

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA  
SELVA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**Departamento Académico de Ciencias Agrarias**



**“EVALUACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN EL CULTIVO  
DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) BAJO DOS SISTEMAS DE  
SIEMBRA, EN TINGO MARÍA”**

**TESIS**

**Para optar el Título de  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**YOVOTH ISAIAS MARIÑO PAUCAR**

**TINGO MARÍA – PERÚ**

**2015**

## DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la vida, y por dotarme del mejor regalo: MI FAMILIA.

A mi amada madre LEONARDA PAUCAR PORTA y a mi padre ISAIAS MARIÑO ALBORNOZ, por ser las personas que siempre acompañan mis pasos, con profundo amor y eterno agradecimiento.

A mis adorados hermanos JOEL y JUNIOR MARIÑO PAUCAR, con especial cariño, por la amistad que siempre nos unió.

A mi abuelito FRANCISCO MARIÑO REYMUNDO, por el ejemplo de constancia y valor, con mucho cariño y amor.

Vive en paz con Dios, contigo mismo y con tu prójimo, sé generoso y llena siempre tu espíritu y tu mente de ideas sanas y buenos sentimientos.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva por formarme y guiarme en el camino de la vida y lo profesional.

Al Ing. Gonzáles Huiman Fernando, asesor del presente trabajo, por sus aportes durante la investigación.

Al Ingeniero Huerto Guzmán Pedro, y docentes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva por su valiosa contribución en el presente trabajo.

A los jurados de tesis: Dr. Ing. Zavala Solórzano José Wilfredo, Dr. Ing. Ríos Alvarado Jorge e Ing. Cerón Chávez Jorge por sus oportunas sugerencias.

A la familia Mariño Paucar; y a mi tío Lorenzo Mariño Albornoz por su constante apoyo moral y económico para alcanzar mis metas.

A mis colegas; Pedro Huerto Victorio, Osvaldo Loarte Cruces, Flormira Cruzado Blanco, y Karín Elena Villogas Ventura por su incansable apoyo durante toda la ejecución de la tesis.

A mis cuatro grandes amigos; Elmer Mendieta Mudarra, Janeth Torres Aquisé, Edgar Epifanio y Julio Cotrina Doria por el apoyo incondicional.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN .....	01
1.1. Objetivos .....	02
1.1.1. Objetivo general.....	02
1.1.2. Objetivos específicos.....	02
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	03
2.1. Cultivo de arroz y el medio ambiente .....	03
2.2. Carbono y materia orgánica en el suelo .....	05
2.3. Cambio climático. ....	06
2.3.1. Efecto invernadero.....	07
2.3.2. Cambio climático en el Perú.....	08
2.4. Problemática de la emisión de carbono .....	11
2.4.1. Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).....	11
2.5. Métodos de medición de stock de carbono .....	13
2.5.1. Carbono fijado.....	14
2.5.2. Captura de carbono.....	15
2.5.3. Secuestro de carbono en el suelo.....	15
2.6. Relación de la captura de carbono con los tejidos vegetales .....	16
2.7. Adaptación a los suelos inundados del arroz .....	17
2.8. Arroz y gases de efecto invernadero.....	18

2.9. Sistemas de siembra en el cultivo de arroz .....	19
2.10. Adaptación del arroz a los suelos inundados.....	20
2.11. Efecto del agua bajo riego sobre las propiedades del suelo.....	21
2.12. Como controlar el metano (CH <sub>4</sub> ).....	22
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
3.1. Zona de Investigación .....	23
3.1.1. Ubicación política y geográfica.....	23
3.1.2. Ecología.....	23
3.1.3. Condiciones climáticas.....	23
3.2. Materiales.....	24
3.2.1. Materiales.....	24
3.2.2. Equipos.....	24
3.3. Metodología.....	25
3.3.1. Componentes en estudio.....	25
3.3.2. Tratamientos en estudio.....	25
3.3.3. Diseño experimental.....	25
3.4. Conducción del experimento .....	27
3.4.1. Colecta de muestras.....	27
3.4.2. Cálculo de la Biomasa de las hojas del arroz.....	27
3.4.3. Cálculo del volumen de las secciones.....	28
3.4.4. Cálculo de la Biomasa de cada golpe.....	29

3.4.5. Parámetros biológicos a registrar.....	29
IV. RESULTADOS .....	32
4.1.Efecto de la densidad en dos sistemas de siembra de cultivo de arroz sobre características agronómicas.....	32
4.1.1. Altura de planta.....	32
4.1.2. Diámetro de tallo.....	35
4.1.3. Volumen de raíz.....	39
4.2.Efecto de la densidad de siembra en dos sistemas de cultivo de arroz sobre el carbono almacenado en la biomasa y en el suelo.....	43
4.2.1. Carbono almacenado en la biomasa (kg/ha).....	43
4.2.2. Rendimiento de biomasa y carbono de la semilla.....	48
4.2.3. Carbono orgánico del suelo (COS).....	48
4.3.Relación entre el carbono de la biomasa vegetal y del carbono orgánico del suelo de ambos sistemas .....	51
V. DISCUSIÓN .....	54
5.1.Efecto de la densidad en dos sistemas de siembra de cultivo de arroz sobre características agronómicas.....	54
5.1.1. Altura de planta.....	54
5.1.2. Diámetro de tallo.....	55
5.1.3. Volumen de raíz.....	55
5.2.Efecto de la densidad de siembra en dos sistemas de cultivo de arroz sobre el carbono almacenado en la biomasa y en el suelo.....	56

5.2.1. Carbono almacenado en la biomasa (kg/ha).....	56
5.2.2. Rendimiento de biomasa y carbono de la semilla.....	57
5.2.3. Carbono orgánico del suelo (COS).....	57
5.3.Relación entre el carbono de la biomasa vegetal y del carbono orgánico del suelo de ambos sistemas .....	58
VI. CONCLUSIONES.....	60
VII. RECOMENDACIONES .....	61
VIII. RESUMEN.....	62
IX. BIBLIOGRAFIA .....	64
X. ANEXOS.....	73
Anexo A. Características del campo experimental .....	74
Anexo B. Panel Fotográfico .....	75

## INDICE DE CUADROS

	Página
1. Detalle de los tratamientos en estudio.....	25
2. Esquema del análisis de variancia del modelo estadístico propuesto.....	26
3. Análisis de varianza para la altura de planta (cm) a los 90 días.....	32
4. Altura de planta (cm) a los 90 días por efecto de los sistemas de siembra densidad de siembra. (Promedio $\pm$ error estándar).....	33
5. Altura de planta (cm) por sistema de siembra en las tres etapas de evaluación (Promedio $\pm$ error estándar).....	35
6. Análisis de varianza para el diámetro de tallo (mm) a los 90 días.....	35
7. Análisis de varianza de efectos simples de la densidad sobre los sistemas del diámetro de planta (mm) a los 90 días.....	37
8. Análisis de varianza de efectos simples de los sistemas sobre la densidad del diámetro de planta (mm) a los 90 días. ....	37
9. Diámetro de planta (mm) por sistema de siembra en las tres etapas de evaluación (Promedio $\pm$ error estándar). ....	38
10. Análisis de varianza para el volumen radicular (cm <sup>3</sup> ) a los 90 días.....	39
11. Análisis de varianza de efectos simples de la densidad sobre los sistemas del volumen radicular (cm <sup>3</sup> ) a los 90 días.....	40
12. Análisis de varianza de efectos simples de los sistemas sobre la densidad del volumen radicular (cm <sup>3</sup> ) a los 90 días.....	41
13. Volumen radicular (cm <sup>3</sup> ) por sistema de siembra en las tres etapas de evaluación (Promedio $\pm$ error estándar). ....	42
14. Análisis de varianza para el carbono almacenado en la biomasa .....	43

15. Carbono almacenado (kg/ha) en la biomasa del arroz a los 90 días de (Promedio $\pm$ error estándar). .....	44
16. Carbono almacenado (kg/ha) por estrato de la planta a 90 días de evaluación (Promedio $\pm$ error estándar). .....	45
17. Carbono almacenado (kg/ha) por estrato de la planta a 90 días de evaluación (Promedio $\pm$ error estándar).....	49
18. Biomasa radicular y carbono radicular por profundidad de horizonte en las pasturas (Media $\pm$ error estándar). .....	49
19. Relación del contenido de carbono de la biomasa herbácea y carbono orgánico del suelo en dos sistemas de siembra de arroz expresado en porcentaje (media $\pm$ error estándar).....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Imagen satelital de la Ubicación de la investigación.....	24
2. Altura de planta (cm) por fecha de evaluación en los dos sistemas de siembra.....	34
3. Diámetro de tallo (mm) producto de la interacción entre sistemas de siembra y densidad de siembra.....	38
4. Evaluación del diámetro de tallo (mm) en diferentes días de evaluación.....	39
5. Diámetro de tallo (mm) producto de la interacción entre sistemas de siembra y densidad de siembra.....	42
6. Evaluación del diámetro de tallo (mm ) en diferentes días de evaluación.....	43
7. Almacenamiento de carbono en la raíz (kg C/ha) entre sistemas de siembra evaluados en tres periodos.....	46
8. Almacenamiento de carbono en el tallo (kg C/ha) entre sistemas de siembra.....	47
9. Almacenamiento de carbono en la hoja (kg C/ha) entre sistemas.....	49
10. Materia orgánica (%) a tres profundidades (a); Carbono orgánico (tC /ha) a tres profundidades (b).....	50
11. Contenido de COS (tC/ha) al inicio y al final del experimento.....	51
12. Proporción por componente del carbono almacenado (tC/ha) por sistema de siembra.....	52

13. Gráficos de distribución para las reservas totales de carbono (tC/ha) entre sistemas de siembra.....	53
14. Cultivos de arroz en seco y bajo riego. ....	74
15. Delimitación de la parcela.....	74
16. Delimitación de profundidades del suelo evaluadas.....	75
17. Recolección de muestras.....	75
18. Análisis de las muestras en el laboratorio.....	77

## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo del arroz en tierras inundadas es el sistema de cultivo más complejo en relación a la captura de carbono. Si la materia orgánica se acumula en un suelo húmedo, también se forma metano. El efecto de invernadero del metano es mucho mayor que el del dióxido de carbono. La estrategia más común para prevenir la formación de metano es disminuir el periodo de inundación, de modo que la materia orgánica esta menos protegida de la mineralización y puedan ser emitidos  $\text{CO}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}$  o  $\text{NH}_4$ . Por estas razones, parecería muy difícil, por el momento, manejar simultáneamente la producción de arroz en tierras inundadas y la captura de carbono en el suelo (INFOAGRO, 2007).

Todos los resultados experimentales demuestran que un aumento de la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmosfera induce un incremento de la biomasa o de la Red Primaria de Producción por medio de la fertilización con carbono, con un papel muy importante sobre la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas. La ganancia en la fijación de  $\text{CO}_2$  podría ser importante. El incremento en la productividad medido a causa de la duplicación de la concentración del  $\text{CO}_2$  predicha para el año 2100 es de cerca del 30% para las plantas  $\text{C}_3$ . Otro efecto importante del aumento del  $\text{CO}_2$  es la disminución de la transpiración de las plantas a través de los estomas lo cual redundo en una mayor eficiencia en el uso del agua, sobre todo en las plantas  $\text{C}_4$ . En lo que se

refiere al agua, hay un efecto neto favorable del CO<sub>2</sub> sobre la reducción de la transpiración de las plantas (ANDRIANI, 2009).

Evidentemente, para llegar a un aumento de rendimiento en el campo, también deber ser satisfechos otros requerimientos de las plantas como el agua y los nutrientes disponibles. En el Alto Huallaga, el cultivo de arroz constituye uno de los cultivos anuales más importantes para el agricultor, por lo que es necesario conocer cuáles de los sistemas bajo riego o en seco genera mayor almacenamiento de carbono, el cuál es el principal problema de la investigación. La hipótesis planteada es que el sistema en seco genera mayor almacenamiento de carbono que el sistema bajo riego, a pesar de tener menores rendimientos.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Determinar el carbono almacenado por el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en dos sistemas de siembra seco y bajo riego en Tingo María.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Determinar las diferencias agronómicas entre los dos sistemas de siembra de arroz
- Determinar el carbono almacenado en la biomasa vegetal y en el suelo en el rendimiento del cultivo de arroz en dos sistemas de siembra.

-3-

- Estimar la relación de carbono de la biomasa y carbono del suelo en ambos sistemas de siembra

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Cultivo de arroz y el medio ambiente

Está comprobado, que el cultivo de arroz (*O. sativa*) es uno de los cultivos anuales que más contaminan al suelo y a la atmosfera por el alto uso de productos agroquímicos y por la alta emisión de metano que se libera al aire; en relación a ello se desconoce el aporte del servicio ambiental de este cultivo con la captura de carbono (IRISARRI y PERDOMO, 2009).

La captura de carbono en los suelos agrícolas se contrapone al proceso de desertificación por medio del papel que juega el incremento de la materia orgánica sobre la estabilidad de la estructura, resistencia a la erosión hídrica, eólica- y a la retención de agua, y al aspecto esencial de la cobertura de la superficie del suelo directamente por las plantas o por los residuos de las plantas -o cobertura muerta- para prevenir la erosión e incrementar la conservación del agua. La materia orgánica, al incrementar la calidad del suelo, también tiene una función protectora al fijar los contaminantes -ya sean orgánicos como los pesticidas o minerales como los metales pesados o el aluminio- los cuales en general disminuyen en su toxicidad (BRINKMAN y SOMBROEK, 1996).

Mientras que un aumento del contenido atmosférico de gases de invernadero está llevando a un cambio climático, también ocurrirán numerosos efectos complejos, contrastantes y opuestos. La calidad del aire esta

principalmente relacionada con la disminución de la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico, pero considerando también los otros gases de invernadero, en particular metano y óxido nitroso (CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O). El principal factor que controla su génesis es la anaerobiosis -proceso de reducción del suelo- la cual esta generalmente ligada a las condiciones hidromórficas. Cuando aumentan las pasturas o las tierras para pastoreo, la emisión de metano por el ganado debe también ser tomada en consideración (PEREYRA, 2009).

En algunos ambientes y dependiendo de las condiciones climáticas - áreas húmedas - o propiedades del suelo -alto contenido de arcilla- puede ser formado N<sub>2</sub>O. Por lo tanto, se debe hacer un cuidadoso balance de las distintas emisiones de gases. Los últimos hallazgos en la agricultura de conservación respecto a los sistemas arroz-trigo son positivos; por ejemplo, los rendimientos del arroz pueden ser mantenidos o mejorados sin saturación de agua, encharcamiento o reducción del suelo y con grandes ahorros de agua en el periodo de crecimiento del arroz. Este nuevo enfoque ha sido convalidado por los agricultores en varios miles de hectáreas en países como India y Brasil (BRINKMAN y SOMBROEK, 1996; BROWN, 1997).

Así también IRISARRI y PERDOMO (2009) señalan que las tierras húmedas tienen condiciones anaeróbicas similares con menor emisión de CH<sub>4</sub> que los campos de arroz húmedos y un mayor potencial de secuestro de carbono que puede llevar a la formación de turba. Esto tiene también otras ventajas ambientales importantes que deben ser protegidas; no es realista, sin embargo, esperar rápidos incrementos.

## **2.2. Carbono y materia orgánica en el suelo**

El ciclo terrestre del carbono orgánico del suelo representa la mayor reserva en interacción con la atmosfera y se estima en cerca de 1 500 Pg C a 1 m de profundidad (cerca de 2 456 a dos metros de profundidad). El carbono inorgánico representa cerca de 1 700 Pg pero es capturado en formas más estables tales como el carbonato de calcio. La vegetación (650 Pg) y la atmósfera (750 Pg) almacenan considerablemente menos cantidades que los suelos (FAO, 2000; INFOAGRO, 2007).

Los flujos entre el carbono orgánico del suelo o terrestre y la atmosfera son importantes y pueden ser positivos bajo la forma de captura o negativos como emisión de CO<sub>2</sub>. En el pasado, el desarrollo de la agricultura fue la principal causa del incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmosfera, pero hoy día, los mayores contribuyentes son la combustión de los combustibles fósiles por parte de la industria y el transporte (6,5 Pg/año) (FAO, 2000).

## **2.3. Cambio climático**

El posible aumento en la temperatura superficial del planeta que se produciría como consecuencia de un aumento importante y rápido de las concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante periodos de tiempo comparables, la causa fundamental de este incremento es la emisión de estos

gases provocados por actividades humanas. Actualmente, se observa un incremento en el promedio de la temperatura mundial de 0.76 °C lo cual no es de carácter natural, sino producto de las actividades humanas. Las consecuencias son notorias y se reflejan en el aumento del nivel del mar, retroceso de los hielos polares y glaciares; fenómenos climáticos extremos que significan la aparición de nuevas plagas, menor rendimiento en los cultivos, pérdida de la biodiversidad y de los ecosistemas, mayor incidencia de enfermedades (IPCC, 2007).

Ante esta preocupante realidad, se han planteado dos estrategias, propuestas en la Convención marco de las Naciones Unidas para el cambio climático (CMNUCC). Éstas, son la adaptación o reducción de la vulnerabilidad y la mitigación o reducción de los gases de efecto invernadero (GEI). Ambas estrategias requieren del desarrollo de capacidades e investigación que sustenten los programas y proyectos en acción (ROBERT, 2002; IPCC, 2007).

### **2.3.1. Efecto invernadero**

El efecto invernadero es un fenómeno natural en el que la atmósfera regula la temperatura del planeta al permitir el ingreso de la radiación solar e impedir que el calor acumulado sobre la Tierra se evada al espacio. Ciertos gases presentes en la atmósfera son los que evitan esa fuga de temperatura, por ello se denominan gases de efecto invernadero (GEI). Los más importantes son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido de

nitrógeno (N<sub>2</sub>O), el vapor de agua, el ozono (O<sub>3</sub>) y los halocarbonos o grupos de gases conocidos como clorofluorocarbonos (CFC) pues contienen carbono, flúor, cloro y bromo. Cuando la radiación solar llega a la Tierra, parte de ella se transforma en calor. Los GEI (principalmente el dióxido de carbono) se encargan de absorberlo y de retener la radiación. La cantidad de calor que se retiene determina la temperatura global del planeta y este mecanismo impide que los días sean demasiado calurosos o las noches demasiado frías. Pero, además, las actividades humanas generan emisiones de cuatro GEI de larga permanencia, es decir aquellos que siguen activos en la atmósfera durante mucho tiempo: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y CFC. Desde el año 1750, las concentraciones de los tres primeros han aumentado por efecto de actividades productivas, sobre todo debido al uso de combustibles de origen fósil y a los cambios en el uso de la tierra, como la agricultura y la deforestación. El aumento observado en la concentración de metano obedece sobre todo a las actividades agropecuarias, y también el de óxido nitroso (ROBERT, 2002).

El IPCC (2003) e IPCC (2007) indican que las emisiones mundiales de GEI causadas por actividades humanas desde la era preindustrial aumentaron en 70 por ciento entre los años 1970 y 2004. En ese período, la mayor contribución provino del suministro de energía, transporte e industria, mientras que los aportes de la vivienda y el comercio, la silvicultura (incluida la deforestación) y la agricultura crecieron más lentamente. El IPCC vaticinó un alza de entre 1.1 y 6.4 grados centígrados de la temperatura media del planeta

antes del año 2100, relacionada con la actividad humana, con un 90 por ciento de certeza, produciendo impactos irreversibles. Entre ellos, la extinción de entre 20 y 30 por ciento de las especies animales y vegetales que se han evaluado en cientos de estudios analizados.

### **2.3.2. Cambio climático en el Perú**

El Perú es uno de los 16 países megadiversos del mundo, tiene el segundo bosque amazónico más grande después de Brasil, la cadena montañosa andina más extensa, 28 de los 32 climas del mundo, el 71% de los glaciares tropicales del mundo y 84 de las 117 zonas de vida identificadas en todo el planeta. Las 72 millones de hectáreas de bosques tropicales del Perú mantienen cautivas al menos 9,900 millones de toneladas de carbono en la biomasa (150 toneladas/hectárea) (MINAM, 2009). Más del 60% de las emisiones de GEI del Perú vienen de actividades de USCUS y agricultura (Inventario Nacional de Emisiones de GEI (BRACK, 2002).

El área total deforestada en la selva amazónica, durante el periodo 1990-2000, representa el 10,36% de la superficie de los bosques amazónicos. El departamento de San Martín es el que presenta la mayor superficie deforestada con 1 327 668,52 ha (18,51%), mientras que el departamento con menor superficie deforestada es La Libertad con 7231,26 ha (0,10%) (MAPA DE DEFORESTACIÓN DE LA AMAZONÍA PERUANA, 2009).

En los últimos 25 años se ha perdido el 22% de la superficie de nuestros glaciares, que equivale al consumo de agua de la ciudad de Lima en 10 años. Aproximadamente el 70% de la electricidad del país es generada por centrales hidroeléctricas. A nivel nacional, el sector sur del país será quien experimente un mayor calentamiento, así como reducción de lluvias del orden del 20% en promedio (BRACK, 2002).

La agricultura es el principal sustento de vida para la población rural, de hecho, el 15% de la superficie nacional es agrícola. En las últimas doce campañas agrícolas, se perdió la producción de 444 707 has de cultivos. La valorización económica en pérdidas agrícolas llegó a S/. 2 597 millones en el período 1995 - 2007 (MINAM, 2009).

Los cultivos más sensibles a las variaciones del clima ascienden a 27, y muchos de ellos se consideran importantes para la seguridad alimentaria. Apenas el 34% de la superficie agrícola está bajo riego y se concentra en la Costa; el 66% se ubica en la Sierra y Selva, dependiendo en ambos casos de las lluvias. Las regiones con mayores pérdidas económicas por fenómenos climáticos en los últimos años fueron Puno y Apurímac en el sur; Junín y Huánuco en el centro, Cajamarca y Piura en el norte. Mientras que en el oriente fue San Martín. Todas estas regiones que se encuentran en la línea de pobreza y pobreza extrema (BRACK, 2002).

La Cooperación Internacional ha venido canalizando aproximadamente US\$ 34 millones, destacando los aportes del Banco Mundial (BM), mediante el apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM); Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), la Cooperación Holandesa, la Cooperación Alemana y la Comunidad Europea, entre otras organizaciones nacionales e internacionales. La presencia del cambio climático está aumentando la gravedad de daños que genera el FEN, aumentando la vulnerabilidad de los pobres de Perú y dañando las infraestructuras de riego con tecnología simple y los cultivos agrícolas. Las repercusiones económicas por efecto de cambio climático que causa la aparición de plagas como el tizón tardío (*Phytophthora infestans* (Mont.)) en los cultivos de papa nativa en el norte del país son de US\$ 2.1 millones por campaña agrícola (BERAUN, 2011).

De acuerdo al SENAMHI con relación a los cambios en la temperatura máxima anual para el año 2030, los cambios máximos de temperatura alcanzan +1.6°C. Estos valores máximos se ubican principalmente en la zona de selva y sierra (PCC, 2009).

## **2.4. Problemática de la emisión de carbono**

### **2.4.1. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

La evidencia de los países de bajos ingresos en particular, es que las comunidades de agricultores enfrentan numerosos obstáculos para adoptar prácticas mejoradas si bien conocen los beneficios potenciales que ofrecen.

Hay también conocimiento de las deficiencias de los datos asociados con prácticamente todas las extrapolaciones regionales y globales justificando los análisis cuantitativos y los problemas para medir e interpretar los datos de campo sobre el flujo del carbono. También faltan datos sobre diferentes ecosistemas o agrosistemas y se han encontrado críticas sobre los análisis de captura de carbono que señalan excesivos beneficios al no contabilizar el flujo total de carbono asociado con la producción de fertilizantes, el riesgo y la aplicación de abonos orgánicos (IPCC, 2003).

El aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera de la tierra es una preocupación mundial, y se considera como uno de los 6 principales gases que intervienen en el efecto invernadero (GEI) el cual está contribuyendo en mayor proporción al cambio climático. Debido a la preocupación mundial por el incremento de los gases de efecto invernadero; en el protocolo de Kioto se propuso a todos los países industrializados la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Para lo cual estos deben invertir en proyectos de captura de carbono según los mecanismos propuestos por el protocolo de Kioto (IPCC, 2000).

En los últimos 200 años los incrementos del CO<sub>2</sub> en la atmósfera han sido de 280 a 375 ppm, y continua aumentando a una tasa promedio superior a 1.5 ppm por año. Si se pone en funcionamiento los mecanismos propuestos por el protocolo de Kioto para el comercio de derechos de emisión, se permitirá que los países desarrollados reduzcan sus emisiones de gases de

efecto invernadero a través de compartir proyectos conjuntos con países de desarrollo (FONAM, 2005).

Sobre el protocolo de Kioto refiere que establecieron compromisos vinculantes de reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) por parte de los países industrializados; siendo uno de ellos el proyecto llamado Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), que a través de los cuales se podrían incentivar las plantaciones agroforestales y forestales con fines de captura de carbono, estas a su vez pueden beneficiarse ambientalmente mediante el secuestro de carbono, disminuyendo la presión de los bosques naturales, regulando el clima; mejorando la calidad de agua, el paisaje y la biodiversidad. También previniendo desastres naturales, realizando funciones de refugio de especies animales y generando socialmente empleos y produciendo bienes con servicios (FONAM, 2005, PEREYRA, 2009). Actualmente el Perú cuenta con muy pocos estudios de cuantificación del contenido de carbono en el cultivo de arroz.

## **2.5. Métodos de medición de stock de carbono**

Para la cuantificación del Carbono de los bosques se prefieren los métodos que miden las existencias porque permiten relacionar los inventarios de Carbono directamente con los inventarios forestales tradicionales y son mucho más sencillos y menos costosos que los métodos que miden flujos. Los métodos de medición de las existencias de Carbono en bosques se basan principalmente en la aplicación de las ciencias forestales y del suelo, que calcula el número de árboles del bosque y la biomasa asociada biomasa aérea

y subterránea y el contenido de Carbono en el suelo (GAYOSO y SCHLEGEL, 2001).

### **2.5.1. Carbono fijado**

Las reacciones de fijación del carbono ocurren en el estroma, el NADPH y el ATP, producidos en las reacciones de captura de energía, se usan para reducir un compuesto de tres carbonos, el gliceraldehído fosfato. A esta vía en la que el carbono se fija por medio del gliceraldehído fosfato se la denomina vía de los tres carbonos o  $C_3$ . En este caso, la fijación del carbono se lleva a cabo por medio del ciclo de Calvin, en el que la enzima ribulosa bifosfato (RuBP) carboxilasa combina una molécula de dióxido de carbono con el materia de partida, un azúcar de cinco carbonos llamado ribulosa bifosfato (SALISBURI, 1999).

También señala que en cada ciclo completo, ingresa una molécula de dióxido de carbono. El numero requerido para elaborar dos moléculas de gliceraldehído - fosfato, que equivalen a un azúcar de seis carbonos, son seis vueltas. Se combinan seis moléculas de RuBP, un compuesto de cinco carbonos, con seis moléculas de dióxido de carbono, produciendo seis moléculas de un intermediario inestable que pronto se escinde en doce moléculas de fosfoglicerato, un compuesto de tres carbonos. Estos últimos se reducen a doce moléculas de gliceraldehído fosfato. Diez de estas moléculas de tres carbonos se combinan y se regeneran para formar seis moléculas de cinco carbonos de RuBP. Las doce moléculas “extra” de

gliceraldehído fosfato representan la ganancia neta del ciclo de Calvin. Estas moléculas son el punto de partida de numerosas reacciones que pueden implicar, por ejemplo, la síntesis de glúcidos, aminoácidos y ácidos grasos (SEGURA, 1997; SALISBURI, 1999).

### **2.5.2. Captura de carbono**

SEGURA (1997) menciona que es el carbono que está acumulado en un determinado ecosistema vegetal. Toma en cuenta criterios de tipo de bosque o vegetación, densidad de madera, factores de ajuste que son datos de biomasa basados en volúmenes por hectáreas de inventarios forestales. Dicha cantidad promedio de carbono por hectárea nunca será liberada a la atmósfera, en este caso, un pago por el servicio ambiental de almacenamiento se refiere a un solo pago por la conservación del bosque, evitando un cambio de uso de la tierra en forma permanente como lo son los parques nacionales o zonas de reserva absoluta, estos sistemas también pueden ser áreas quemadas para cultivos anuales o plantaciones, bosques secundarios de diferentes edades, pasturas, sistemas agroforestales, barbechos mejorados, sistemas silvopastoriles, el carbono almacenado se expresa en  $tC\ ha^{-1}año^{-1}$ .

### **2.5.3. Secuestro de carbono en el suelo**

El secuestro de carbono se efectúa en los ecosistemas forestales mediante el intercambio de carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, llevando al almacenamiento en la biomasa y en el suelo (DE PETRE *et al.*, 2011).

Las entradas de carbono al suelo provienen de diferentes fuentes como: la hojarasca de las herbáceas, la hojarasca de los árboles y la muerte de las raíces de las diferentes plantas que componen el sistema. Las salidas están determinadas principalmente por la oxidación de la materia orgánica del suelo en forma de CO<sub>2</sub>; el incremento de CO<sub>2</sub> en nuestra atmósfera influye directamente sobre la productividad de los cultivos, el mejoramiento del suelo, del agua y de la calidad del aire (ESPINOZA, 2005).

Aunque la estimación del carbono almacenado en el suelo no es fácil de cuantificar, ésta es necesaria para entender mejor la distribución y la importancia relativa de los almacenes aéreos y subterráneos de carbono en los ecosistemas terrestres (ACOSTA *et al.*, 2001).

## **2.6. Relación de la captura de carbono con los tejidos vegetales**

En lo que se refiere al ciclo del carbono, habrá una mayor captura de carbono por la biomasa aérea y un correlativo ingreso de carbono en el suelo a partir de los residuos de las plantas y del crecimiento y la muerte de las raíces más finas. Los compuestos de las raíces tienen una mayor relación C/N y son más estables (BÖHM, 1979).

Otro factor que juega un papel importante en la captura de carbono es la temperatura, la que podría aumentar en algunas partes del globo terráqueo. Tal incremento podría provocar una mayor tasa de mineralización de la materia orgánica por los microorganismos y una mayor tasa de respiración de las

raíces. Este efecto de la temperatura la mineralización podría ser significativo en los países fríos, donde la temperatura es un factor limitante y donde puede ser esperado un incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, en la mayor parte del mundo es de esperar un aumento de la captura de carbono (ESPINOZA, 2005).

Para que ocurra un verdadero impacto en el cambio climático los sumideros deben ser permanentes. Si la tierra bajo agricultura de conservación es labrada, todas las ganancias de carbono y de materia orgánica del suelo se pierden. Esto presenta un desafío importante para los sistemas de intercambio ya que no existen, en estas condiciones, una clara reducción de las emisiones en forma permanente ni la captura permanente de una tonelada de carbono ya que estas operaciones se pueden revertir en el tiempo (ALEXIS *et al.*, 2004). Los sistemas de intercambio o canje deben, por lo tanto, ser dirigidos al punto del riesgo de la permanencia y casi seguramente adoptar límites más bajos para la captura potencial del carbono y para los valores monetarios asignados (ALBRECHT y KANDJI, 2003).

## **2.7. Adaptación a los suelos inundados del arroz**

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

sistema muy eficiente para el paso de aire. Este mismo autor indica que el aire se introduce en la planta a través de las estomas y de las vainas de las hojas, desplazándose hacia la base de la planta. El oxígeno es suministrado a los tejidos con el paso del aire, moviéndose hacia el interior de las raíces, donde es utilizado en la respiración. Finalmente, el aire sale de las raíces y se difunde en el suelo que las rodea, creando una interface de oxidación-reducción (FAO, 2002).

## **2.8. Arroz y gases de efecto invernadero**

El dióxido de carbono junto al metano y el óxido nitroso son unos de los principales gases responsables del efecto invernadero. El metano ( $\text{CH}_4$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) son los principales gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por el sector agropecuario (IRISARRI y PERDOMO, 2009). Aunque la carga global de  $\text{N}_2\text{O}$  en la atmósfera es menor que la de  $\text{CH}_4$ , el primero es un GEI 310 veces más potente que el  $\text{CO}_2$  en una escala de tiempo de 100 años, mientras que el  $\text{CH}_4$  es solo 21 veces más potente.

El cultivo de arroz bajo riego es considerado una de las mayores fuentes mundiales de metano derivadas de la actividad humana. En Uruguay se estima que del total de metano emitido, el 90% proviene del sector agropecuario, correspondiendo el 84% a la fermentación ruminal del ganado, un 2 % al manejo del estiércol y sólo un 4% al generado por cultivos como el arroz. Ante la falta de información nacional de las emisiones de metano y óxido nitroso en la rotación arroz-pastura, sistema típico en Uruguay y raro en el mundo, se

ejecutó un proyecto INIA-FPTA como una primera aproximación al impacto de algunas prácticas de manejo del cultivo sobre la emisión de estos gases en la rotación. El objetivo de este proyecto fue cuantificar emisiones de metano y óxido nitroso en sistemas de cultivo de arroz en el Este uruguayo y evaluar el impacto de distintos regímenes de inundación, fertilización nitrogenada y coberturas invernales sobre las tasas de emisión de estos gases (IRISARRI y PERDOMO, 2009).

Las emisiones son el resultado final de los gases producidos menos los consumidos por el suelo. Estos procesos de producción y consumo de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  son llevados a cabo por microorganismos presentes en el suelo. Al transformar las emisiones de ambos gases en equivalentes  $\text{CO}_2$ , es decir, multiplicando por 21 las de  $\text{CH}_4$  y por 310 las de  $\text{N}_2\text{O}$ , surge claramente que el metano es el principal gas emitido por este cultivo, mientras que la emisión de  $\text{N}_2\text{O}$  se reduce al momento inmediatamente después de la fertilización (a la siembra en el invernáculo y al macollaje en el campo) en estas circunstancias. La emisión de  $\text{CH}_4$  comenzó en todos los casos por lo menos después de 10 días de establecida la inundación coincidiendo en general con el comienzo de la etapa reproductiva del arroz. Esta emisión continuó en aumento por unos 50 días por lo menos y disminuyó en respuesta al retiro de agua previo a la cosecha, hasta alcanzar tasas de emisión casi nulas (IRISARRI y PERDOMO, 2009; PEREYRA, 2009).

## 2.9. Sistemas de siembra en el cultivo de arroz

En nuestra selva y especialmente en la provincia de Leoncio Prado y otras zonas arroceras que cuentan con las condiciones apropiadas para el cultivo de arroz (MIRANDA, 2009), este se lleva bajo tres sistemas: 1) Secado de Subsistencia que emplea tecnología, las siembras se realizan en suelos de bosques en zonas remotas de frontera agrícola y en extensiones promedio de una hectárea; se emplean variedades tradicionales, dependencia de trabajo manual y la carencia de tecnología e insumos. La producción por hectárea fluctúa entre 1,500 – 1,800 kg./ha. Como promedio nacional. 2) Secano de Tierras Bajas que emplea tecnología semi técnica, está entre el cultivo de secano y el irrigado, emplea variedades altas de largo periodo vegetativo, siembra directa (tacarpo o al voleo) y trasplante, en extensiones pequeñas. Su principal limitación es falta de control de agua. Actualmente se recomienda las variedades de arroz semi enanas de ciclos corto y mayor potencial productivo, también se puede mecanizar el terreno, emplear insumos, semillas mejoradas, manejar el agua de lluvia, la producción por hectárea fluctúa de 1,800 – 3,000 kilos como promedio nacional. 3) Sistema Bajo Riego que **es denominado** sistema técnico, y por lo tanto utiliza alta tecnología, requiere de terrenos planos, bien nivelados, fértiles, con un pH óptimo, con una fuente segura de agua, sea de un río o agua de quebradas, previa la confección de represas o embalses.

## **2.10. Adaptación del arroz a los suelos inundados**

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

## **2.11. Efecto del agua bajo riego sobre las propiedades del suelo**

Uno de los procesos de degradación que se produce bajo riego es la sodificación y alcalinización del suelo. El mismo consiste en el reemplazo de cationes como el calcio por el sodio en el complejo de intercambio del suelo, incrementándose el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y, aunque no en forma lineal, el pH del suelo. Este fenómeno está fuertemente relacionado con el contenido de sodio en relación al calcio y magnesio del agua de riego y tiene, generalmente, un efecto negativo sobre algunas propiedades físicas relacionadas con la agregación de las partículas. En ese sentido, se reportan dos mecanismos principales por los cuales se perturba la agregación: (i) dispersión de las arcillas, seguida por un bloqueo de los poros conductores de agua al alojarse en ellos las partículas dispersas e (ii) hinchamiento de las arcillas provocando una reducción en el diámetro de los poros. Como consecuencia de estos fenómenos, las propiedades de transmisión del agua como la conductividad hidráulica y la infiltración son afectadas negativamente en suelos sodificados (ANDRIANI, 2009, SALAZAR *et al.*, 2010).

### **2.12. Como controlar el metano (CH<sub>4</sub>)**

El metano emitido a partir del estiércol y los sistemas de desechos agro-industriales puede controlarse y/o capturarse utilizando la tecnología de digestión anaeróbica (AD). Existe una variedad de tecnologías AD, incluyendo digestores a pequeña escala, lagunas cubiertas anaeróbicas, digestores de flujo tipo pistón, digestores de mezcla completa y digestores avanzados. Los sistemas de AD que recuperan el biogás y lo utilizan para generar energía pueden presentar una alternativa de bajo costo a las prácticas convencionales de gestión de desechos. Más aún, los sistemas de AD pueden generar ganancias y satisfacer las necesidades energéticas locales al capturar y quemar el biogás producido para generar energía para las necesidades de calefacción, refrigeración y electricidad de la granja. La electricidad remanente puede venderse para operaciones cercanas o a la red de distribución de energía eléctrica. El exceso de biogás también puede venderse o almacenarse en caños de gas natural, siempre que primero haya sido lo suficientemente purificado (ASG, 2011).

Los proyectos de AD desarrollados en una planta agrícola no solo redujeron las emisiones de GHG y produjeron energía limpia, sino que además mejoraron la calidad del aire y del agua, redujeron los olores, mejoraron la gestión de nutrientes, aumentaron el saneamiento, estimularon el desarrollo económico rural y promovieron el desarrollo ambiental sustentable (PEREYRA, 2009).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Zona de Investigación**

##### **3.1.1. Ubicación política y geográfica**

El presente trabajo se realizó en el Fundo I de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva en una terraza baja, con suelos aluviales de formación, ubicado en Tingo María, Provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco; margen derecha del río Huallaga cuyas coordenadas UTM en la zona 18 L geográficas son: 390762.6 Este, 8969739.51 Norte, y Altitud 704 msnm.

##### **3.1.2. Ecología**

Ecológicamente de acuerdo a la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo y el diagrama bioclimático de HOLDRIDGE (1987) Tingo María se encuentra ubicada en la formación vegetal de bosque muy húmedo Premontano Sub Tropical (bmh - PST) y de acuerdo a las regiones naturales del Perú.

##### **3.1.3. Condiciones climáticas**

Respecto al clima de las área de estudio, presenta alta pluviosidad con una precipitación anual promedio de 3428.8 mm. Las mayores precipitaciones se producen entre los meses de septiembre a abril y alcanza un máximo extremo en el mes de enero con un promedio mensual de 483.6 mm. Con una humedad relativa de 87% y una temperatura media anual de 24,5°C. (GABINETE DE METERELOGIA y CLIMATOLOGIA, 2012).



**Figura 1.** Imagen satelital de la Ubicación de la investigación.

## **3.2. Materiales**

### **3.2.1. Materiales**

Semilla de arroz c.v. La Conquista, lampas, rastrillos, bolsas de plástico, cuchilla y papel filtro.

### **3.2.2. Equipos**

Estufa, mortero y espectrofotómetro de absorción atómica.

### 3.3. Metodología

#### 3.3.1. Componentes en estudio

- I. Sistema de siembra
  - 1. Sistema de siembra en seco
  - 2. Sistema de siembra bajo riego
- II. Densidad de siembra
  - 1. Densidad de siembra 1
  - 2. Densidad de siembra 2

#### 3.3.2. Tratamientos en estudio

Los tratamientos se obtuvieron por la combinación de los dos sistemas de siembra y las dos densidades de siembra. El Cuadro 2 describe los tratamientos.

**Cuadro 1.** Detalle de los tratamientos en estudio

Tratamiento	Combinación
T <sub>1</sub>	Sistema de siembra en seco + Densidad 1
T <sub>2</sub>	Sistema de siembra en seco + Densidad 2
T <sub>3</sub>	Sistema de siembra bajo riego + Densidad 1
T <sub>4</sub>	Sistema de siembra bajo riego + Densidad 2

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.3.3. Diseño experimental

De acuerdo al modelo propuesto, el diseño experimental empleado fue el Diseño de Bloques Completamente al Azar con arreglo factorial 2x2 (2Factor A x 2Factor B), siendo el factor A: sistema de siembra

(dos) y Factor B: densidad de siembra (dos), resultando cuatro tratamientos. Se consideró dos bloques y cuatro repeticiones por tratamiento (CALZADA, 1970). El Cuadro 3 muestra el modelo estadístico y el análisis de varianza a emplear.

**Cuadro 2.** Esquema del análisis de variancia del modelo estadístico propuesto.

Fuentes de variación	Grados de libertad
<b>Modelo</b>	<b>4</b>
Bloque	1
Sistema	1
Densidad	1
Sistema x densidad	1
<b>Error</b>	<b>27</b>
<b>Total</b>	<b>31</b>

Fuente: Elaboración propia.

### Modelo aditivo lineal

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{j(k)} + \lambda_k + (\alpha\lambda)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  = Respuesta del i-ésimo bloque en el j-ésimo sistema en la k-ésima densidad de siembra

$\mu$  = Efecto de la media general.

$\alpha_i$  = Efecto de la i-ésimo bloque.

$\beta_{j(k)}$  = Efecto del j-ésimo sistema de siembra.

$\lambda_k$  = Efecto de la k-ésima densidad de siembra.

$(\alpha\lambda)_{ij}$  = Efecto de la interacción entre la j-ésimo sistema de siembra con la k-ésima densidad de siembra.

$\varepsilon_{ijk}$  = Efecto aleatorio del error experimental asociada a dicha observación.

### **3.4. Conducción del experimento**

#### **3.4.1. Colecta de muestras**

Se recolectaron las muestras de suelo y tejido vegetal de la planta con dos cuadrantes de 1 m<sup>2</sup>, distribuidos al azar dentro de los transectos y se pesaron las muestras; para luego sacar dos sub muestras en bolsas de papel periódico y se colocó en una estufa a 75° durante 24 horas obteniéndose el peso seco; después se molieron hasta que pase la malla 80 para luego determinar el porcentaje de carbono de la biomasa aérea. Las muestras del suelo fueron llevadas el laboratorio para determinar su densidad aparente y su respectivo análisis de carbono.

Para el cálculo del carbono en el sistema de cultivo, se determinó la biomasa herbácea utilizando la fórmula:  $BAH (t ha^{-1}) = [(PSM / PFM) \times PFT] \times 0,01$ ; donde BH = Biomasa herbácea, PSM = peso seco de la muestra colectada (g), PFM = peso fresco de la muestra colectada (g), PFT = Peso fresco total por metro cuadrado (g), 0,01 = factor de conversión para 1 m<sup>2</sup>.

#### **3.4.2. Cálculo de la Biomasa de las hojas del arroz**

Se recolectaron las hojas del arroz por muestreo estratificado y se obtuvo el peso fresco, de ese peso se sacó una muestra la cual fue llevada a

estufa, 75° centígrados por tres días hasta obtener peso constante (RUGNITIZ *et al.*, 2009). El cual se obtuvo por la siguiente formula:

$$PST = \frac{PFT \times PSM}{PFM}$$

Dónde:

PFM = Peso fresco de la muestra

PSM = Peso seco de la muestra

PFT = Peso fresco total

PST = Variable a encontrarse Peso seco total que fue la Biomasa total de las hojas.

### 3.4.3. Cálculo del volumen de las secciones

En el cálculo de la biomasa se determinó el volumen de cada sección (raíz, tallo y hoja) y así obtener el volumen total de cada golpe que multiplicado por la densidad básica, se obtuvo la biomasa de raíz, hojas y tallos (RUGNITIZ *et al.*, 2009).

Se calculó el volumen de cada sección con la fórmula siguiente:

$$V = \frac{\pi}{4} \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right] \times Largo$$

Dónde:

V = Volumen (m<sup>3</sup>)

S<sub>1</sub> = Sección mayor (m<sup>2</sup>)

$S_2$  = Sección menor ( $m^2$ )

#### 3.4.4. Cálculo de la Biomasa de cada golpe

Para la obtención de la biomasa de cada golpe se procedió al siguiente cálculo:

$$B_{Ai} = W_a + W_r + W_h$$

Dónde:

$B_{Ai}$  = Biomasa total de i-ésimo golpe (Kg).

$W_a$  = Peso golpe =  $DB \times Vol$ ; del i-ésimo golpe (Kg).

$W_r$  = Peso de tallo del i-ésimo golpe (Kg).

$W_h$  = Peso de hojas del i-ésimo golpe (Kg).

#### 3.4.5. Parámetros biológicos a registrar

– **Altura de planta.**

Se midió la altura de planta usando una regla milimetrada, el punto de referencia de la altura fue el suelo.

– **Diámetro de tallo.**

Para el diámetro de tallo se hicieron las mediciones con un vernier digital desde la base del suelo a 2 cm.

– **Volumen de raíces.**

Para la medición de volumen de raíces se utilizó la técnica de la prueba de probeta que consiste en tener de referencia un volumen determinado en la probeta y al sumergir la raíz nos da otro volumen y por diferencia se obtiene el volumen de la raíz.

– **Rendimiento de arroz**

Se realizó a los 90 días en grano con cascara, al terminar la cosecha se pesó 1000 semillas y por fórmula se determinó el rendimiento del cultivo de arroz al 14 % de humedad.

– **Carbono en la biomasa vegetal**

Para la determinación de carbono en la planta (raíz, tallo, hoja y grano) se multiplicó por el factor 0.5 de la biomasa (materia seca) según la metodología del ICRAF (RÜGNITZ *et al.*, 2009). La materia seca se obtuvo llevando a la estufa una sub muestra cocida a 70 grados centígrados por tres días o hasta obtener un peso constante.

– **Carbono en el suelo**

Para la estimación del carbono orgánico del suelo en cada estrato de evaluación (0-10 cm, 10-20 cm, y 20-30 cm), se utilizó la fórmula sugerida por MACDIKEN (1997). El carbono almacenado en el suelo es calculado por medio de la sumatoria del carbono almacenado en cada horizonte definido. Se utilizó la fórmula utilizada por BERAÚN (2011). El porcentaje de carbono fue determinado por el método de Walkley y Black (WALKLEY y BLACK, 1938)

$$\text{COS (t ha}^{-1}\text{)} = \sum_{i=1}^{i=n} ([\text{CO}/100] * \text{Dap} * \text{Ps} * 10000)_{\text{profundidad}}$$

**Donde:** COS (t h<sup>-1</sup>): Carbono orgánico del suelo

i: profundidad evaluada.

n: tres profundidades

[CO] (%): Concentración de carbono orgánico en %.

%CO= 0,58 x %MO (WALKLEY y BLACK, 1938)

Dap (t m<sup>-3</sup>): densidad aparente de la profundidad evaluada (t m<sup>-3</sup>)

Ps(m): profundidad de muestreo (m)

10000: área m<sup>-2</sup>

La estimación de la densidad aparente fue determinada por el método del cilindro, introducida que consistió en introducir un cilindro metálico al suelo para extraer una muestra de volumen conocido en cada estrato de evaluación (0-10, 10-20, 20-30 cm de profundidad) y secar al horno a 105°C por 72 horas, para determinar su peso seco (PS). Posteriormente, el peso seco se dividió entre el volumen del suelo (volumen interno del cilindro).

$$\text{Da} = \text{PS}/\text{V}_{\text{cilindro}}$$

Donde:

Da: Densidad aparente

PS: Peso seco

V<sub>cilindro</sub>: Volumen del cilindro

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Efecto de la densidad en dos sistemas de siembra de cultivo de arroz sobre características agronómicas

#### 4.1.1. Altura de planta

La altura de planta fue evaluada a los 30, 60 y 90 días de edad, para evaluar la curva de crecimiento. Para los 90 días de edad se muestra en el Cuadro 3 el análisis de varianza con el modelo propuesto.

**Cuadro 3.** Análisis de varianza para la altura de planta (cm) a los 90 días

Fuentes de variación	Gl	Cm	p-valor	Sig.
<b>Modelo</b>	4	10.48	0.3331	Ns
Bloque	1	0.72	0.7761	Ns
Sistemas	1	9.90	0.2961	Ns
Densidad	1	0.08	0.9244	Ns
Sistemas X Densidad	1	31.21	0.0693	Ns
<b>Error</b>	27	8.72		
<b>Total</b>	31			
<b>CV: 3.24% ; r<sup>2</sup>: 0.15</b>				

(Ns) No significativo

(\*) Significativo

Los resultados del ANVA muestran que para la variable altura de planta no existen razones que fundamenten el rechazo de la hipótesis nula ( $p$ -valor= 0.3331), es decir, tanto el sistema de siembra como la densidad influyen de manera similar estadísticamente sobre la altura de planta. Asimismo, el modelo presenta un variabilidad de 3.24% y un r-

cuadrado del 15%, el cual explica el porcentaje de la variabilidad total. El siguiente cuadro explica las alturas medias logradas.

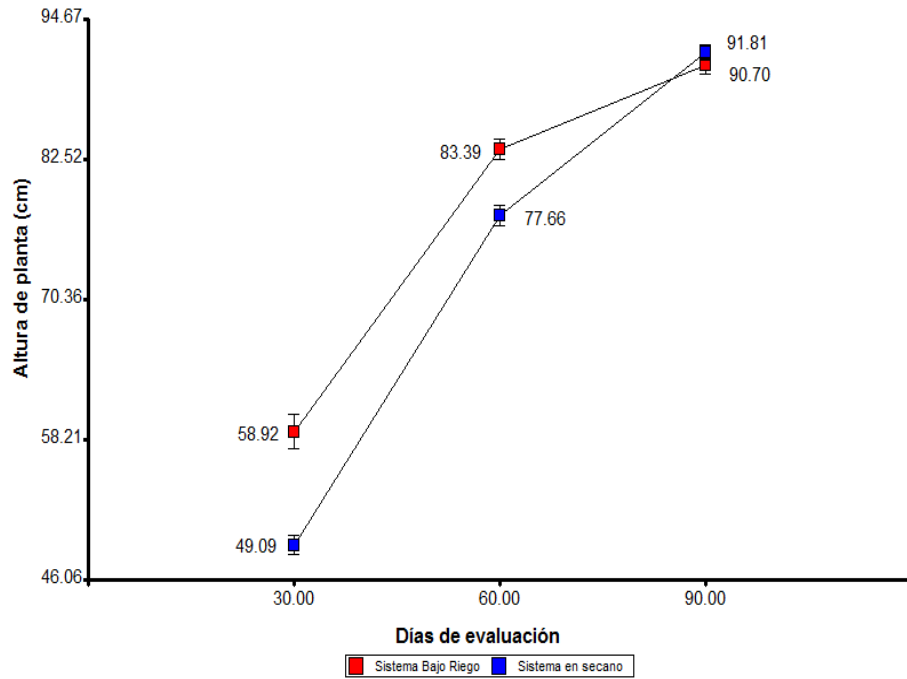
**Cuadro 4.** Altura de planta (cm) a los 90 días por efecto de los sistemas de siembra densidad de siembra. (Promedio  $\pm$  error estándar).

Sistemas de siembra	Densidad de siembra	
	1	2
Secano	90.88 $\pm$ 0.66 a	92.75 $\pm$ 1.05 a
Bajo riego	91.74 $\pm$ 0.89 a	89.66 $\pm$ 1.37 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ( $p \leq 0.05$ ).

Como puede verse en el Cuadro 4, cuando se utiliza la primera densidad la mayor altura se alcanza con el sistema bajo riego, mientras que en la segunda densidad el sistema de siembra en seco presenta relativamente mayor altura que el sistema bajo riego. Estas diferencias en promedio no resultan significativas según prueba de Fisher.

Desde la primera evaluación (30 días) se muestra una clara conducta creciente y diferenciada entre los sistemas de siembra.



**Figura 2.** Altura de planta (cm) por fecha de evaluación en los dos sistemas de siembra.

Se observa una clara diferencia estadística entre los sistemas de siembra en las dos primeras fechas de evaluación (30 y 60 días), resultando para la última evaluación (90 días) igualdad estadística entre ambos sistemas de siembra.

En el Cuadro 5 se explica este comportamiento, resultando con mayores medias durante las primeras evaluaciones de 30 y 60 días el sistema de siembra bajo riego a comparación del sistema de siembra en seco, resultando significativa estas diferencias de medias. Sin embargo, en la última fecha de evaluación llegan a igualarse estadísticamente ambos sistemas de siembra. Estos resultados indican que la altura no es significativa por el método de siembra.

**Cuadro 5.** Altura de planta (cm) por sistema de siembra en las tres etapas de evaluación (Promedio  $\pm$  error estándar).

Sistemas de siembra	Días de evaluación		
	30	60	90
Secano	49.09 $\pm$ 0.82 <b>a</b>	77.66 $\pm$ 0.88 <b>a</b>	91.81 $\pm$ 0.65 <b>a</b>
Bajo riego	58.93 $\pm$ 1.48 <b>b</b>	83.39 $\pm$ 0.89 <b>b</b>	90.70 $\pm$ 0.83 <b>a</b>

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ( $p \leq 0.05$ ).

#### 4.1.2. Diámetro de tallo

El diámetro de tallo para los 90 días de edad se muestra en el Cuadro 6, con el análisis de varianza para el modelo propuesto.

**Cuadro 6.** Análisis de varianza para el diámetro de tallo (mm) a los 90 días

Fuentes de variación	GL	CM	p-valor	Sig.
<b>Modelo</b>	4	75.55	0.0053	*
Bloque	1	27.16	0.2049	Ns
Sistemas	1	1.13	0.7935	Ns
Densidad	1	101.10	0.0185	*
Sistemas X Densidad	1	172.79	0.0029	*
<b>Error</b>	27	16.09		
<b>Total</b>	31			
<b>CV: 10.87% ; <math>r^2</math>: 0.41</b>				

(Ns) No significativo

(\*) Significativo

Los resultados del ANVA resaltan la significancia del modelo ( $p$ -valor= 0.0053). Analizando los efectos simples se observa que resulta también significativa la interacción sistemas por densidad ( $p$ -valor=0.0029), por lo que las conclusiones se basarán por los efectos simples, sobre los efectos principales. Es decir el diámetro hallado se debe a la influencia del

sistema y la densidad en forma simultánea. El modelo presenta un 10.87% de variabilidad con un 41% de datos que se ajustan al modelo propuesto.

Los Cuadros 7 y 8 muestran esta interacción, de los efectos simples, el sistema bajo riego y seco con la densidad tipo 1 y el sistema bajo riego y seco con la densidad tipo 2 resultan estadísticamente iguales en sus medias de diámetro. Lo que resulta claro es la diferencia estadística claramente diferenciada entre los sistemas de siembra bajo riego y seco entre las densidades de siembra.

**Cuadro 7.** Análisis de varianza de efectos simples de la densidad sobre los sistemas del diámetro de planta (mm) a los 90 días.

Densidad	p-valor	Sistema	Diámetro	Significancia
1	0,2484	Bajo riego	31,88 ±0.56	a
		Secano	28,41 ±0.60	a
2	0,6877	Bajo riego	28,93 ±0.55	a
		Secano	29,93 ±0.53	a

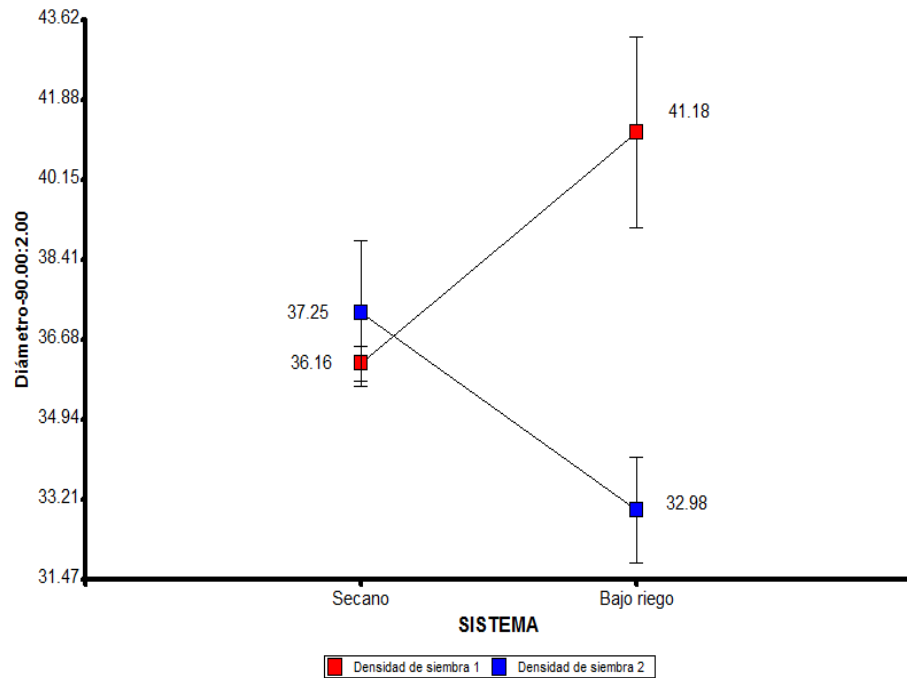
Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 8.** Análisis de varianza de efectos simples de los sistemas sobre la densidad del diámetro de planta (mm) a los 90 días.

Sistema	p-valor	Densidad	Diámetro	Significancia
Bajo riego	0,2614	1	31,88	a
		2	28,93	a
Secano	0,5981	1	28,41	a
		2	29,93	a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ( $p \leq 0.05$ ).

En la Figura 3 se muestra el gráfico de la interacción entre los factores de sistema de siembra y densidad de siembra. Resulta que si se está en el sistema de siembra de secano, el diámetro de la planta no se ve influenciada por la densidad de siembra; mientras que estando en el sistema de siembra bajo riego el mayor diámetro de planta se logra con la densidad de siembra tipo 1 estadísticamente diferenciable con la densidad tipo 2



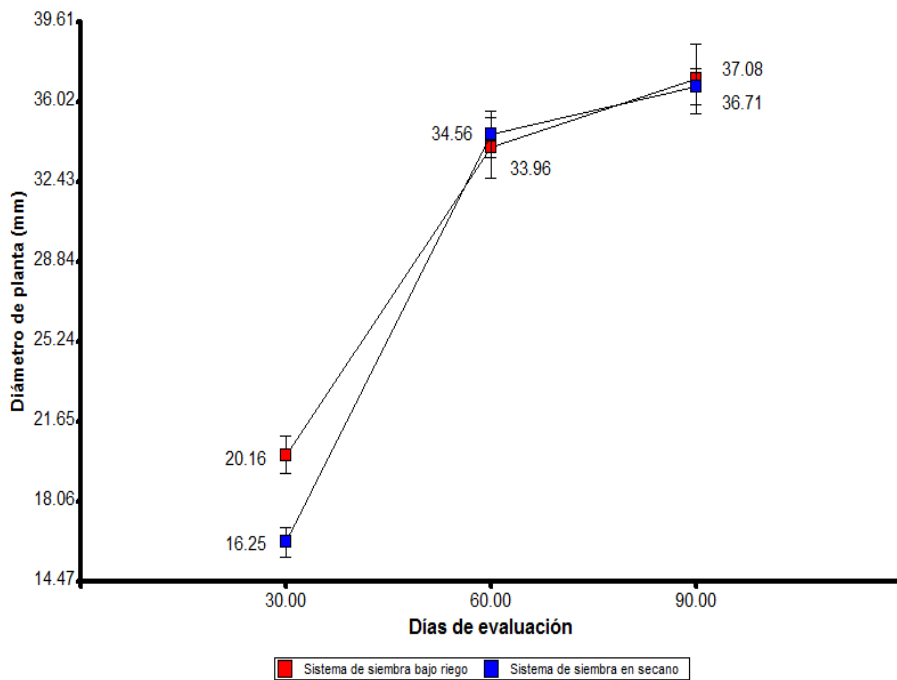
**Figura 3.** Diámetro de tallo (mm) producto de la interacción entre sistemas de siembra y densidad de siembra.

En el Cuadro 9 y la Figura 4 se explican el comportamiento del diámetro de planta en distintos días de evaluación con respecto al sistema de siembra.

**Cuadro 9.** Diámetro de planta (mm) por sistema de siembra en las tres etapas de evaluación (Promedio  $\pm$  error estándar).

Sistemas de siembra	Días de evaluación		
	30	60	90
Secano	16.25 $\pm$ 0.68 <b>a</b>	34.56 $\pm$ 1.05 <b>a</b>	36.71 $\pm$ 0.80 <b>a</b>
Bajo riego	20.16 $\pm$ 0.85 <b>b</b>	33.96 $\pm$ 1.39 <b>a</b>	37.08 $\pm$ 1.56 <b>a</b>

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ( $p <= 0.05$ ).



**Figura 4.** Evaluación del diámetro de tallo (mm) en diferentes días de evaluación

En la Figura 4, se aprecia que en la primera evaluación (30 días) se muestra la diferencia estadística entre los sistemas de siembra, mientras que para las dos siguientes evaluaciones (60 y 90 días) no presentan diferencia alguna.

### 4.1.3. Volumen de raíz

El análisis de varianza del volumen radicular a los 90 días de edad se muestra en el Cuadro 10.

**Cuadro 10.** Análisis de varianza para el volumen radicular (cm<sup>3</sup>) a los 90 días

Fuentes de variación	GI	CM	p-valor	Sig.
<b>Modelo</b>	4	3526.91	<0.0001	**
Bloque	1	603.78	0.1204	Ns
Sistemas	1	8944.53	<0.0001	**
Densidad	1	2161.53	0.0053	*
Sistemas x Densidad	1	2397.78	0.0035	*
<b>Error</b>	27	234.80		
<b>Total</b>	31			
<b>CV: 19.99% ; r<sup>2</sup>: 0.69</b>				

(Ns) No significativo

(\*) Significativo

Los resultados del ANVA resaltan la significancia del modelo (p-valor < 0.0001). Analizando los efectos simples se observa que resulta también significativa la interacción entre sistemas por densidad (p-valor=0.0035), por lo que las conclusiones se basarán por los efectos simples, sobre los efectos principales. Es decir el volumen hallado se debe a la influencia del sistema y la densidad en forma simultánea. El modelo presenta un 19.99% de variabilidad con un 69% de datos que se ajustan al modelo propuesto (r-cuadrado). En los Cuadros 11 y 12 se muestran esta interacción.

Según el Cuadro 11, el sistema bajo riego con la densidad tipo 1 resulta con el mayor volumen radicular estadísticamente diferenciable de las demás interacciones ( $p \leq 0,05$ ).

**Cuadro 11.** Análisis de varianza de efectos simples de la densidad sobre los sistemas del volumen radicular ( $\text{cm}^3$ ) a los 90 días

Densidad	p-valor	Sistema	Volumen radicular	Significancia
1	0,0048	Bajo riego	70	a
		Secano	42,5	b
2	0,077	Bajo riego	45	a
		Secano	57,25	a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ( $p \leq 0.05$ ).

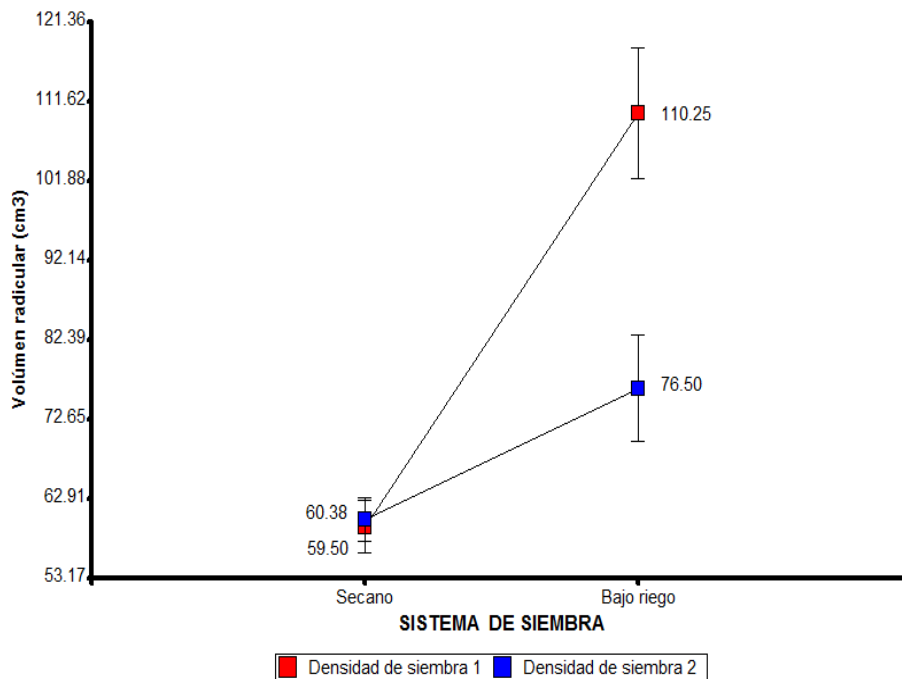
Por otra parte, el sistema de siembra en secano presenta los menores volúmenes radiculares indiferente sea la densidad utilizada (Cuadro 12).

**Cuadro 12.** Análisis de varianza de efectos simples de los sistemas sobre la densidad del volumen radicular ( $\text{cm}^3$ ) a los 90 días

Sistema	p-valor	Densidad	Volumen radicular	Significancia
Bajo riego	0,2187	1	70	a
		2	57,25	a
Secano	0,6363	1	42,5	a
		2	45	a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ( $p \leq 0.05$ ).

La Figura 5 muestra el gráfico de la interacción entre los factores de sistema de siembra y densidad de siembra. Como se puede observar si se opta por el método de siembra en seco el volumen radicular es lo mismo sea la densidad que se use. Por otra parte, si se trabaja con el sistema de siembra bajo riego la densidad de tipo1 es la que genera mayor volumen radicular estadísticamente diferenciable de la densidad de siembra tipo 2.



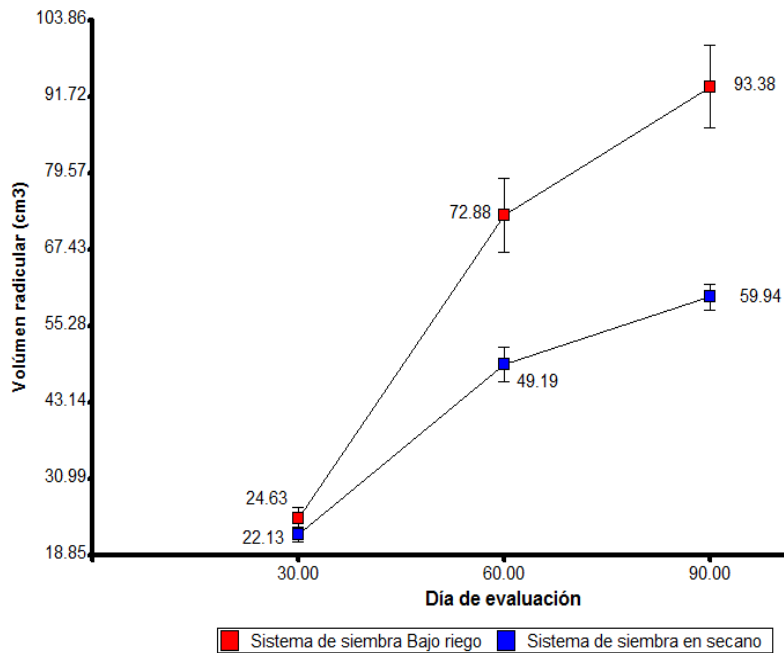
**Figura 5.** Diámetro de tallo (mm) producto de la interacción entre sistemas de siembra y densidad de siembra.

El Cuadro 13 y la Figura 6 explican el comportamiento del volumen radicular en distintos días de evaluación con respecto al sistema de siembra.

**Cuadro 13.** Volumen radicular (cm<sup>3</sup>) por sistema de siembra en las tres etapas de evaluación (Promedio ± error estándar).

Sistemas de siembra	Días de evaluación		
	30	60	90
Secano	22.13 ± 1.15 a	49.19 ± 2.79 a	59.94 ± 2.01 a
Bajo riego	24.63 ± 1.21 a	72.88 ± 5.91 b	93.38 ± 6.62 b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ( $p <= 0.05$ ).



**Figura 6.** Evaluación del diámetro de tallo (mm) en diferentes días de evaluación

Se observa en la Figura 6, que en la primera evaluación (30 días) no se observa diferencia estadística entre los sistemas de siembra,

mientras que para las dos siguientes evaluaciones (60 y 90 días) si presentan diferencia significativa entre ambos sistemas de siembra.

#### 4.2. Efecto de la densidad de siembra en dos sistemas de cultivo de arroz sobre el carbono almacenado en la biomasa y en el suelo

##### 4.2.1. Carbono almacenado en la biomasa (kg/ha)

El análisis de varianza del carbono almacenado en la biomasa (raíz, tallo hoja y semilla) a los 90 días de edad de la plantación se muestra en el Cuadro 14.

**Cuadro 14.** Análisis de varianza para el carbono almacenado en la biomasa

Fuentes de variación	GL	CM	p-valor	Sig.
<b>Modelo</b>	4	21489214.58	0.0039	*
Bloque	1	1088992.82	0.6199	Ns
Sistemas	1	54569904.50	0.0014	*
Densidad	1	16353480.50	0.0624	Ns
Sistemas X Densidad	1	13944480.50	0.0838	Ns
<b>Error</b>	27	4326214.91		
<b>Total</b>	31			
<b>CV: 27.74% ; r<sup>2</sup>: 0.42</b>				

(Ns) No significativo

(\*) Significativo

De acuerdo al Cuadro del ANVA, el modelo resulta significativo (p-valor=0.0039), el cual argumenta la significancia de algún factor en estudio. Se observa que no existe significancia en la interacción (efectos simples), por lo que las conclusiones se basarán sobre los efectos

principales. El efecto principal sistemas resulta significativo ( $p$ -valor=0.0014), por lo que existe razones para rechazar la hipótesis nula y aceptar que existen diferencias estadísticas entre los sistemas de siembra con respecto al carbono almacenado. El ANVA presenta además una variabilidad de 27.74% y un 42% de la variabilidad total del modelo.

El Cuadro 15 muestra la aplicación de una prueba de medias para los sistemas de siembra.

**Cuadro 15.** Carbono almacenado (kg/ha) en la biomasa del arroz a los 90 días de (Promedio  $\pm$  error estándar).

Sistemas de siembra	Carbono almacenado (kg/ha)
Bajo riego	8,805 $\pm$ 758.47 <b>a</b>
Secano	6,193.25 $\pm$ 205.43 <b>b</b>

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ( $p \leq 0.05$ ).

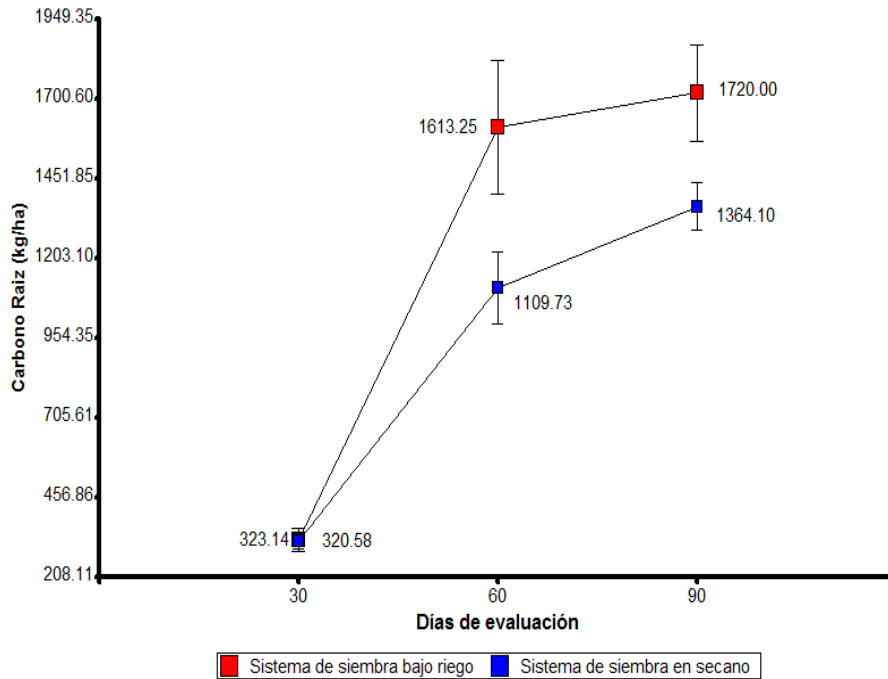
Al realizar la prueba de medias se observa que el sistema bajo riego presenta mayor carbono almacenado en la biomasa aérea y radicular del arroz estadísticamente diferenciado que el sistema de siembra en secano. El análisis de los componentes de la biomasa se detalla en el siguiente cuadro.

**Cuadro 16.** Carbono almacenado (kg/ha) por estrato de la planta a 90 días de evaluación (Promedio  $\pm$  error estándar).

<b>Sistemas de siembra</b>	<b>Raíz</b>	<b>Tallo</b>	<b>Hoja</b>	<b>Semilla</b>
Bajo riego	1,720.0 $\pm$ 150 <b>a</b>	3,805 $\pm$ 341 <b>a</b>	1,460 $\pm$ 115 <b>a</b>	1,820 $\pm$ 210.6 <b>a</b>
Secano	1,364.10 $\pm$ 74 <b>a</b>	2,491.75 $\pm$ 106 <b>b</b>	1,166 $\pm$ 43 <b>b</b>	1,171.40 $\pm$ 43 <b>b</b>

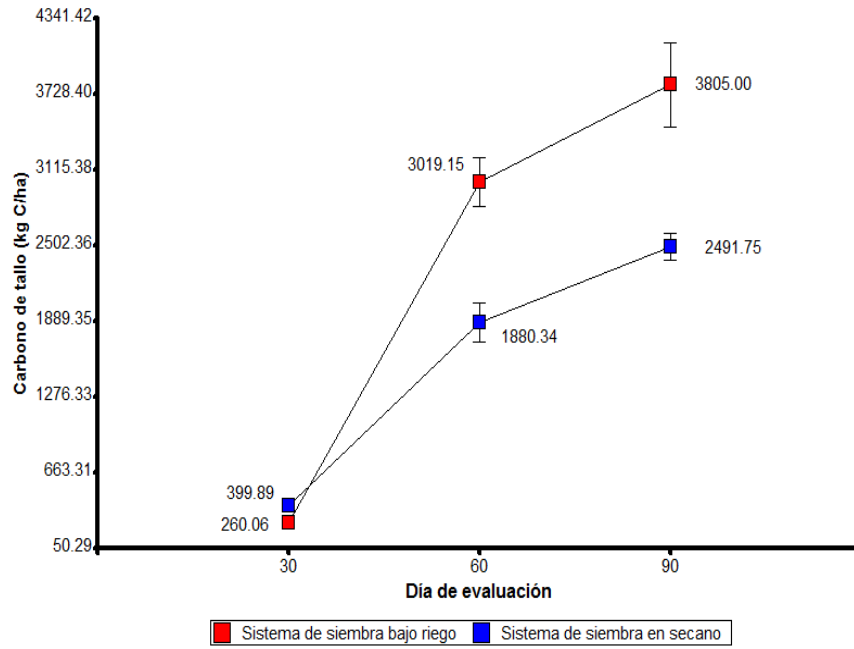
Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ( $p \leq 0.05$ ).

El análisis por componentes de la biomasa indican que para el componente raíz, logran representar similar biomasa radicular los dos sistemas de siembra, aunque el sistema de siembra bajo riego contiene mayor carbono (1,720 kg C/Ha) que el sistema de siembra en seco (1,364.10 kg C/Ha) ambas se comportan estadísticamente similares. En los componentes tallo, hoja y semilla, muestran diferencias estadísticas entre los sistemas de siembra, el cual utilizando la prueba de medias con la diferencia mínima significativa de Fisher al 5% de significancia, resulta el sistema de siembra bajo riego con mayor contenido de carbono que el sistema de siembra en seco (Cuadro 16). El análisis temporal del componente raíz se muestra en la Figura 7.

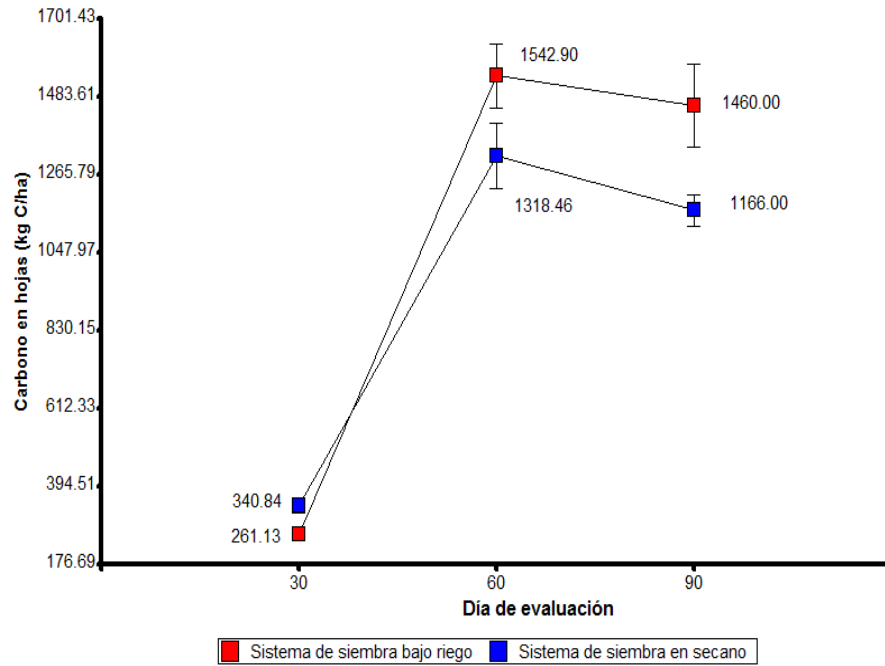


**Figura 7.** Almacenamiento de carbono en la raíz (kg C/ha) entre sistemas de siembra evaluados en tres periodos.

La Figura 7 muestra que a la primera evaluación (30 días) del carbono radicular ambos sistemas resultan estadísticamente similares, mientras que para la segunda y tercera etapa de evaluación el sistema de siembra bajo riego es mayor estadísticamente que el sistema de siembra en seco. Asimismo para el carbono de tallo y hojas las evaluaciones en ambos sistemas resultan de forma similar que para el carbono radicular, tal como se muestra en la Figura 8 y Figura 9.



**Figura 8.** Almacenamiento de carbono en el tallo (kg C/ha) entre sistemas de siembra.



**Figura 9.** Almacenamiento de carbono en la hoja (kg C/ha) entre sistemas.

De acuerdo al carbono almacenado tanto en la raíz, tallo y hoja se observa que el sistema de siembra bajo riego es predominante en cuanto a la biomasa sobre el sistema de siembra en seco.

#### 4.2.2. Rendimiento de biomasa y carbono de la semilla

El rendimiento de semilla entre ambos sistemas tanto en cáscara como en carbono fue estadísticamente significativo, resultando con mayor rendimiento el sistema de siembra bajo riego que el sistema de siembra en seco (Cuadro 17).

**Cuadro 17.** Carbono almacenado (kg/ha) por estrato de la planta a 90 días de evaluación (Promedio  $\pm$  error estándar).

Sistemas de siembra	Arroz en cáscara	Carbono en Semilla
Bajo riego	7,890 $\pm$ 115 <b>a</b>	1,820 $\pm$ 210.6 <b>a</b>
Secano	5,400 $\pm$ 43 <b>b</b>	1,171.40 $\pm$ 43 <b>b</b>

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según prueba de Fisher ( $p \leq 0.05$ ).

#### 4.2.3. Carbono orgánico del suelo (COS)

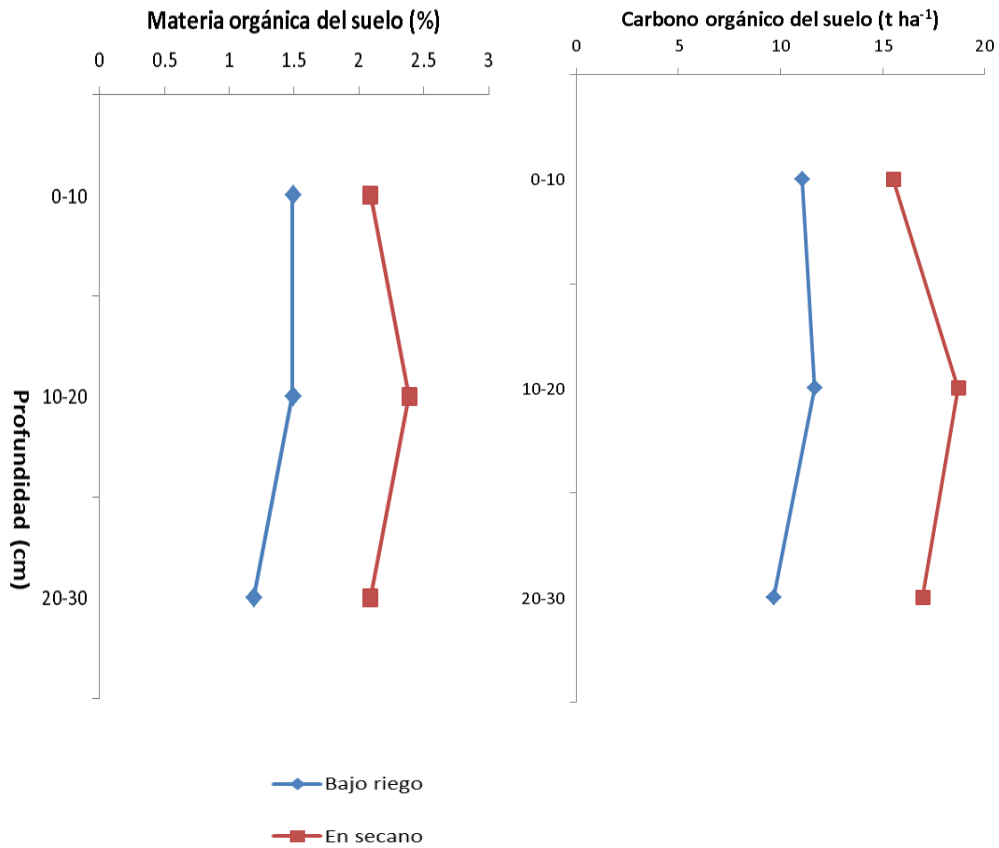
El Cuadro 18 muestra el carbono orgánico del suelo en los tres niveles de evaluación en dos etapas, al inicio y al final del experimento. La Figura 10 muestra el comportamiento de la materia orgánica y COS en ambos sistemas de siembra a distintas profundidades de evaluación.

**Cuadro 18.** Biomasa radicular y carbono radicular por profundidad de horizonte en las pasturas (Media  $\pm$  error estándar).

Profundidad del horizonte (cm)	Sistema	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (tC/Ha)	COS (tC/Ha)
0 - 10	Bajo riego	1.49 $\pm$ 0.30	1.28	11.06 $\pm$ 2.23 <b>a</b>
	En seco	2.09 $\pm$ 0.30	1.28	15.52 $\pm$ 2.23 <b>b</b>
10 - 20	Bajo riego	1.49 $\pm$ 0.30	1.35	11.67 $\pm$ 2.35 <b>a</b>
	En seco	2.39 $\pm$ 0.0	1.35	18.71 $\pm$ 0.0 <b>b</b>
20 - 30	Bajo riego	1.19 $\pm$ 0.0	1.40	9.66 $\pm$ 0.0 <b>a</b>
	En seco	2.09 $\pm$ 0.30	1.40	16.97 $\pm$ 2.44 <b>b</b>
0 - 30	Bajo riego			32.39 $\pm$ 0.12 <b>a</b>
	En seco			51.20 $\pm$ 0.21 <b>b</b>

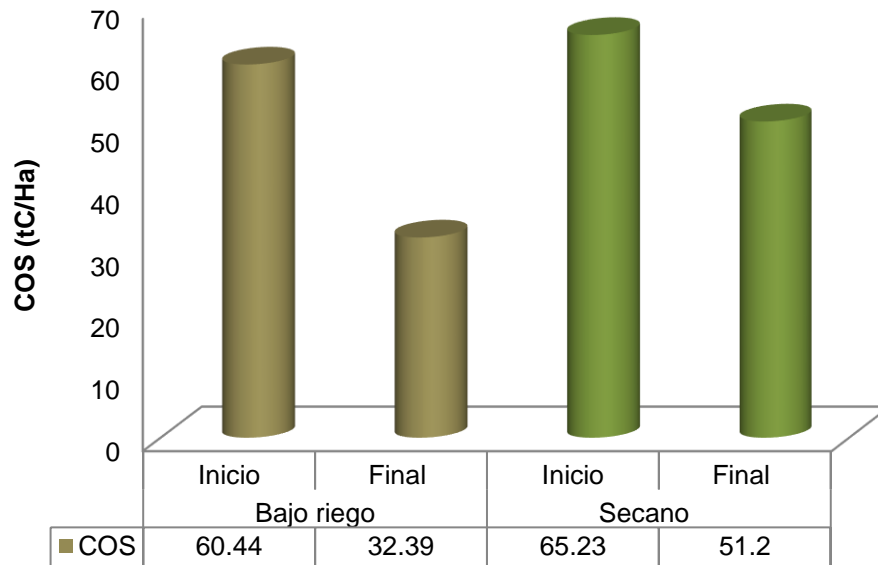
Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Fisher

En el Cuadro 18 y la Figura 10 se muestran que el mayor contenido de materia orgánica y COS se obtienen en el sistema de siembra en seco que el sistema de siembra bajo riego.



**Figura 10.** Materia orgánica (%) a tres profundidades (a); Carbono orgánico (tC/Ha) a tres profundidades (b).

Se realizó un muestreo de carbono orgánico del suelo (tC/Ha) al inicio y al final del experimento, observándose una disminución del carbono en ambos sistemas, resultando con mayor pérdida de carbono el sistema de siembra bajo riego que el sistema de siembra en secano (Figura 11).



**Figura 11.** Contenido de carbono orgánico del suelo (tC/Ha) al inicio y al final del experimento.

#### **4.3. Relación entre el carbono de la biomasa vegetal y del carbono orgánico del suelo de ambos sistemas**

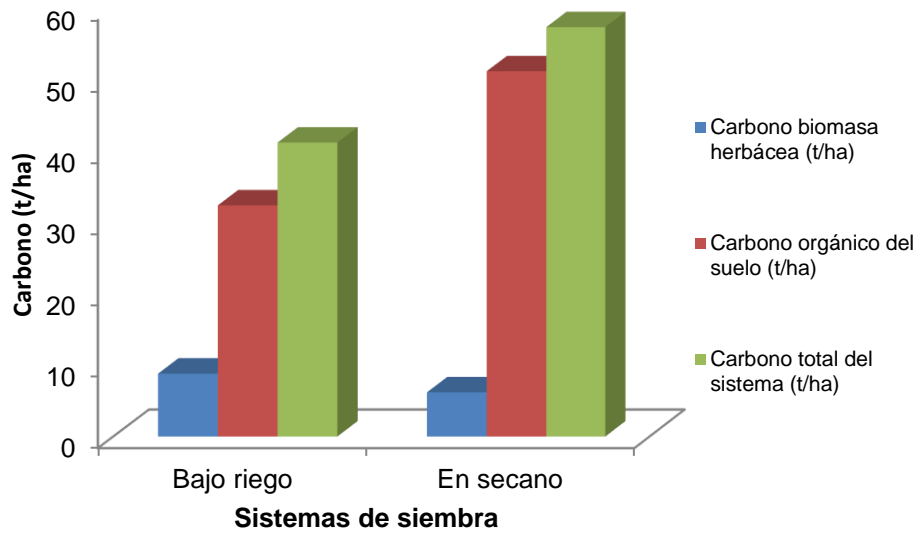
El Cuadro 19 muestra las proporciones porcentuales de carbono de la biomasa herbácea y carbono orgánico del suelo en los dos sistemas de siembra.

**Cuadro 19.** Relación del contenido de carbono de la biomasa herbácea y carbono orgánico del suelo en dos sistemas de siembra de arroz expresado en porcentaje (media  $\pm$  error estándar).

<b>Sistemas</b>	<b>Carbono biomasa herbácea (tC/Ha)</b>	<b>Carbono orgánico del suelo (tC/Ha)</b>	<b>Carbono total del sistema (tC/Ha)</b>
Bajo riego	8.805 $\pm$ 0.76 <b>a</b>	32.39 $\pm$ 0.12 <b>a</b>	41.195 $\pm$ 0.44 <b>a</b>
Porcentaje	<b>21.4 %</b>	<b>78.6 %</b>	<b>100%</b>
En seco	6.193 $\pm$ 0.21 <b>b</b>	51.20 $\pm$ 0.21 <b>b</b>	57.393 $\pm$ 0.21 <b>b</b>
Porcentaje	<b>10.79 %</b>	<b>89.21 %</b>	<b>100%</b>

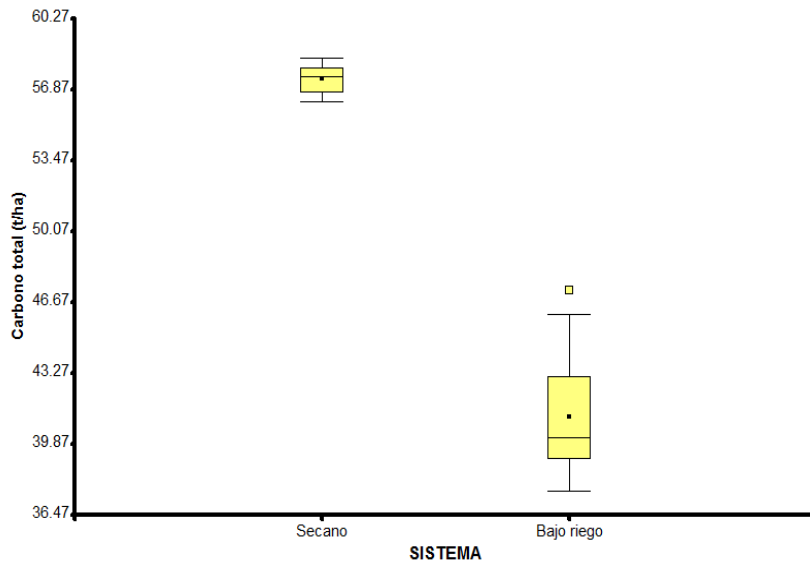
Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Fisher

Como se observa existe una clara evidencia que demuestra que el sistema de siembra en seco almacena mayor carbono total estadísticamente diferenciados que el sistema de siembra bajo riego (57.393 y 41.195 tC/ha respectivamente). Aunque con respecto al carbono de la biomasa herbácea el sistema de siembra bajo riego presenta mayor carbono que el sistema de siembra en seco, esta situación se revierte en el componente del carbono orgánico del suelo, el cual el sistema de siembra en seco almacena alrededor de un 20% más de carbono que el sistema de siembra bajo riego (Figura 12).



**Figura 12.** Proporción por componente del carbono almacenado (tC/ha) por sistema de siembra.

Una gráfica de box plot para demostrar la variabilidad de las observaciones con respecto al carbono total entre sistemas de siembra se detalla en la siguiente figura.



**Figura 13.** Gráficos de distribución para las reservas totales de carbono (tC/ha) entre sistemas de siembra.

## **V. DISCUSIÓN**

### **5.1. Efecto de la densidad en dos sistemas de siembra de cultivo de arroz sobre características agronómicas**

#### **5.1.1. Altura de planta**

La altura lograda de la planta a los 90 días de evaluación no registra diferencias estadísticas entre los sistemas de siembra tanto para el sistema bajo riego como en seco (89.66 y 92.75 cm respectivamente).

La altura de planta, es una característica que a menudo está correlacionada inversamente con el rendimiento de grano en cáscara y su respuesta al nitrógeno en los diferentes genotipos de arroz (ESCURRA, 1996; FAO, 2002; INFOAGRO, 2007). La menor altura de planta y dureza del tallo son cualidades esenciales en cultivares de alto rendimiento ya que minimizan el volcamiento. Este comportamiento se puede atribuir a la influencia ambiental, pues se ha reportado que la altura de planta está influenciada por la profundidad del agua en el arrozal, de modo que un incremento en la lámina de agua provoca un ligero aumento de la altura de las plantas y como consecuencia, una tendencia al volcamiento (HERNÁNDEZ, 1969; CIAT, 1983; RÍOS, 1985).

El método de siembra bajo riego estimula el crecimiento de plantas bajo riego (FASANANDO, 1999), sin embargo similares resultados se obtuvieron en siembras en seco (CUSTODIO, 1980). La materia orgánica del suelo y las condiciones físicas del mismo influyen en el crecimiento de las plantas de arroz, tal como lo menciona INIPA-CIPA (1983).

### **5.1.2. Diámetro de tallo**

Según el Cuadro 7, el mayor diámetro de tallo de las plantas de arroz son las del método de siembra bajo riego con 31,88 mm a la densidad 1, y con la densidad 2 (28,93 mm), mientras que en el cuadro 8 con sistema en seco a una densidad 1 se obtiene el menor diámetro (28,41 mm). Esto se debe a una clara influencia del sistema y la densidad. Similares resultados se lograron en siembras bajo riego a densidades similares (FASANANDO, 1999). Una menor densidad de siembra beneficia mejor a las plantas en la absorción de nutrientes, tal como lo afirman INIPA-CIPA (1983), CIAT (1983), y FAO (2002). El cual se refleja la situación en las plantas de arroz establecidas bajo el sistema de siembra en seco, el cual las densidades utilizadas no influyeron estadísticamente sobre el diámetro, resultando por la materia orgánica presente en este tipo de sistema (CERÓN, 2002).

### **5.1.3. Volumen de raíz**

Con respecto a esta variable definitivamente el sistema de siembra bajo riego favorece directamente en el volumen radicular que la planta desarrolla, por factores como la remoción de tierra antes del embalse y la

permanencia de agua que permite la mayor penetración del sistema radicular de la planta en el suelo, versus el sistema en seco. Diversos autores indican que el medio favorece al desarrollo radicular (INIPA-CIPA, 1983; COLMENARES, 1994; FAO, 2002; INFOAGRO, 2007).

## **5.2. Efecto de la densidad de siembra en dos sistemas de cultivo de arroz sobre el carbono almacenado en la biomasa y en el suelo**

### **5.2.1. Carbono almacenado en la biomasa (kg/ha)**

El Cuadro 15, indica la diferencia estadística entre los sistemas de siembra en cuanto al contenido de carbono almacenado en la biomasa. Resultan altamente significativos los sistemas favoreciendo al sistema de siembra bajo riego que al sistema de siembra en seco. La mayor biomasa lograda se debe a las condiciones favorables de agua y nutrientes que requiere la planta en comparación con el de siembra en seco, donde el agua se restringe a las condiciones atmosféricas. El sistema de siembra bajo riego logra una reserva media de 8.805 t C/ha, mientras que el sistema en seco una media de 6.193 t C/ha. La biomasa herbácea que incluye tanto las raíces, tallos y hojas es favorecida por las condiciones que tiene el sistema bajo riego, tal como lo menciona CIAT (1983) y FASANANDO (1999).

Sin embargo el carbono radicular no presenta diferencias estadísticas entre ambos sistemas (Cuadro 16), a pesar de presentar mayor volumen el sistema bajo riego, esta no logra mantener diferencia estadística.

Con respecto a ello coincide lo planteado por FISHER (2004) que las raíces se expanden pero que la biomasa es constante. Similar argumento indica BÖHM (1979) en su tratado de estudio de raíces en herbáceas.

### **5.2.2. Rendimiento de biomasa y carbono de la semilla**

El rendimiento de biomasa y carbono se basa principalmente en el rendimiento del grano arroz con cascara lograda luego del periodo final del trabajo de investigación. En el Cuadro 17 se describe el rendimiento de arroz en cáscara en ambos sistemas, resultando una mayor biomasa el sistema de siembra bajo riego que el sistema en seco (7,890 y 5400 kg/ha respectivamente). Estos rendimientos se ajustan a los trabajos de CUSTODIO (1980), RÍOS (1985), FASANANDO (1999).

### **5.2.3. Carbono orgánico del suelo (COS)**

Sobre el contenido de carbono orgánico del suelo, el Cuadro 18 detalla los resultados logrados. Se observa que el sistema de siembra en seco logra mayor contenido de materia orgánica en las distintas profundidades evaluadas. La materia orgánica del suelo está directamente relacionada con el contenido del carbono orgánico del suelo. Por ello, los resultados muestran una relación directa del contenido de carbono con el contenido de la materia orgánica, así como la densidad aparente (LAL *et al.*, 1998; FAO, 2002).

La mayor reserva de carbono por lo tanto se encuentra en el sistema con mayor contenido de materia orgánica (AGUINACO, 2008). Resultando para el experimento el sistema de siembra en seco con mayor COS estadísticamente diferenciado del sistema bajo riego. El sistema en seco mantiene la materia orgánica, mientras que el sistema bajo riego convierte a la materia orgánica en metano (IRISARRI y PERDOMO, 2009) y es precisamente el problema ambiental del cultivo en arroz en sistemas bajo riego.

En la Figura 11 se describe la dinámica del COS en los sistemas de siembra antes y al finalizar el experimento. Como puede observarse existe mayor pérdida de COS en el sistema bajo riego (de 60.44 a 32.39 tC /ha) que el sistema de siembra en seco (de 65.23 a 51.2 tC/ha). Este resultado obtiene argumento con lo reportado por NOUCHI y COL (1990) en un estudio de evaluar el mecanismo de conversión del metano en la rizófora del cultivo de arroz, así como PEREYRA (2009) en el trabajo sobre metano en arrozales.

### **5.3. Relación entre el carbono de la biomasa vegetal y del carbono orgánico del suelo de ambos sistemas**

Los resultados que se muestran en el Cuadro 17, explican el proceso dinámico del carbono en estos dos sistemas de siembra de arroz. Por una parte en el sistema de siembra bajo riego, mientras que se obtienen mayor carbono por la biomasa herbácea, se obtienen menor carbono orgánico del suelo por la pérdida de materia orgánica. Caso contrario ocurre en el sistema

de siembra en seco, que por una parte reporta menor carbono de la biomasa herbácea, para el carbono orgánico del suelo obtienen mayor cantidad. Estos resultados son respaldados por BROWN (1997), BARBARÁN (1998), MARTÍNEZ *et al.* (2008). El carbono total de los sistemas en estudio indican que el siste

ma de siembra en seco logra mayor captura de carbono (57.39 t C/ha) que el sistema de siembra bajo riego (41.19 t C/ha), estadísticamente diferenciados.

Por una parte estos resultados netamente ambientales inclinan hacia la orientación del cultivo de arroz hacia el sistema de siembra en seco o de inundaciones temporales tal como lo promueve la FAO (2010). Sin embargo en el análisis económico de rendimiento el cultivo de arroz en el sistema de siembra bajo riego es la que genera mayor producción.

## VI. CONCLUSIONES

1. El sistema de siembra en seco almacena mayor carbono total que el sistema de siembra bajo riego (57.39 y 41.19 tC/ha respectivamente).
2. El sistema de siembra bajo riego logra mejores indicadores agronómicos (altura, diámetro de tallo, volumen radicular) del cultivo a comparación del sistema en seco, sin embargo esta diferencia no es significativa.
3. Mayor rendimiento en arroz en cascara se obtienen en el sistema de siembra bajo riego a comparación del sistema de siembra en seco (50% más de rendimiento).
4. El sistema de siembra bajo riego presenta mayor carbono herbáceo, que el sistema de siembra en seco (8.8 y 6.19 tC/ha respectivamente).
5. El sistema de siembra en seco logra mayor carbono orgánico del suelo que el sistema de siembra bajo riego (51.2 y 32.39 tC/ha respectivamente).
6. La relación porcentual del carbono herbáceo y del suelo es de 21.4 a 78.6 % respectivamente en el sistema bajo riego; mientras que para el sistema en seco es de 6.19 a 89.21 % respectivamente.
7. El sistema de siembra en seco genera mayor servicio ambiental que el sistema de siembra bajo riego con respecto al carbono almacenado por el sistema y reducción de emisión de metano.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Realizar otros trabajos de investigación para cuantificar la cantidad de metano que genera un sistema de siembra bajo riego.
2. Realizar nuevos trabajos sobre las emisiones de carbono en sistemas de siembra con arroz, para establecer parámetros y estándares de captura de carbono en estos sistemas evaluados hasta la soca.
3. Valorar el sistema de siembra en seco, para compensar por servicios ambientales (captura de carbono) en los productores de arroz.

## VIII. RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el Fundo I de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en una terraza baja, con suelos aluviales de formación, ubicado en Tingo María, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco; margen derecha del río Huallaga. El objetivo fue determinar el carbono almacenado por el cultivo de arroz (*O. sativa*) en dos sistemas de siembra seco y bajo riego en Tingo María; las diferencias agronómicas entre los dos sistemas de siembra de arroz; determinar el carbono almacenado en la biomasa vegetal y en el suelo en el rendimiento del cultivo de arroz en dos sistemas de siembra; estimar la relación de carbono de la biomasa y carbono del suelo en ambos sistemas de siembra.

La metodología utilizada para el carbono de la biomasa fue la del ICRAF (RUGNITIZ *et al.*, 2009) y para cada profundidad del suelo se usó la fórmula de BERAÚN (2011), el diseño experimental empleando fue el Diseño de Bloques Completamente al Azar con arreglo factorial 2x2 (2FACTOR A x 2FACTOR B), siendo el factor A: sistema de siembra (dos) y Factor B: densidad de siembra (dos), resultando cuatro tratamientos. Se consideró dos bloques y cuatro repeticiones por tratamiento (CALZADA, 1970).

Analizando los sistemas se encontró que el sistema de siembra en seco almacena mayor carbono total que el sistema de siembra bajo riego (57.39 y 41.19 tC/ha respectivamente), y el sistema de siembra bajo riego logra mejores indicadores agronómicos (altura, diámetro de tallo, volumen radicular) del cultivo a comparación del sistema en seco, sin embargo esta diferencia no es significativa.

El sistema de siembra bajo riego presenta mayor carbono herbáceo, que el sistema de siembra en seco (8.8 y 6.19 tC/ha respectivamente), el sistema de siembra en seco logra mayor carbono orgánico del suelo que el sistema de siembra bajo riego (51.2 y 32.39 tC/ha respectivamente); por lo tanto la relación porcentual del carbono herbáceo y del suelo es de 21.4 a 78.6 % respectivamente en el sistema bajo riego; mientras que para el sistema en seco es de 6.19 a 89.21 % respectivamente.

El sistema de siembra en seco genera mayor servicio ambiental que el sistema de siembra bajo riego con respecto al carbono almacenado por el sistema y reducción de emisión de metano.

## IX. BIBLIOGRAFIA

- ACOSTA, M., ETCHEVERS, J., MONREAL, C., QUEDNOW, K., HIDALGO, C., 2001. Un método para la medición del carbono en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) en sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. En: Gayoso, J., Jandl, R. Memorias Simposio Internacional "Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales". Chile. IUFRO World Series, 13: 9-18.
- AGUINACO, V. 2008. Captura y almacenamiento de dióxido de carbono. [En línea]: [http://academiadeingenieriademexico.mx/archivos/coloquios/6/Captura\\_y\\_Almacenamiento\\_de\\_Dioxido\\_de\\_Carbono.pdf](http://academiadeingenieriademexico.mx/archivos/coloquios/6/Captura_y_Almacenamiento_de_Dioxido_de_Carbono.pdf) (Consultado el 02 julio del 2013).
- ALBRECHT, A., KANDJI, S. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry system. Agriculture, Ecosystem and Environment 99: 1 - 3: 15-27.
- ALEXIS, Z.; FELIX, F. y ANGEL, I. 2004. Emisión y captura de carbono en los suelos en ecosistemas. Consultado el 12 de enero de 2011. En línea: forestales. [En línea]: <http://ecotropicos.saber.ula.ve/articulo2.pdf>, (Consultado el 02 julio del 2013).
- ANDRIANI, J. 2009. Especialista en dinámica del agua, técnico del INTA EEA Oliveros. Impacto del agua de riego sobre las propiedades químicas del suelo. [En línea]: [http://inta.gob.ar/documentos/impacto-del-agua-de-riego-sobre-las-propiedades-quimicas-delsuelo/at\\_multi\\_download/file/impacto-](http://inta.gob.ar/documentos/impacto-del-agua-de-riego-sobre-las-propiedades-quimicas-delsuelo/at_multi_download/file/impacto-)

[agua-de-riego-sobre-propiedadesqu%C3%ADmicas-del-suelo.pdf](#)

(Consultado el 12 de julio del 2013).

ASG, 2011. Como controlar el Metano. Iniciativa Global de Metano. [En línea]: [https://www.globalmethane.org/documents/ag\\_fs\\_spa.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/ag_fs_spa.pdf) (Consultado el 08 julio del 2013).

BARBARÁN, G. 1998. Determinación de biomasa y carbono en los principales sistemas de uso del suelo en la zona de Campo Verde. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa, Ucayali, Perú. Pp. 54-55.

BERAUN, D., 2011. Carbono almacenado en sistemas con pastura natural y pastura mejorada (*B. decumbens*) en el distrito de José Crespo y Castillo. Tesis Ing. Zoot. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Zootecnia. 53 p.

BÓHM, W. 1979. Methods of studying root system. Berlin, GE, Springer Verlag, 179 p.

BRACK, A. 2000. Ecología del Perú. Edit. Bruño. Lima, Perú 500 p.

BRACK, A. 2002. Perú maravilloso. Ed. Empresa Periodística Nacional. Lima, Perú. 456 p.

BRINKMAN, R.; SOMBROEK W. 1996. The effects of global change on soil conditions in relation to plant growth and food production. In F. Bazzaz and W. Sombroek, eds., Global Change and Agricultural Production. Food

and Agricultural Organization of the United Nations and John Wiley & Sons, New York, 345 p.

BROWN, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest. A primer. Roma, IT, FAO. 55 p.

CALZADA, B. J. 1970. Métodos estadísticos para la investigación. 3ra Edición. Editorial Jurídica. Cornell University. 643 p.

COLMENARES, O. 1994. Característica de calidad de la semilla de arroz producida en Portuguesa : ciclos : verano e invierno, 1992. FONAIAP Divulga (Venezuela); 11(45):29-31. [En línea]: <http://www.ceniap.gov.ve/publica/divulga/fd45/texto/caracteristicas.htm> (Consultado el 28 de junio del 2013).

CERÓN, J. 2002. Cultivo de arroz. Editorial UNA. Tingo María-Perú. 20 p.

CIAT. 1983. Sistema de evaluación estándar para arroz. Trad. por Manuel Romero 2da. Ed. Cali, Colombia. 61 p.

CUSTODIO, J. 1980. Estudio en rendimiento de 14 líneas y 2 cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo el sistema de secano en Tulumayo. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 77p.

DE PETRE, A., KARLIN, U., ALI, S., REYNERO, N. 2011. Alternativas de sustentabilidad del bosque nativo del Espinal; Área Captura de Carbono. PIARFON. Argentina. 15 p.

- ESCURRA, P. L. 1996. Cultivo de arroz. Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo. Facultad de Agronomía. Lambayeque Perú. Separata de estudio. 52 p.
- ESPINOZA, Y. 2005. Secuestro de carbono en el suelo. CENIAP Hoy. Venezuela. Pp. 254-260.
- FASANANDO, F. G. 1999. Ensayo comparativo de siete cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) en el sistema bajo riego en Tino María. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. 78 p.
- FAO. 2000. Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO<sub>2</sub>. World Soil Resources Reports 88. Rome. 98 p.
- FAO. 2002. El cultivo de arroz. París, Francia. Roma, Italia. [En línea]: <http://www.fao.org/DOCREP/>, (Consultado el 18 de enero del 2011).
- FAO. 2010. Agricultura “climáticamente inteligente” políticas, prácticas y seguridad alimentaria, adaptación y mitigación. París, Francia. Roma, Italia. 54 p.
- FONDO NACIONAL DEL AMBIENTE (FONAM). 2005. Boletín de CO<sub>2</sub> en comercio. FONAM/CONAM/Embajada de los Países Bajos/. [En línea]: <http://www.fonamperu.org/general/mdl/documentos/guía%20MDL.pdf>, (Consultado el 15 de enero del 2011).

- FISHER, M.,RAO, I.,AYARZA, M.,LASCANO, C.,SANZ,J.,THOMAS, R., VERA, R. 2004. Carbon storage by introduced deep- rooted grasses in the South American Savannas. *Nature*, 371: 236-238.
- GABINETE DE METEOROLOGIA y CLIMATOLOGIA. 2012. Datos climatológicos. Gabinete de meteorología y climatología José Abelardo Quiñones. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- GAYOSO, J. y SCHLEGEL, B., 2001. Guía para La formulación de proyecto forestal de carbono. Valdivia-Chile, UACH.
- GONZÁLES, F. 2010. Manual Técnico Cultivo de arroz en el Perú. Biblioteca digital Facultad de Agronomía. UNAS. Tingo María Perú. 16 p.
- HERNÁNDEZ, L. J. 1969 Desarrollo y fisiología de la planta de arroz. Lambayeque. PNA. Pp. 29 - 36.
- HOLDRIDGE, L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. 3 ed. San José, Costa Rica. Servicio Editorial IICA. 216 p.
- INIPA - CIPA. 1983. Manual técnico. Curso de arroz y leguminosa de granos. N° 19. 507 p.
- IPCC. 2000. Land use, change and forestry. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido. Intergovernmental panel on climate change (IPCC) [En línea]: <http://www.eia.doe.gov/emeu/iea/carbon> (Consultado el 14 Octubre del 2009).

- IPCC. 2003. Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-Induced Degradation of Forests and DE vegetation of Other Vegetation Types Penman, J. y Colaboradores. The Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Pp. 472-478.
- IPCC. 2007. Intergovernment panel on climate change. Cambio Climático 2007: Informe de Síntesis. [En línea]: [http:// www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf) (Consultado el 14 Octubre del 2009).
- INFOAGRO. 2007. El cultivo de arroz. Consultado el 15 de enero del 2013. [En línea]: <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/arroz.htm> Consultado el 28 de junio del 2013).
- IRISARRI P., PERDOMO C. 2009. Emisiones de gases con efecto invernadero por suelos agrícolas. En: Emisiones de metano y óxido nitroso: principales gases de efecto invernadero producidos por el sector agropecuario en Uruguay. Facultad de Agronomía, Pp. 1-29.
- LAL, R., KIMBLE K., FOLLETT R.1998. Paedospheric processes and the carbon cycle. In Lal, R; Kimble, KM; Follett,RF; Stewart, BA. eds. Soil process- sand the carbon cycle. Estados Unidos, CRC Press. Pp. 1-8.
- MACDIKEN, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry Projects. Arlington, VA, US, Winrock International. 87 p.
- MAPA DE DEFORESTACIÓN DE LA AMAZONÍA PERUANA. 2009. Ministerio del Ambiente. Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales

para manejar el impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire. 20 p.

MARTÍNEZ, E., FUENTES, P., ACEVEDO, E. 2008. Carbono Orgánico y Propiedades del Suelo. Scielo 8(1):68-96. [En línea]: <http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06.pdf> (0 Consultado el 1 octubre del 2011).

MINAM. 2009. Identificación de Metodologías existentes para determinar stock de carbono en ecosistemas forestales. Segunda Comunicación Nacional del Perú a la CMNUCC. 22 p. [En línea]: [http://redpeia.minam.gob.pe/admin/files/item/4d77f55b028f2\\_Metodologias\\_para\\_Stock\\_de\\_Carbono.pdf](http://redpeia.minam.gob.pe/admin/files/item/4d77f55b028f2_Metodologias_para_Stock_de_Carbono.pdf) (Consultado el 02 de febrero del 2014).

MIRANDA, C. 2009. Tecnología de manejo de cultivo de arroz. Sistemas y épocas de siembra. Impresión UEA, Tingo María, Perú. p. 3-4.

NOUCHI, M., COL R. 1990. Mechanism of methane transport from the rhizosphere to atmosphere through rice plants. Plant Physiology p. 94:59-66.

PEREYRA V. 2009. Emisiones de metano y óxido nitroso en arrozales de la zona este del Uruguay: el manejo de cultivo como factor determinante. Pasantía de grado de la Licenciatura en Ciencias Biológicas. Profundización en Biotecnología. U de la R. Facultad de Agronomía p. 33-55.

- PORTAL DEL CAMBIO CLIMATICO (PCC), 2009. Datos sobre el Cambio Climático en el Perú. MINAM, [En línea]: <http://cambioclimatico.minam.gob.pe/que-podemos-hacer/datos-sobre-el-cambio-climatico/> (Consultado el 06 de Setiembre del 2014)
- RÍOS, P. 1985. Ensayo uniforme de rendimiento de 17 líneas y 4 cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo riego en Tulumayo. Tesis Ing. Agr. Universidad Nac. Agraria de la Selva Tingo María. 86 p.
- ROBERT, M. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Institut national de recherche agronomique París, Francia. 61 p. [En línea]: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr96s.pdf> (Consultado el 18 de enero del 2014).
- RÜGNITZ, M.; CHACÓN, M.; PORRO, R. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima, Perú. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/ Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). 79 p.
- SALAZAR, E.; TREJO, H.I.; LÓPEZ, J.D.; VÁZQUEZ, C.; SERRATO, J.S.; ORONA, I. y FLORES, J.P. 2010. Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo. Terra Latinoamericana, 28(4): 381-390.
- SALISBURI, F.B. 1999. Fisiología vegetal. Editorial Iberoamericana. México. 759 p.

SEGURA, M. 1997. Almacenamiento y fijación en *Quercus costaricensis*, en un bosque de altura en la cordillera de la salamanca, Costa Rica. Tesis Lic. Cs. For International Forestry Research. Indonesia. Pp. 13-36.

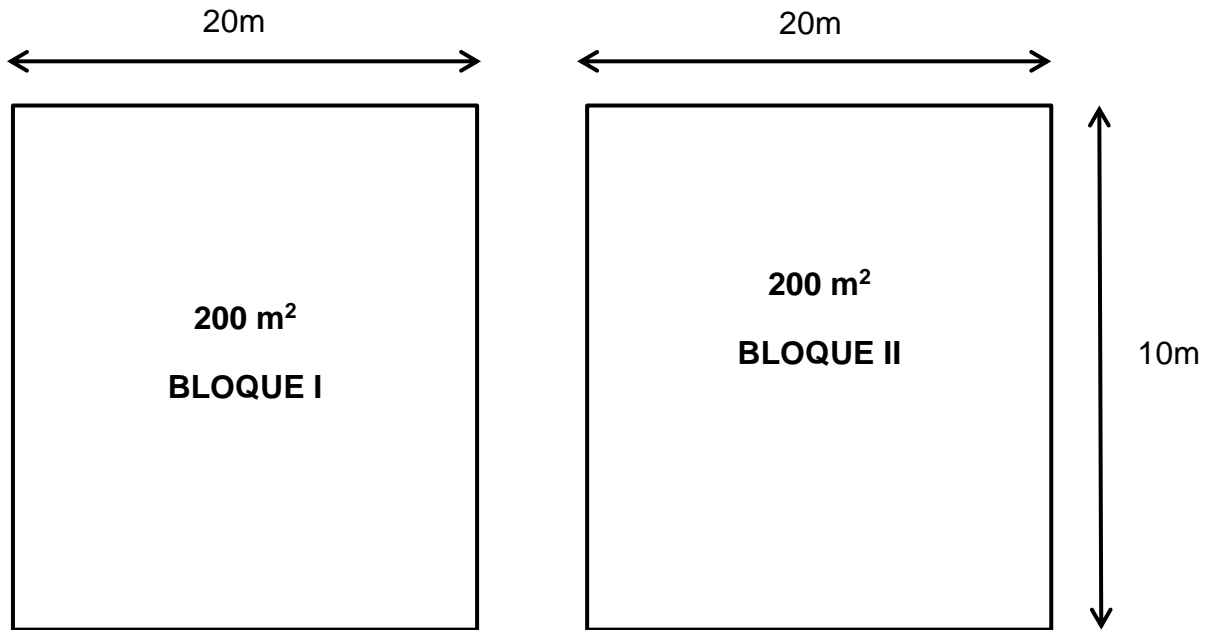
WALKLEY, A. y BLACK, C.A. 1938. An examination of the Degtajareff's method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.

**X. ANEXOS**

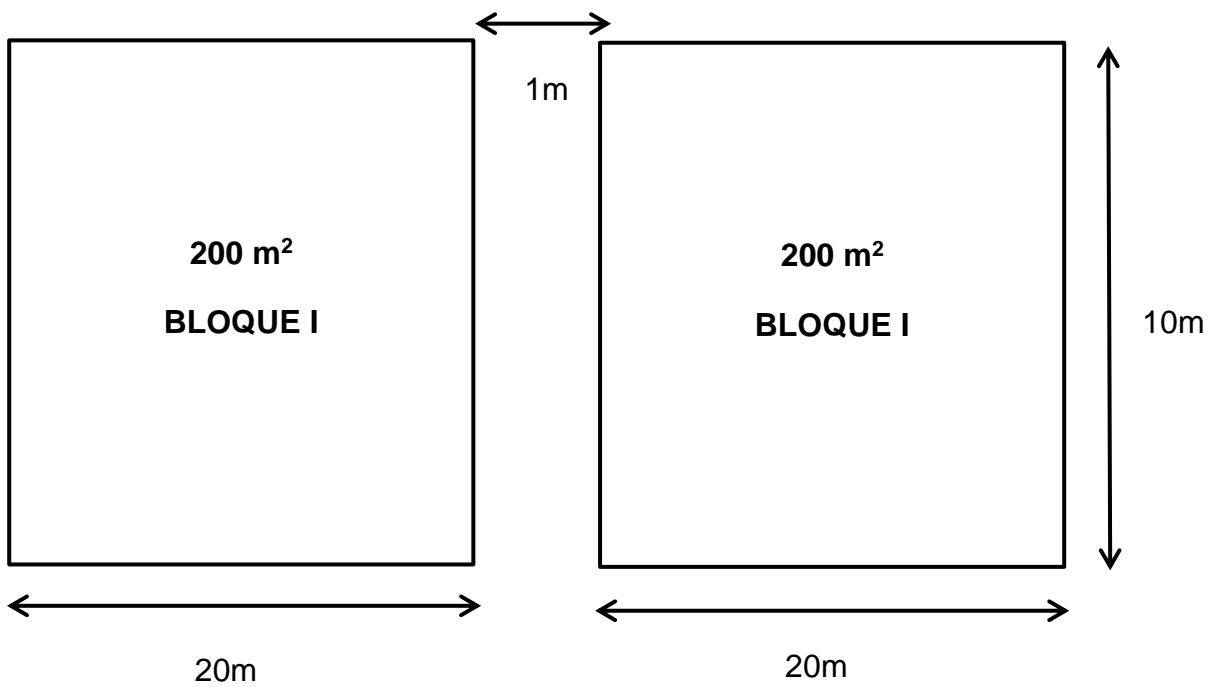
**Anexo A. Características del campo experimental**

- **Croquis del experimento**

- Parcela de secano favorecido área total = 400 m<sup>2</sup>.



- Parcela bajo riesgo área total = 400 m<sup>2</sup>



**Anexo B. Panel Fotográfico**



**Figura 14.** Cultivos de arroz en seco y bajo riego.



**Figura 15.** Delimitación de la parcela.



**Figura 16.** Delimitación de profundidades del suelo evaluadas.



**Figura 17.** Recolección de muestras.



**Figura 18.** Análisis de las muestras en el laboratorio.