. 2019).



#### **IV. CONCLUSIONES**

- La descomposición inmediata de residuos de cosecha bajo condiciones anóxicas resulta en la formación de compuestos orgánicos de bajo peso molecular que limita la producción de biomasa en las plantas de arroz.
- El manejo mejorado de los residuos de cosecha, seguido de un adecuado manejo de la lámina de agua disminuye significativamente la emisión de gases de efecto invernadero, mejorando la salud del suelo.

#### **V. RECOMENDACIONES**

- Previa saturación del suelo, se recomienda un tiempo prudente de descomposición de residuos de cosecha bajo condiciones aeróbicas, con la finalidad de disminuir la producción de compuestos orgánicos y favorecer a las plantas al reciclaje de nutrientes.

## VI. RESUMEN

El cultivo de arroz es un cereal que posee una alta demanda alimentaria a nivel mundial, sin embargo cada año la demanda aumenta por motivos del crecimiento poblacional, lo que amerita buscar diferentes alternativas para intensificar el rendimiento del cultivo, los tratamientos de aplicar materia orgánica en conjunto con fertilizantes químicos, afectaron positivamente a obtener los rendimientos deseados para compensar la demanda del cereal.

El objetivo de esta investigación fue determinar la dinámica de la materia orgánica en condiciones anóxicas y cómo influye en el cultivo de arroz bajo riego, con el fin de encontrar una alternativa para disminuir los gases de efecto invernadero, al cual se comprobó que al estar bajo un régimen de agua disminuye significativamente estos gases que son el gran contaminante del medio ambiente.

Durante los últimos años se ha incrementado la aplicación de materia orgánica a distintos cultivos en su mayoría las hortalizas, sin embargo la FAO busca disminuir el uso de fertilizantes y plaguicidas para incentivar a aplicar nuevas prácticas orgánicas en toda clase de cultivos, con el fin de proteger el medio ambiente y garantizar la seguridad alimentaria.

Los resultados del estudio determinaron que las funciones de la materia orgánica aplicada en el suelo aportan a la conservación de la fertilidad del suelo, capacidad para retener agua, circulación del aire y aumenta la capacidad de controlar naturalmente insectos, ácaros, nematodos como patógenos. Sea cual sea la fuente que se va a utilizar, hablando de la nutrición puede aplicarse hasta el doble de del requerimiento en mineral puro y no existe toxicidad debido a que su absorción es bastante lenta.

**Palabras clave:** Materia orgánica, seguridad alimentaria, calidad, fertilidad del suelo.

## VII. SUMMARY

Rice cultivation is a cereal that has a high food demand worldwide, however, each year the demand increases due to population growth, which deserves to look for different alternatives to intensify the crop's yield, the treatments of applying organic matter in together with chemical fertilizers, positively affected obtaining the desired yields to offset the demand for the cereal.

The objective of this research was to determine the dynamics of organic matter in anoxic conditions and how it influences the cultivation of rice under irrigation, in order to find an alternative to reduce greenhouse gases, which was found to be low a water regime significantly reduces these gases, which are the major pollutant in the environment.

During the last years the application of organic matter to different crops has been increased, most of them vegetables, however the FAO seeks to reduce the use of fertilizers and pesticides to encourage the application of new organic practices in all kinds of crops, in order to protect the environment and guarantee food safety.

The results of the study determined that the functions of organic matter applied to the soil contribute to the conservation of soil fertility, the ability to retain water, air circulation, and increase the ability to naturally control insects, mites, and nematodes as pathogens. Regardless of the source to be used, speaking of nutrition, it can be applied up to twice the requirement in pure mineral and there is no toxicity because its absorption is quite slow.

Key words: Organic matter, food security, quality, soil fertility.

## Bibliografía

Bento. 2016. ARROZ IRRIGADO: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil XXXI REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO. s.l., s.e. 199 p.

Breidenbach, B; Conrad, R. 2015. Seasonal dynamics of bacterial and archaeal methanogenic communities in flooded rice fields and effect of drainage (en línea). *Frontiers in Microbiology* 5. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00752>.

\_\_\_\_\_. 2015. Seasonal dynamics of bacterial and archaeal methanogenic communities in flooded rice fields and effect of drainage (en línea). *Frontiers in Microbiology* 5. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00752>.

Céspedes, C; Millas, P. 2014. Relevancia de la materia orgánica del suelo. Investigadoras INIA Quilamapu .

Conrad, R; Klose, M. 2006. Dynamics of the methanogenic archaeal community in anoxic rice soil upon addition of straw. *European Journal of Soil Science* 57(4):476-484. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00791.x>.

FAO. 2019. Definiciones | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. s.l., s.e.

Gathala, MK; Ladha, JK; Saharawat, YS; Kumar, V; Kumar, V; Sharma, PK. 2011. Effect of Tillage and Crop Establishment Methods on Physical Properties of a Medium-Textured Soil under a Seven-Year Rice–Wheat Rotation. *Soil Science Society of America Journal* . DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2010.0362>.

Ge, T; Yuan, H; Zhu, H; Wu, X; Nie, S; Liu, C; Tong, C; Wu, J; Brookes, P. 2012. Biological carbon assimilation and dynamics in a flooded rice – Soil system. *Soil Biology and Biochemistry* 48:39-46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.01.009>.

INEC. 2015. VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales. s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/978-9968-683-96-3>.

Julca-Otiniano, A; Meneses-Florián, L; Blas-Sevillano, R; Bello-Amez, S. 2006. LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA. *Idesia (Arica)* 24(1):49-61. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>.

Kuenzer, C; Knauer, K. 2013. Remote sensing of rice crop areas. s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.738946>.

Lehmann, J; Kleber, M. 2015. The contentious nature of soil organic matter. s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature16069>.

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* . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.011>.

Mazzoncini, M; Antichi, D; Di Bene, C; Risaliti, R; Petri, M; Bonari, E. 2016. Soil carbon and nitrogen changes after 28 years of no-tillage management under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.02.011>.

Möller, K; Müller, T. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences* 12(3):242-257. DOI: <https://doi.org/10.1002/elsc.201100085>.

Oerke, EC. 2006. Crop losses to pests. s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>.

Pascual, R; Venegas, S. (2010). La materia orgánica del suelo. Papel de los microorganismos. s.l., s.e.

Da Rosa, CM; Castilhos, RMV; Dick, DP; Pauletto, EA; Gomes, ADS. 2008. Teor e qualidade de substâncias húmicas de planossolo sob diferentes sistemas de cultivo. *Ciencia Rural* . DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-84782008000600015>.

SALES, RP; PEGORARO, RF; PORTUGAL, AF; MOREIRA, JAA; KONDO, MK. 2017. ORGANIC MATTER FRACTIONS OF AN IRRIGATED OXISOL UNDER NO-TILL AND CONVENTIONAL TILLAGE IN THE BRAZILIAN SEMI-ARID REGION. *Revista Caatinga* . DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n205rc>.

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. 14(32):1499-1508. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2019.14215>.

Da Silva, LS; Pocojeski, E; Rhoden, AC. 2011. Dinâmica de nitrogênio mineral após alagamento em solos de várzea do Rio Grande do Sul. *Semina:Ciencias Agrarias* . DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n2p583>.

Tian, J; Pausch, J; Fan, M; Li, X; Tang, Q; Kuzyakov, Y. 2013. Allocation and dynamics of assimilated carbon in rice-soil system depending on water management. *Plant and Soil* 363(1):273-285. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1327-z>.

Tsutsuki, K; Ponnamperna, FN. 1987. Behavior of Anaerobic Decomposition Products in Submerged Soils. *Soil Science and Plant Nutrition* 33(1):13-33. DOI: <https://doi.org/10.1080/00380768.1987.10557549>.

Volk, BG; Loeppert, RH. 2018. Soil organic matter. s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781351073073>.

Wang, W; Sardans, J; Zeng, C; Zhong, C; Li, Y; Peñuelas, J. 2014. Responses of soil nutrient concentrations and stoichiometry to different human land uses in a subtropical tidal wetland. *Geoderma* . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.06.004>.

Xu, M; Li, D; Li, J; Qin, D; Kazuyuki, Y; Hosen, Y. 2008. Effects of Organic Manure Application with Chemical Fertilizers on Nutrient Absorption and Yield of Rice in Hunan of Southern China. *Agricultural Sciences in China* 7(10):1245-1252. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60171-6](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60171-6).

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