

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**  
**Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria**  
**Ingeniería Agronómica**



Proyecto Especial de Graduación  
**Efecto de la densidad de siembra y cobertura del suelo con residuos de  
maíz en el crecimiento y desarrollo del cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*)  
en asocio indirecto con tilapia (*Oreochromis sp.*) en la Escuela Agrícola  
Panamericana Zamorano, Honduras**

Estudiante

Fabian Alexander Morocho Cabrera

Asesores

Renan Pineda, Ph.D.

Patricio E. Paz, Ph.D.

Honduras, noviembre 2024

**Autoridades**

**SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO**

Rector

**ANA M. MAIER ACOSTA**

Vicepresidenta y Decana Académica

**CELIA O. TREJO RAMOS**

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

**JULIO NAVARRO**

Secretario General

## Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras .....	6
Índice de Anexos.....	8
Resumen .....	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
Materiales y Métodos .....	14
Localización .....	14
Establecimiento del Experimento .....	14
Tratamientos.....	15
Factor 1 Densidad .....	15
Factor 2 Cobertura .....	16
Manejo de Arvenses con Uso de Rastrojo .....	18
Análisis Estadístico .....	18
Actividades Agronómicas.....	18
Preparación del Suelo .....	18
Establecimiento del Vivero para Trasplante de Plántulas de Arroz.....	19
Trasplante de Arroz del Vivero al Área Experimental.....	19
Herbicidas Aplicados.....	20
Fertilización del Arroz .....	20
Medición de Variables Fisiológicas .....	20
Altura de Planta .....	20
Macollamiento .....	21
Clorofila.....	22

VARIABLES DE RENDIMIENTO.....	23
Tamaño de la Panoja.....	23
Peso de la Panoja .....	23
Peso Final de la Semilla (Pf) .....	25
Índice de Cosecha (IC).....	25
Diseño del Canal Revestido para la Tilapia .....	26
Uso del Agua Proveniente del Estanque de la Tilapia.....	27
Resultados y Discusión.....	28
Conclusiones .....	42
Recomendaciones.....	43
Referencias.....	44
Anexos.....	48

### Índice de Cuadros

Cuadro 1 Codificación de los tratamientos utilizados en el experimento de arroz y tilapia, Zamorano, Honduras.....	17
Cuadro 2 Tabla de significancia encontrada en los ANOVAS para las variables fisiológicas y de rendimiento del cultivo de arroz ( <i>Oryza sativa</i> L.): Arvenses, Macollamiento, Porcentaje de clorofila, Altura de planta, Biomasa y Peso de panoja ( $p < 0.05$ ) en el lote 10 de zona dos, Zamorano, Honduras. ....	29
Cuadro 3 Numero de arvenses y especies encontradas en las parcelas de arroz con 0% y 100% de cobertura de rastrojos en el lote 10 de zona dos, Zamorano, Honduras .....	31

## Índice de Figuras

Figura 1 División del lote en parcelas previas a la siembra (A) y después de la siembra de arroz (B) en el lote 10 de zona dos, Zamorano, Honduras .....	14
Figura 2 Diseño y distribución propuestos de las parcelas experimentales, canales de riego y repeticiones o bloques para el experimento de densidad y cobertura del cultivo de arroz en asocio indirecto con tilapia, Zamorano, Honduras. ....	16
Figura 3 Aleatorización de diferentes porcentajes de coberturas de maiz, en campo de arroz, en el lote 10 de zona dos, Zamorano, Honduras.....	16
Figura 4 Establecimiento del semillero (A) y etapa de germinación (B) del cultivo de arroz en el lote 10 de zona dos, Zamorano, Honduras .....	19
Figura 5 Altura de planta de arroz en etapa de floración del cultivo del arroz en el lote 10 de zona dos, Zamorano, Honduras .....	21
Figura 6 Conteo de número de macollas de arroz (unidades productivas) en un metro lineal, lote 10 de zona dos, Zamorano, Honduras .....	22
Figura 7 Medidor de clorofila APOGEE CCI-100 METER.....	23
Figura 8 Medición de largo y ancho de la panoja, cm (A y B) y pesado del total de panojas g (C) de arroz, en el lote 10 de zona dos, Zamorano, Honduras.....	24
Figura 9 Proceso de excavación y preparación de canales (A), revestimiento del canal y llenado de agua (B), siembra de tilapias según la densidad por m <sup>2</sup> designada (C) en el lote 10 de zona dos, Zamorano, Honduras.....	27
Figura 10 Efecto de la densidad (A) cobertura (B) en el número de arvenses encontradas en las parcelas experimentales de arroz, Variedad Dicta Honduras, bajo las condiciones del valle del Yeguaré, Zamorano, Honduras .....	30
Figura 11 Efecto de la cobertura (B) y densidad de siembra (A) en el macollamiento del cultivo de arroz, variedad Dicta Honduras en el Valle del Yeguaré, Zamorano, Honduras.....	34

Figura 12 Efecto de la densidad de siembra y de cobertura del suelo en el porcentaje de clorofila del cultivo de arroz, Variedad Dicta Honduras, en el Valle del Yeguaré, Zamorano, Honduras .....	35
Figura 13 Efecto de la densidad de siembra y cobertura del suelo del arroz en la altura de las plantas del cultivo de arroz, Variedad Dicta honduras, Valle del Yeguaré, Zamorano, Honduras.....	39
Figura 14 Efecto de la densidad de siembra y uso de cobertura en la biomasa total del cultivo de arroz, Variedad Dicta Honduras en el Valle del Yeguaré, Zamorano, Honduras .....	39
Figura 15 Efecto de la densidad de siembra en el peso de la panoja del cultivo de arroz Variedad Dicta Honduras bajo las condiciones del Valle del Yeguaré, Zamorano, Honduras.....	40

**Índice de Anexos**

Anexo A Distribución y nivelación de bloques.....	55
Anexo B Motor a combustión John Deere de 80 HP.....	56
Anexo C Cosecha de tilapia .....	50

## Resumen

El cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*) es el tercer cereal más importante a nivel mundial y vital para la seguridad alimentaria en Honduras. El Sistema Intensivo del Cultivo de Arroz (SICA) implementa prácticas como riego intermitente, trasplante de plántulas jóvenes y adecuado espaciamiento entre plantas, con el objetivo de optimizar recursos y aumentar la productividad. En este estudio se evaluó el efecto de dos factores importantes en la producción, densidad y cobertura del suelo con residuos de maíz. Para ello se utilizó la variedad de arroz Dicta Honduras a una densidad de 83,333 y 200,000 plantas por hectárea, en parcelas con y sin cobertura de residuos. Mediante el uso de un diseño de bloques completos al azar (BCA). Se analizó el efecto en el porcentaje de clorofila, altura de planta, biomasa, número de arvenses, macollamiento y peso de la panoja del arroz. Los resultados evidencian efectos simples e interacción en todas las variables estudiadas resaltando efectos simples de la densidad menor en arvenses, porcentaje de clorofila y peso de la panoja. La cobertura no tuvo efectos independientes en el rendimiento, pero si en arvenses y biomasa total. El agua usada en arroz, proveniente de canales revestidos, fue también utilizada por tilapias mantenidas en los canales. El uso eficiente del agua en arroz y la tierra y agua en tilapia han sido retos que pueden ser afrontados tomando en cuenta los resultados de esta investigación.

*Palabras clave:* Arroz, cobertura, densidad y sistema intensificado de cultivo.

### **Abstract**

The cultivation of rice (*Oryza sativa L.*) is the third most important cereal globally and vital for food security in Honduras. The Intensive Rice Cultivation System (SICA) implements practices such as intermittent irrigation, transplanting young seedlings, and appropriate plant spacing to optimize resources and increase productivity. This study evaluated the effect of two important production factors: plant density and soil cover with corn residues. The Dicta Honduras rice variety was used at densities of 83,333 and 200,000 plants per hectare in plots with and without residue cover, following a randomized complete block design (RCBD). The effects on chlorophyll percentage, plant height, biomass, weed count, tillering, and panicle weight were analyzed. The results highlight both simple and interactive effects across all variables studied, with notable simple effects of lower density on weeds, chlorophyll percentage, and panicle weight. Residue cover showed no independent effects on yield but did influence weed presence and total biomass. Water used in rice cultivation, sourced from lined channels, was also used for tilapia kept in these. Efficient use of water in rice cultivation and land and water in tilapia have been challenges that can be addressed in light of the findings of this research.

*Keywords:* Coverage, density, intensive cultivation system and Rice

## Introducción

El arroz es fundamental para la seguridad alimentaria, siendo el alimento básico de más de la mitad de la población mundial y el tercer cereal más importante (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2024). La investigación en este cultivo se ha enfocado en mejorar su resistencia a plagas, enfermedades y climas extremos para aumentar la productividad y asegurar su sostenibilidad ante el cambio climático y la creciente demanda (Lombeida et al., 2022).

En Honduras, el cultivo de arroz es esencial para la alimentación y economía, proporcionando calorías y nutrientes diarios a la población (Zhao et al., 2020). La producción nacional en 2022 fue inferior a 80 mil toneladas, lejos de las 450 mil necesarias para cubrir el consumo interno (Instituto Nacional de Estadísticas [INE], 2024), destinado casi en su totalidad al consumo humano. Según el INE (2020), el consumo per cápita fue de 11-14 kg anuales, y el país busca aumentar la producción para satisfacer la demanda y generar empleo rural.

La producción de un kilogramo de arroz requiere entre 2,500 y 5,000 litros de agua bajo inundación, dependiendo del sistema de cultivo, clima y manejo agrícola (Rao et al., 2017). Factores como el clima, la disponibilidad de agua y los recursos tecnológicos afectan los rendimientos (Chandio et al., 2022). Además, el uso intensivo de fertilizantes y pesticidas puede contaminar suelos y cuerpos de agua, perjudicando la calidad del agua y la biodiversidad (Zaw et al., 2018).

El uso eficiente de la tierra en el cultivo de arroz es clave para una agricultura sostenible, pues aumenta la productividad sin expandir áreas de cultivo, protegiendo ecosistemas y reduciendo la deforestación (Norhashila et al., 2023). Prácticas como la rotación de cultivos y tecnologías de precisión mejoran la salud del suelo y reducen la dependencia de químicos (Chauhan et al., 2017). También se han investigado formas de optimizar el uso del agua y reducir la cantidad de semilla en la siembra (Rao et al., 2017).

El Sistema Intensificado de Cultivo de Arroz (SICA), desarrollado en Madagascar en la década de 1980 por el sacerdote jesuita Henri de Laulanié (Religión en Libertad, 2021), promueve prácticas

como el riego intermitente, el trasplante de plántulas jóvenes y un espaciamento adecuado de las plantas para optimizar el uso de recursos (Valdiviezo et al., 2023). Utiliza densidades de siembra más bajas, lo que permite un mejor desarrollo de raíces y macollas y reduce la competencia por luz, agua y nutrientes, haciendo más eficiente el uso de fertilizantes y semillas, y mejorando la rentabilidad del cultivo (Villeda, 2022). Al implementar el riego intermitente, el campo se seca entre riegos, lo cual minimiza la evaporación y el desperdicio de agua por filtración, promoviendo un desarrollo óptimo de las raíces y mejorando la estructura y capacidad de retención de agua del suelo (Martin et al., 2010).

La principal problemática de arvenses en el cultivo de arroz es su rápida propagación y competencia por recursos clave como agua, luz y nutrientes, impactando el rendimiento del cultivo (Antralina et al., 2015). El control de arvenses en arroz es difícil por su adaptación a condiciones similares al cultivo, presentar especies morfológicamente muy similares, resistencia a herbicidas y dificultad para detectarlas en etapas tempranas. El uso excesivo de herbicidas también puede generar mayor resistencia, complicando su manejo (Pervaiz et al., 2024).

El uso de coberturas o rastrojos vegetales ha sido investigado por sus ventajas en el manejo de arvenses (Guamán et al., 2023; Ortega y Alvarado, 2005). Estudios como los realizados por Ortega y Alvarado (2005) sobre la emergencia de arvenses bajo cobertura de rastrojos han demostrado que diferentes cantidades de rastrojos de arroz afectan de manera significativa la germinación y emergencia de las arvenses más comunes en el agroecosistema arrocero.

Las coberturas actúan como una barrera natural contra las arvenses, reduciendo su crecimiento y competencia por nutrientes, agua y luz (Kaiira et al., 2019). Esto disminuye la necesidad de herbicidas químicos, favoreciendo un entorno más saludable para los agricultores y el ecosistema. Además, las coberturas vegetales mejoran la estructura del suelo, aumentan su capacidad de retención de agua, aportan materia orgánica y además proporciona hábitats para mejorar la biodiversidad de enemigos naturales en los campos de arroz (Guamán et al., 2023). Estos resultados

destacan la influencia de la cobertura de rastrojos en el control de arvenses, reduciendo su proliferación y competencia con el cultivo.

La tilapia roja (*Oreochromis sp.*) un híbrido mejorado a partir de cuatro especies de *Oreochromis* originaria de África, ha sido exitosamente introducida en varios países gracias a su buena adaptación y alta aceptación tanto por productores como por consumidores (Méndez et al., 2018). En este contexto, el sistema de «cultivo arroz-peces» que consiste en la producción conjunta de arroz y peces en el mismo terreno y al mismo tiempo, también incluye, la alternancia de ambos cultivos en el mismo campo o su cultivo simultáneo en áreas separadas, compartiendo el mismo recurso hídrico (Halwart y Gupta, 2006). Iniciativas como la que realizó el proyecto Fish in the Fields (Sustainable Agriculture Research & Education, 2024) en el mundo, han invertido grandes esfuerzos en evidenciar las ventajas de integrar la producción de peces con el cultivo de arroz, el impacto en el uso eficiente de recursos naturales y su aporte en la economía y seguridad alimentaria de los productores.

La producción de tilapia es vital para pequeños productores rurales de Honduras, brindándoles ingresos sostenibles, una fuente rica en proteínas y promoviendo el desarrollo económico local (Carranza y Aceituno, 2019).

El uso de aguas ricas en nutrientes de piscinas de tilapia beneficia el riego agrícola, aportando calcio (29%), sodio (19.2%), magnesio (11.4%) y potasio (1.3%), además de un pH favorable de 7.7 (Correa et al., 2021). Esto puede mejorar la producción y reducir la necesidad de fertilizantes químicos, disminuyendo el impacto ambiental. Sin embargo, hay poca investigación sobre el uso de estas aguas en el riego de parcelas de arroz por inundación o en sistemas SICA.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes densidades poblacionales de siembra, con dos niveles de cobertura del suelo con rastrojos de maíz en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo del arroz en asocio indirecto con tilapia.

## Materiales y Métodos

### Localización

Este estudio se llevó a cabo en el lote 10 de Zona II de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicada a 30 km de Tegucigalpa Valle del Yeguaré, Francisco Morazán, Honduras, Su georeferenciación lo sitúa en las coordenadas 14°00'22.68" N, 86°59'45.20" W, a una altitud de 800 msnm. La precipitación promedio anual es de 1,100 mm y una temperatura media de 24 °C. Este estudio se desarrolló desde 10 de abril al 5 de octubre del 2024.

### Establecimiento del Experimento

Para el establecimiento de este estudio se usó un diseño de bloques completamente al azar (BCA) con un arreglo de parcelas divididas. La parcela principal correspondió al uso de dos diferentes densidades de siembra, mientras que las parcelas secundarias o subparcelas coberturas del suelo o aplicación de rastrojos. Antes de la aleatorización, el lote se dividió en 12 parcelas para evaluar las dos densidades bajo el sistema SICA (Figura 1). Estas parcelas fueron separadas por calles de 0.50 m, permitiendo la distribución de 4 tratamientos, con 3 bloques o réplicas cada uno. Cada bloque tuvo un área de 36 m<sup>2</sup>, resultando en un total de 12 parcelas experimentales (Figura 1).

### Figura 1

*División del lote en parcelas previas a la siembra (A) y después de la siembra de arroz (B) en el lote 10 de zona dos, Zamorano, Honduras*



*Nota.* Se observa el lote previo a la siembra, con la distribución espacial para los tratamientos (A). Unidades experimentales luego del trasplante (B)

En este experimento se utilizó la variedad DICTA FL Honduras. Según Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (2019), esta variedad alcanza una altura de entre 120 y 125 cm, florece 90 días después de la siembra (DDS) y se cosecha entre los 125 y 135 DDS, obteniendo un rendimiento de 8.44 toneladas métricas por hectárea. El requerimiento de semilla para esta variedad depende del sistema de siembra: Mecanizada: 57.43 kg/ha; Al voleo: 115.54 kg/ha; Trasplante: 11.39 kg/ha, este último fue el sistema usado.

Para el desarrollo del proyecto, se utilizó un área aproximada de 696 m<sup>2</sup>. La construcción comenzó con la nivelación superficial del terreno, realizada con la ayuda de una retroexcavadora. Posteriormente, se procedió a la excavación del canal destinado a la producción de tilapia. Este canal, excavado alrededor de toda el área de trabajo, tuvo una profundidad de 1 metro y un ancho de 1 metro. Una vez concluida la excavación, se procedió a la delimitación de los bloques experimentales, que sumaron un total de 12. Cada bloque abarcaba un área de 36 m<sup>2</sup>, separados entre sí por muros de tierra con una altura máxima de 0.30 m y un ancho de 0.50 m. El canal fue revestido con aproximadamente 140 metros de plástico negro. Para la distribución de las densidades, se realizó una división central: 6 de los bloques experimentales se asignaron a una densidad (D1) y los otros 6 a una segunda densidad (D2). Además, para aplicar coberturas, se cubrió aleatoriamente con rastrojo de maíz al 100% de la superficie en la mitad de los bloques de cada densidad (Figura 2). En la Figura 3 se observa el uso de cobertura usando una misma densidad de siembra (D1).

### **Tratamientos**

Los tratamientos del estudio se distribuyeron en los factores densidad y cobertura que serán explicados a continuación.

#### ***Factor 1 Densidad***

Se evaluaron dos densidades de siembra:

Densidad 1: 200,000 plantas/ha, con distanciamiento de 50 cm entre surco x 10 cm entre planta (D1).

Densidad 2: 83,333 plantas/ha, con distanciamiento de 40 cm entre surco x 30 cm entre planta (D2).

### **Factor 2 Cobertura**

Se evaluaron dos porcentajes de cobertura de rastrojo de maíz:

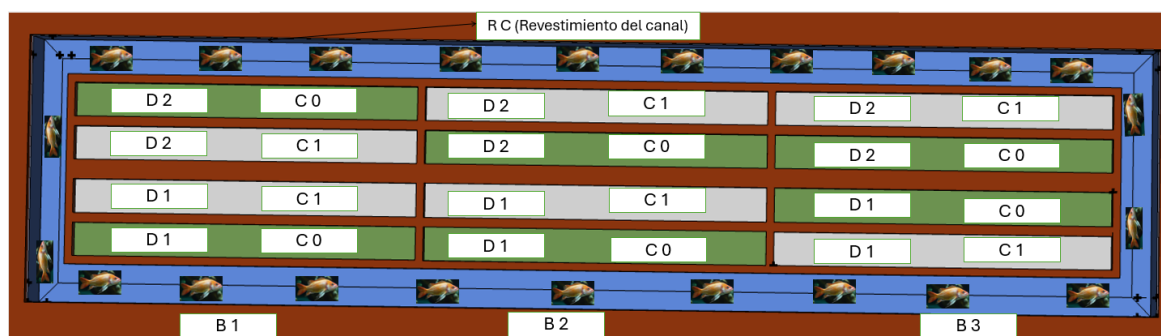
Cobertura con rastrojo (100%) (C1).

Cobertura sin rastrojo (0%) (C0).

### **Figura 2**

*Diseño y distribución de las parcelas experimentales, canales de riego y repeticiones o bloques para el experimento de densidad y cobertura del cultivo de arroz en asocio indirecto con tilapia,*

*Zamorano, Honduras*



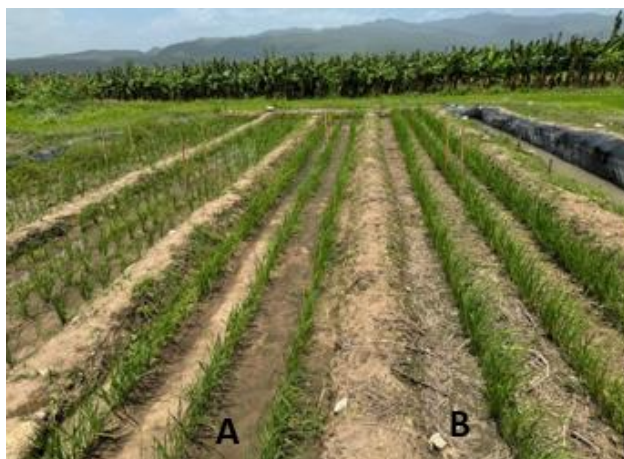
*Nota.* imagen diseñada por los autores para mostrar la distribución espacial de los tratamientos. (D1): densidad de 200,000 plantas/ha;

(D2): densidad de 83,333 plantas/ha; (C1): aplicación de rastrojo al 100%; (C2): aplicación sin rastrojo (0%).

En la Figura 3 se observa el uso de cobertura usando una misma densidad de siembra (D1).

**Figura 3**

*Aleatorización de diferentes porcentajes de coberturas de maíz, en campo de arroz, en el lote 10 de zona dos, Zamorano, Honduras*



*Nota.* En la figura se observa (A) la distribución en la D1 y C0 y la distribución (B) con la D1 y C1

El Cuadro 1 presenta la codificación utilizada para clasificar los tratamientos aplicados. En este se detallan el tratamiento específico, la densidad de siembra empleada (plantas/ha), la presencia o ausencia de cobertura (%), y la correspondiente codificación asignada a cada tratamiento. Esta codificación permite una identificación clara y rápida de las combinaciones de variables utilizadas.

**Cuadro 1**

*Codificación de los tratamientos utilizados en el experimento de arroz y tilapia, Zamorano, Honduras*

Tratamiento	Densidad (Plantas/ha)	Cobertura	Codificación del tratamiento
1	200,000	100%	D1C1
2	200,000	0%	D1C0
3	83,333	100%	D2C1
4	83,333	0%	D2C0

Cada tratamiento contó con tres repeticiones o bloques, resultando en un total de 12 parcelas experimentales, los tratamientos densidad por cobertura fueron aleatorizadas para asegurar que cada bloque contuviera los cuatro tratamientos asignados. La primera densidad de siembra se estableció con 50 cm entre surcos y 10 cm entre plantas, mientras que la segunda densidad se estableció con 40 cm entre surcos y 30 cm entre plantas.

### **Manejo de Arvenses con Uso de Rastrojo**

Se utilizó rastrojo de maíz proveniente de cultivos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, debido a su fácil disponibilidad tanto en esta institución como en la mayoría de las zonas productoras de Honduras. Este material no recibió ningún tratamiento previo antes de su uso como cobertura en las unidades experimentales. El principal objetivo de la cobertura fue controlar las arvenses en el cultivo de arroz. El manejo de coberturas es considerado un manejo cultural y preventivo de arvenses. Se asignaron dos tratamientos distintos en las unidades experimentales: (1) 0% de cobertura con rastrojo y (2) 100% de cobertura con rastrojo.

Para medir la población de arvenses, se realizó una evaluación cuantitativa en cada una de las unidades experimentales. Utilizando un área de referencia de 1 m<sup>2</sup>, se registraron dos mediciones en cada unidad, las cuales se tomaron a los 60 días después del trasplante. En cada metro cuadrado, se contabilizó el número total de arvenses presentes, clasificándolos por especie. Finalmente, se calcula la proporción de arvenses de hoja angosta (gramíneas), hoja ancha y Cyperaceae.

### **Análisis Estadístico**

Para llevar a cabo el análisis estadístico, se utilizó el software JMP<sup>®</sup> en su versión 18.0.1 Pro, se realizó la separación de medias por medio de prueba de normalidad mediante la prueba de Shapiro Wilk considerando una probabilidad para todos los análisis < 0.05.

### **Actividades Agronómicas**

#### ***Preparación del Suelo***

El proyecto se llevó a cabo en el lote 10 de la zona 2 de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, un terreno previamente utilizado por la Unidad de Granos y Semillas para investigación en arroz. El área total destinada al proyecto es de 696 m<sup>2</sup>, subdividida en doce parcelas de 36 m<sup>2</sup> cada una. Esta área incluye un estanque perimetral de un metro de ancho y un metro de profundidad que rodea las parcelas del estudio. El terreno fue nivelado con maquinaria pesada, específicamente una retroexcavadora, para prevenir zonas de encharcamiento y asegurar una lámina de agua uniforme.

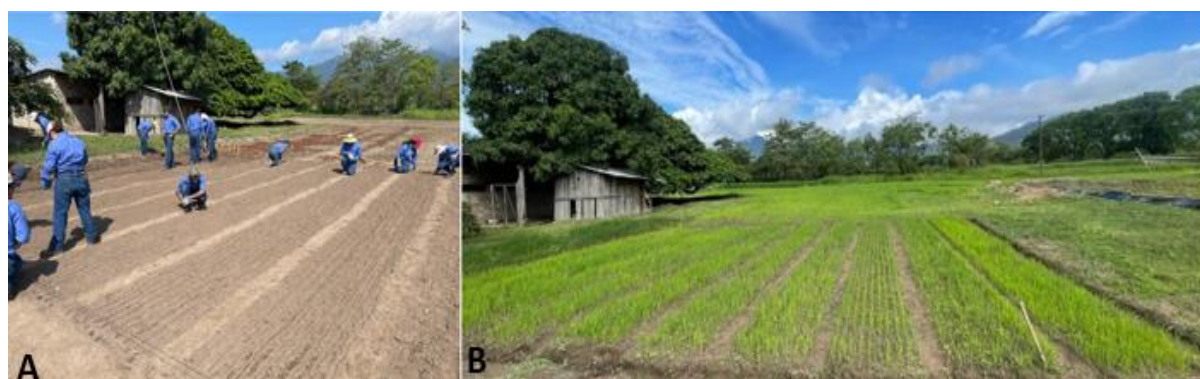
Además, para garantizar una mayor uniformidad del agua, se realizó una segunda nivelación manual antes del trasplante, utilizando herramientas de campo e introduciendo agua para verificar y corregir posibles desniveles, asegurando así una nivelación óptima.

#### ***Establecimiento del Vivero para Trasplante de Plántulas de Arroz***

Se prepararon manualmente un total de siete camas con una separación de 15 cm entre cada una (Figura 4). El propósito de estas camas fue producir el material (plántulas) necesario para el trasplante a las parcelas, siguiendo las densidades previamente establecidas. El trasplante de las plántulas de arroz, obtenidas del vivero se realizó 20 días después de la siembra.

#### **Figura 4**

*Establecimiento del semillero (A) y etapa de germinación (B) del cultivo de arroz en el lote 10 de zona dos, Zamorano, Honduras*



#### ***Trasplante de Arroz del Vivero al Área Experimental***

El trasplante se realizó siguiendo las recomendaciones del manejo del cultivo de arroz bajo el sistema SICA, según lo indicado por Martin et al. (2010). Estas indicaciones sugieren realizar el trasplante a los 15 días después de la siembra (DDS), a muy bajas densidades, aplicando riegos intermitentes durante las fases de crecimiento y maduración, y manteniendo la inundación solo en la fase reproductiva. Se trasplantó una sola plántula por sitio, respetando las densidades de siembra establecidas para cada unidad experimental.

### ***Herbicidas Aplicados***

Para el control de arvenses antes del trasplante, se aplicó glifosato (Roundup max 68 SG) en una dosis de 1.5 L/ha, actuando como herbicida sistémico, que se transloca por toda la planta, eliminando eficazmente tanto las arvenses anuales como perennes. Posteriormente, tras el establecimiento del cultivo, se utilizó el herbicida selectivo Pretilachlor, Pyribenzoxim (Poprice 32 EC), a una dosis de 1.25 L/ha, logrando un excelente control sobre las arvenses no deseadas sin afectar el cultivo.

### ***Fertilización del Arroz***

El plan de fertilización de este estudio se basó en los resultados del análisis de suelos del lote experimental y los requerimientos nutricionales del arroz. En todo el experimento, se aplicaron 105 kg/ha de nitrógeno (N) con UREA, 20 kg/ha de fósforo (P205) con DAP, y 125 kg/ha de potasio (K2O) utilizando KCl en todo el experimento, esto con base en los requerimientos mencionado por Bertsch (2009). La fertilización se realizó a los 17 días después del trasplante (DDT), además, se realizó una aplicación de un fertilizante foliar (Bayfolan) a una dosis de 2.5 L/ha, esto, aplicado a los 35 DDT.

### ***Medición de Variables Fisiológicas***

#### ***Altura de Planta***

Para medir la altura de las plantas (centímetros), se utilizó una regla, tomando como referencia la altura de la hoja bandera. La medición se realizó desde la base de la planta hasta la punta de la hoja bandera. Este procedimiento se repitió cada 15 días, concluyendo en la etapa de floración del arroz, con el objetivo de monitorear su crecimiento de manera continua (Figura 5).

**Figura 5**

*Altura de planta de arroz en etapa de floración del cultivo del arroz en el lote 10 de zona dos, Zamorano, Honduras*

**Macollamiento**

El macollamiento en el arroz es un proceso fundamental en el desarrollo del cultivo, en el cual la planta genera brotes laterales (macollas) desde la base del tallo principal. Para evaluar esta variable, se realizó el conteo del número macollas (hijuelos) por planta a los 60 días después de la siembra en cada una de las parcelas experimentales. Este conteo permite medir la capacidad de la planta para formar tallos adicionales, lo que influye directamente en el rendimiento en biomasa y en el rendimiento final del grano.

Se utilizó un metro lineal para contar la cantidad de plantas y macollas en el área de cada parcela experimental, con el propósito de determinar el número de plantas por metro lineal y la cantidad de macollas. Se llevaron a cabo dos mediciones, no destructivas del número de macollas: la primera a los 21 días después del trasplante y la segunda cuando alcanzo la floración (Figura 6).

**Figura 6**

*Conteo de número de macollas de arroz (unidades productivas) en un metro lineal, lote 10 de zonas, Zamorano, Honduras*

**Clorofila**

Se usó el equipo APOGEE CCI-100 METER que mide y muestra directamente la concentración de clorofila de muestras de hojas intactas sin dañar el material vegetal (Figura 7). El medidor está calibrado para medir la concentración de clorofila en unidades de  $\mu\text{mol}$  de clorofila por  $\text{m}^2$ . La recolección de datos se llevó a cabo una única vez, antes del inicio de la etapa de floración. Se tomó la tercera hoja para realizar la medición, efectuando está en el punto medio de la hoja. Este procedimiento se aplicó de manera uniforme en todos los bloques experimentales. Para las diferentes densidades, se utilizó un metro lineal como unidad de medición. En la primera densidad, se evaluaron 10 plantas, obteniéndose un promedio del contenido de clorofila. En la segunda densidad, se evaluaron 3 plantas, y los resultados también se representaron como un promedio de las mediciones realizadas.

**Figura 7**

*Medidor de clorofila APOGEE CCI-100 METER*



*Nota.* Imagen obtenida de internet para mostrar el medidor de clorofila usado en el proyecto.

**Variables de Rendimiento*****Tamaño de la Panoja***

Para las densidades 1 y 2, se midieron la longitud y ancho de cada panoja, midiendo el ancho en el centro de esta, con el objetivo de calcular el tamaño promedio en cada unidad experimental. En la densidad 1 se promediaron 10 mediciones, mientras que en la densidad 2 se promediaron 3 mediciones, producidas en un metro lineal.

***Peso de la Panoja***

Para determinar el rendimiento del cultivo se tomó el peso total de las panojas en un metro lineal de cada parcela experimental. Para ello, se utilizó una balanza de precisión. Se pesó individualmente cada panoja de las unidades experimentales, correspondiente a la cantidad de panojas presentes en un metro lineal. En la densidad 1, se obtuvo y promedió el peso de 10 panojas, mientras que en la densidad 2 se promediaron 3 panojas (Figura 8).

**Figura 8**

*Medición de largo y ancho de la panoja, cm (A y B) y pesado del total de panojas g (C) de arroz, en el lote 10 de zona dos, Zamorano, Honduras*



La cosecha de arroz se realizó en la fase de maduración, cuando el grano aún mostraba una textura pastosa. Según Du et al. (2022), en esta etapa el contenido de humedad del grano oscila entre el 40% y el 50%. Este valor fue utilizado como referencia para ajustar la humedad en los datos de rendimiento obtenidos en el experimento.

Se seleccionaron aleatoriamente 10 plantas para la densidad 1 (D1) y 3 plantas para la densidad 2 (D2) en cada unidad experimental (UE). Se midió la altura de la planta (en cm), desde la superficie del suelo hasta la parte superior del tallo, en varias etapas hasta la floración, después del trasplante (DDT). Durante la etapa de cosecha, se contabilizó el número de macollas por planta (NMP) en 10 plantas para la D1 y en 3 para la D2, con el fin de estimar la cantidad promedio de macollas por planta y extrapolar estos datos a una hectárea, obteniendo así la cantidad total de macollas por cada densidad. Para la variable "peso de panoja por planta" (PP), se cosecharon y contabilizaron las panículas de 10 plantas para la D1 y 3 para la D2, a los 123 DDT, y se registró el promedio de peso por panoja, lo que permitió estimar el número de panículas por hectárea. Finalmente, para medir el tamaño de la panoja, se determinó el largo de las panículas (en cm) en 10 plantas para la D1 y 3 para la D2, seleccionadas aleatoriamente en cada UE.

Para medir el peso de la panoja, se cosecharon panículas de 10 plantas para la D1 y 3 plantas para la D2, seleccionadas aleatoriamente en cada unidad experimental (UE). Las panojas se cortaron

desde su base, para obtener el peso total (g). Además, se corrigió el peso total de panoja en D1 y D2 menos un 6% atribuido al peso de la espiguilla, con el fin de obtener una aproximación al peso de grano para los cálculos de rendimiento y corrección de humedad en ambas densidades.

A partir de estos datos, se calculó el peso promedio por planta, se realizó la corrección de humedad al 12% y se extrapola estos datos para estimar el rendimiento por hectárea.

### **Peso Final de la Semilla (Pf)**

Se usó la ecuación 1 para calcular el peso final de la semilla (Pf) después de un proceso de ajuste de humedad.

$$Pf = \frac{Pi(100-Hi)}{(100-Hf)} \quad (\text{Lang et al., 2018}). \quad [1]$$

En donde:

Pf = Peso final de la semilla en gramos a la humedad requerida.

Pi = Peso inicial de la semilla en gramos.

Hi = Humedad porcentual inicial de la semilla cuando se cosecha.

HF= Humedad porcentual final requerida de la semilla.

### **Índice de Cosecha (IC)**

El (IC) para el arroz se utiliza para determinar la eficiencia con la que la planta convierte la biomasa total en grano aprovechable. Se expresa como la relación entre el peso del grano y el peso total de la biomasa (incluyendo hojas, tallos y grano). El IC se calculó con la ecuación 2.

$$IC = \frac{\text{Peso del grano (kg)}(g)}{\text{Peso total de la biomasa (Kg)}(g)} * 100 \quad [2]$$

Donde:

IC = índice de cosecha, expresado en porcentaje.

Peso del grano = Corresponde al peso seco del grano cosechado.

Peso total de la biomasa = Incluye el peso de todas las partes de la planta, como hojas, tallos y panojas.

### **Diseño del Canal Revestido para la Tilapia**

Se construyó un canal perimetral, al rededor toda el área destinada a la siembra de arroz. El estanque tuvo dimensiones de 1 metro de ancho por 1 metro de profundidad, con un volumen promedio de 115 m<sup>3</sup> de agua. Las paredes del estanque fueron revestidas con una lámina de polipropileno negro, la cual se fijó a los bordes para evitar el desmoronamiento del suelo y minimizar la pérdida de agua por filtración. Este canal revestido se utilizó para almacenar el agua de riego de las parcelas del arroz. Al mismo tiempo, el canal se usó como fuente de agua para el mantenimiento de las tilapias.

Para la asignación de la densidad de tilapias en el estanque, se estableció un promedio de 5 tilapias por metro cúbico de agua, lo que resultó en un total de 575 tilapias. Esta densidad se determinó considerando las condiciones del estanque, que carece de suministro constante de oxígeno y de un flujo continuo de entrada y salida de agua. Estas medidas se implementaron para mantener la calidad del agua dentro de los rangos óptimos para la producción de tilapia. Sin embargo, el agua del canal fue usada como fuente de agua de riego para el arroz y, por lo tanto, se estaba restableciendo en el canal de manera continua o según lo necesidad de riego o requerimiento del cultivo. Las parcelas de arroz se mantuvieron inundadas a una pulgada de profundidad durante el tiempo en que el arroz requirió de inundación (Figura 9).

**Figura 9**

*Proceso de excavación y preparación de canales (A), revestimiento del canal y llenado de agua (B), siembra de tilapias según la densidad por m<sup>2</sup> designada (C) en el lote 10 de zona dos, Zamorano, Honduras*

**Uso del Agua Proveniente del Estanque de la Tilapia**

Dado que el agua del canal revestido tiene poco movimiento y se mantiene en reposo, lo que puede afectar la acumulación de desechos y la calidad del agua, se utilizó una motobomba de 2 pulgadas de diámetro para movilizar el agua desde el canal con tilapias hacia las zonas cultivadas con arroz. Esta estrategia se realizó con el fin de aprovechar el agua para el riego del arroz mientras se reducía la acumulación de desechos en el estanque de tilapia.

El llenado inicial del estanque se llevó a cabo utilizando un motor a combustión John Deere de 80 HP, equipado con una bomba de succión de 8 pulgadas y una salida de 6 pulgadas, suministrado por la unidad de riego de Zamorano. El recambio de agua se realizó dos veces por semana, renovando en promedio el 30% del volumen total del estanque por semana.

### Resultados y Discusión

El análisis de varianza en el Cuadro 2 demuestra que los factores densidad poblacional y cobertura del suelo con residuos de maíz causaron un efecto interactivo y altamente significativo ( $p < 0.001$ ) sobre las variables fisiológicas Porcentaje de clorofila (CLO) y Biomasa (BM). Adicionalmente, la variable Altura de planta (AP) fue también influenciada por la interacción de los factores previamente referidos, con un nivel de probabilidad de  $p < 0.05$  (Cuadro 2). Sin embargo, este efecto interactivo no se observó en las variables: Numero de Arvenses (NA), Macollamiento (MA) y Peso de la Panoja (PP), no obstante, los factores densidad y cobertura influenciaron dichas variables mostrando efectos simples con valores altos de significancia ( $p < 0.01$ ). Los coeficientes de variación resultaron en un rango de 18 a 36% entre todas las variables, con un promedio de 24% (Cuadro 2).

**Cuadro 2**

*Tabla de significancia encontrada en los ANOVAS para las variables fisiológicas y de rendimiento del cultivo de arroz (Oryza sativa L.): Arvenses, Macollamiento, Porcentaje de clorofila, Altura de planta, Biomasa y Peso de panoja (p<0.05) en el lote 10 de zona dos, Zamorano, Honduras.*

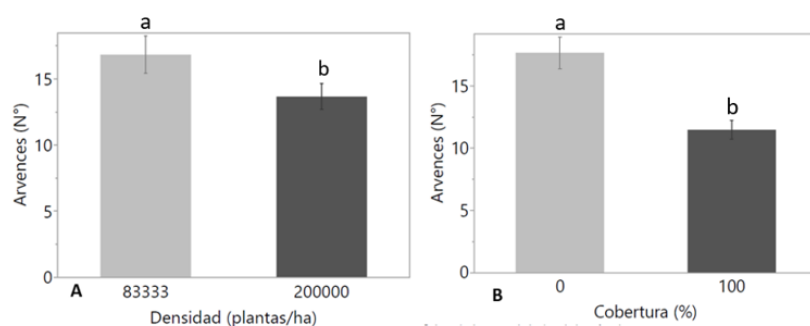
Fuentes de variación	Arvenses (N°)		Macollas/planta		Clorofila (%)		Altura de la planta (cm)		Biomasa (g)		Peso de la panoja (g)		
	Df	F Value	Pr > F	F Value	Pr > F	F Value	Pr > F	F Value	Pr > F	F Value	Pr > F	F Value	Pr > F
Bloque	2	25.2155	<.0001*	5.7687	0.0046*	8.5659	0.0004*	26.1341	<.0001*	18.382	<.0001*	3.8944	0.0244*
Densidad	1	6.1924	0.0150*	368.89	<.0001**	91.245	<.0001*	40.4833	<.0001*	741.89	<.0001*	48.8632	<.0001**
Cobertura	1	28.8349	<.0001**	12.351	0.0007*	1.2357	0.2697	0.1211	0.7288	74.217	<.0001*	2.3777	0.1271
Densidad x Cobertura	1	1.3894	0.2421	3.233	0.076	12.949	0.0006**	4.4262	0.0386*	68.912	<.0001**	2.6492	0.0576
CV			25%		36%		19%		18%		26%		20%
R2			67%		89%		78%		50%		82%		73%
Residuales	78												

*Nota.* Cuadro obtenido del análisis estadístico realizado en el software JMP®. Valores p con \* son significativos, valores con p\*\* altamente significativos

La densidad poblacional del arroz de 83,333 plantas por hectárea resulto en una mayor población de malezas por metro cuadrado, con una media de 18 arvenses/unidad experimental, en contraste, en parcelas con 200,000 plantas por hectárea, se observó una reducción del 66.66%, demostrando que una densidad de 2.4 veces mayor a 83,333 plantas de arroz por hectárea fue capaz de disminuir las arvenses del arroz significativamente (Figura 10 A). Esto se pudo haber debido a que a una menor densidad las malezas encontraron un mayor espacio para su desarrollo en las parcelas y, por lo tanto, la población aumento significativamente en comparación con la densidad mayor del cultivo (Figura 10 A). Este efecto fue observado por Tello (2021), quien evidencio que a una menor densidad del cultivo se permite que las arvenses aumenten su población. Otra posibilidad es que densidades menores favorecen una mayor penetración e intersección de la luz solar por las malezas, las cuales crecen a una tasa fotosintética superior, lo que provoca una mayor competencia con el cultivo (González Ruiz et al., 2020). Estos resultados resaltan la importancia de considerar la densidad de siembra no solo en relación con el rendimiento de los cultivos, sino también con respecto al manejo de las arvenses del cultivo (Santacruz y Salas, 2008).

### Figura 10

*Efecto de la densidad (A) cobertura (B) en el número de arvenses encontradas en las parcelas experimentales de arroz, Variedad Dicta Honduras, bajo las condiciones del valle del Yeguaré, Zamorano, Honduras*



*Nota.* Figura obtenida del análisis estadístico realizado en el software JMP®. ABC Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí ( $p \geq 0.05$ )

Las parcelas sin cobertura de residuos de maíz presentaron una acumulación de arvenses un 33% mayor en comparación con las parcelas experimentales que contaban con un 100% de cobertura con residuos (Figura 10 B). Este resultado evidencia que los residuos de maíz actúan positivamente en el arroz reduciendo significativamente las poblaciones de malezas en el arrozal. Desde hace aproximadamente dos décadas, estudios han demostrado que los residuos de arroz en el suelo limitan el desarrollo de ciertas malezas en comparación con áreas sin rastrojos. Sin embargo, la distribución de estos residuos también reduce la germinación del cultivo (Ortega y Alvarado, 2005).

El efecto en las malezas es importante. Nuestro estudio evidencia que, bajo las mismas condiciones de riego y nutrición mineral del cultivo, parcelas con rastrojos, cubriendo el 100% de la superficie podrían también requerir un menor uso de herbicidas con una consecuente reducción del costo en químicos y menor contaminación del suelo. Las coberturas, al actuar como una barrera física, limitan la disponibilidad de luz, agua y nutrientes necesarios para la germinación de malezas, ayudando a reducir su desarrollo. Según Gopal et al. (2016), es crucial destacar que aunque dejar rastrojos en el terreno no elimina completamente las malezas, sí restringe significativamente su crecimiento. Esto ocurre porque las coberturas crean un microclima menos favorable para la germinación y crecimiento de las arvenses, además de reducir la competencia directa con los cultivos principales.

### Cuadro 3

*Numero de arvenses y especies encontradas en las parcelas de arroz con 0% y 100% de cobertura de rastrojos en el lote 10 de zona dos, Zamorano, Honduras*

Especies	Conteo de arvenses (No/m <sup>2</sup> )	
	Cobertura (0%)	Cobertura (100%)
<i>Cyperus rotundus</i>	46	4
<i>Rottboellia cochinchinensis.</i>	44	52
<i>Eleusine indica.</i>	2	0
<i>Brachiaria sp.</i>	16	5
<i>Commelina erecta</i>	5	9
<i>Bidens pilosa</i>	0	1
Total	113	71

Conteo de arvenses (No/m <sup>2</sup> )		
Especies	Cobertura (0%)	Cobertura (100%)
Gramineas. (%)	54.87	80.28
Hojas anchas (%)	4.42	14.08
Cyperaceae (%)	40.71	5.63
Porcentaje total	100	100

*Nota.* datos obtenidos por los autores, se realizó el conteo general y por especies de arvenses encontradas en las unidades experimentales en 1m<sup>2</sup>, este conteo se repitió dos veces.

En el Cuadro 3 se observa que las especies dominantes en parcelas de arroz sin cobertura fueron las gramíneas (54.9%) seguido por especies de Cyperaceas con un 41%, aproximadamente. Por otro lado, las malezas de hoja ancha no representaron un número importante (4.4%) del total. Además, se observó que, en parcelas sin rastrojos, el número total fue de 113 especies por metro cuadrado, representando un incremento del 37% más que en las parcelas cubiertas totalmente (Cuadro 3). Por el contrario, con un 100% de cobertura, la cantidad total de arvenses fue estadísticamente inferior y el mayor porcentaje de estas se observó en las especies de gramíneas (80.3%) constituidas casi en su totalidad por *Rottboellia cochinchinensis* (caminadora). En contraste a lo observado en las parcelas desnudas, la cantidad de Cyperaceas en las parcelas cubiertas fue casi 8 veces menor, con el concomitante aumento de las malezas de hoja ancha, unas 3 veces más, con respecto a parcelas sin coberturas (Cuadro 3). Este estudio evidencia que la cobertura del suelo con residuos de maíz es un método efectivo, no solamente para reducir la cantidad total de malezas, sino que también, para limitar el crecimiento de especies tenaces como las Cyperaceas que han demostrado competir eficazmente con el cultivo principal. Sin embargo, proporcionalmente, se observó que las gramíneas se encontraron en un mayor porcentaje y esto puede haberse debido al efecto de compensación que ocurre cuando un factor causa la supresión de una especie, facilitando el incremento de otra especie.

En cuanto a la variable macollamiento, se obtuvo significancia en los efectos simples de cobertura y densidad (Cuadro 2). El mayor macollamiento se obtuvo con la densidad D2: 83,333 plantas/ha con una media de 28 macollas por metro lineal (Figura 11). Para el tratamiento con cobertura C: 0 se observó una media de 16 macollas siendo estadísticamente diferente a el tratamiento

C1: 100%. El menor macollamiento se observó para el tratamiento con mayor densidad y el tratamiento sin cobertura. Este resultado da muestra de cómo la densidad fue uno de los principales factores para encontrar variación en el experimento.

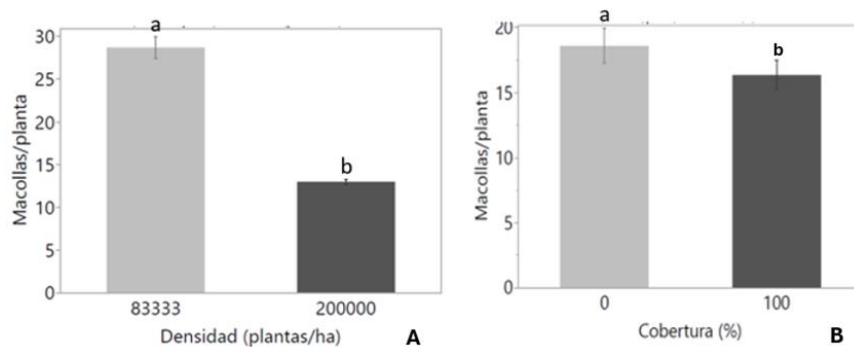
Este comportamiento en el cultivo de arroz podría explicarse por el hecho de que, en condiciones de menor densidad poblacional, las plantas tienen acceso a un área más amplia para su crecimiento y desarrollo, ya que como mencionan Velázquez et al. (2015), una mayor densidad puede llevar a una competencia más intensa entre las plantas, afectando su capacidad para macollar adecuadamente. Así, el mayor espacio disponible favorece el desarrollo de un mayor número de macollas, lo que contribuye a una mejor productividad.

Investigaciones como las de Chirinos (2021) y Arias et al. (2020) evidenciaron que una densidad de siembra más baja está correlacionada con un mayor macollamiento, mientras que este fenómeno tiende a disminuir a medida que aumenta la densidad de plantas. Esta observación se alinea con los datos obtenidos en nuestro experimento.

En cuanto a la disminución del macollamiento con el uso de 100% de cobertura podría argumentarse que la capacidad de las plantas para generar estos órganos de propagación vegetativa se ve afectada al cubrir la capa superficial de suelo que rodea la planta, como muestran los datos la cobertura disminuye esta capacidad, pero podría pensarse en ajustar niveles de cobertura más bajos que logren el objetivo de controlar arvenses y permitir el desarrollo óptimo de las macollas. Las macollas son esenciales porque incrementan el número de tallos por planta, lo que a su vez puede aumentar la cantidad de espigas (inflorescencias) y, por lo tanto, la productividad en términos de granos.

**Figura 11**

*Efecto de la cobertura (B) y densidad de siembra (A) en el macollamiento del cultivo de arroz, variedad Dicta Honduras en el Valle del Yeguaré, Zamorano, Honduras*



*Nota.* Figura obtenida del análisis estadístico realizado en el software JMP®. ABC Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí ( $p \geq 0.05$ )

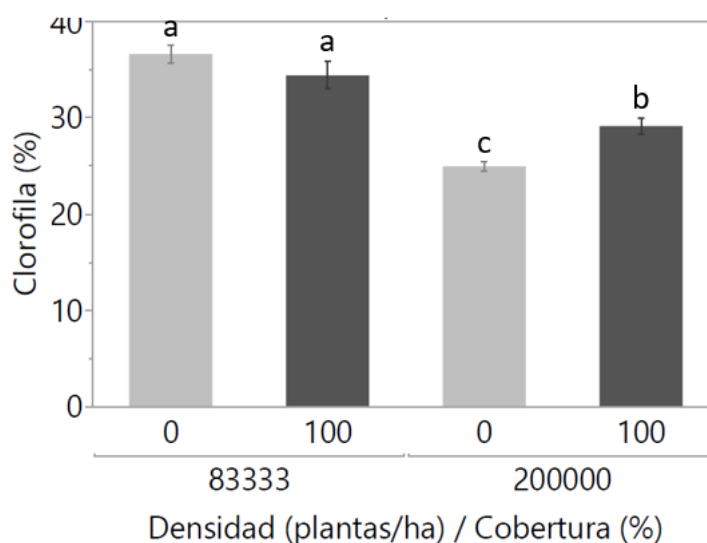
Por su parte estudios como el de Quirós y Ramírez (2019) evidencian como el uso de rastrojo o cobertura puede influir positivamente en el crecimiento de raíces y macollamiento del arroz, al darse modificaciones en las propiedades físicas del suelo como la estructura, porosidad y retención de humedad. Además, la descomposición del material en la parte superficial del suelo puede mejorar las condiciones de crecimiento del arroz. En cuanto al macollamiento y las fases fenológicas del arroz, autores como Velázquez et al. (2015), mencionan que las condiciones ambientales, incluyendo la cobertura del suelo, pueden influir en el número de macollas producidas, resaltando que un manejo adecuado de la cobertura puede resultar en un aumento significativo del macollamiento, impactando el rendimiento final del cultivo. Este experimento no mostró resultados que concuerden con esta información, presentando un mejor comportamiento en el macollamiento sin presencia de cobertura.

El porcentaje de clorofila en las plantas de arroz se vio afectado por la combinación de ambos factores, densidad y cobertura. A una menor densidad (83,333 plantas/ha), no se observaron diferencias significativas en los porcentajes de clorofila medidos a ambos niveles, cero o 100% de cobertura en las parcelas, sin embargo, a una densidad de (200,000 plantas/ha), las parcelas con cero

cobertura, mostraron niveles de clorofila inferiores ( $25 \text{ mmol m}^{-2}$ ) a aquellas que fueron cubiertas con rastrojos de maíz ( $28 \text{ mmol m}^{-2}$ ). Al comparar plantas de una densidad versus la otra, la mayor densidad presentó concentraciones menores de clorofila en las plantas de arroz (un promedio de  $26 \text{ mmol m}^{-2}$ ).

### Figura 12

*Efecto de la densidad de siembra y de cobertura del suelo en el porcentaje de clorofila del cultivo de arroz, Variedad Dicta Honduras, en el Valle del Yeguaré, Zamorano, Honduras*



*Nota.* Figura obtenida del análisis estadístico realizado en el software JMP®. ABC Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí ( $p \geq 0.05$ ).

Este comportamiento sugiere que una menor densidad de siembra puede influir positivamente en la capacidad fotosintética de las plantas, permitiendo un mejor aprovechamiento de la luz y, por ende, provocar un aumento en la producción de clorofila. La diferencia observada entre los tratamientos de densidad refuerza la importancia de este factor en la salud y el rendimiento de las plantas, lo que puede tener implicaciones significativas en el rendimiento final del cultivo (Figura 12).

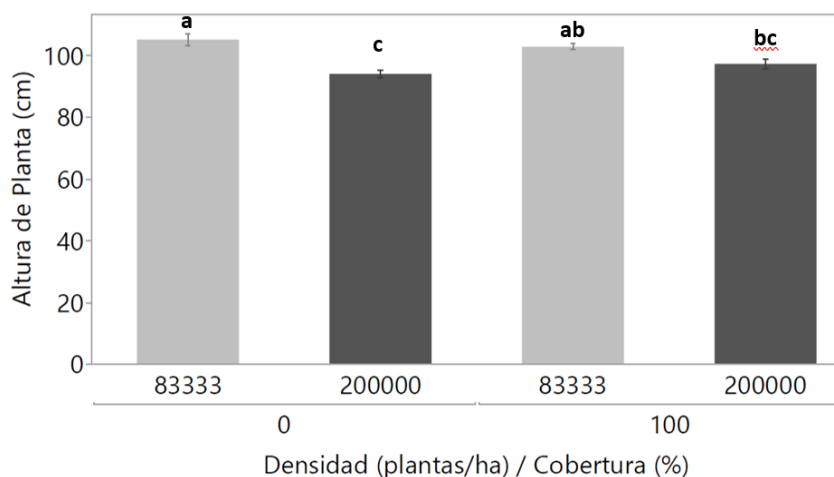
Estudios realizados por Calero et al. (2021), en arroz, muestran que la densidad de siembra impacta de manera significativa en la absorción de luz, la producción de clorofila y por ende en la capacidad fotosintética de una plantación. Al presentarse altas densidades, la competencia por luz entre plantas aumenta, reduciendo su concentración foliar de clorofila.

Aunque las diferencias en la concentración de clorofila entre las densidades comparadas son claras, los resultados de este estudio sobre el efecto combinado con el factor cobertura no ofrecen una explicación concluyente. Esto se debe a que las plantas sin cobertura acumulaban un menor contenido de clorofila en sus hojas en comparación con aquellas bajo cobertura total. Una posible explicación es que el arroz bajo el sistema SICA busca retener y aprovechar más el agua de riego en los periodos en que el arroz no permanece inundado y, por lo tanto, una cobertura total del suelo favorecería la retención y aprovechamiento del agua y consecuentemente un mejor movimiento de los nutrientes hacia la planta. En suelos descubiertos es posible que haya momentos en que el agua no se utilice eficientemente y cause un menor nivel de nutrición y desarrollo foliar.

La diferencia observada en la altura de plantas de arroz al momento de la etapa de floración se debió a un efecto combinado entre la densidad poblacional y la cobertura del suelo con rastrojos. Plantas de arroz dentro de la densidad menor (83,333 plantas/ha) no fueron estadísticamente diferentes, independientemente si estaban o no con residuos en el suelo. Asimismo, las parcelas de arroz dentro de la densidad mayor (200,000 plantas/ha) fueron estadísticamente iguales a ambos niveles de cobertura (Figura 13). Sin embargo, las plantas de arroz cultivadas a una densidad menor fueron aproximadamente un 20% más altas que las provenientes de parcelas con mayor densidad, bajo el nivel de cero coberturas. Por otro lado, las plantas de ambas densidades y cubiertas con rastrojo fueron iguales (Figura 13).

**Figura 13**

*Efecto de la densidad de siembra y cobertura del suelo del arroz en la altura de las plantas del cultivo de arroz, Variedad Dicta honduras, Valle del Yeguaré, Zamorano, Honduras*



*Nota.* Figura obtenida del análisis estadístico realizado en el software JMP®. ABC Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí ( $p \geq 0.05$ ).

Estos resultados pueden indicar que, dentro del efecto interactivo de los dos factores de estudio, la densidad podría haber tenido un mayor efecto relativo que la cobertura en la altura de las plantas, ya que el promedio de altura en plantas de menor densidad tendió a ser mayor que el promedio de altura en plantas de mayor densidad, a través de los dos niveles de cobertura. Este patrón sugiere que una densidad de siembra más baja puede favorecer el crecimiento vertical de las plantas, reduciendo la competencia por recursos como luz y nutrientes y permitiendo un mayor crecimiento en altura. Esta respuesta puede apoyarse con los datos de Calero et al. (2020) y Villeda (2022), quienes observaron una correlación con la disminución en la altura promedio de las plantas a mayor densidad de siembra, esto atribuido a que las plantas pueden experimentar un mayor estrés competitivo, dificultando el acceso a recursos entre ellas y limitando su capacidad para crecer en altura. En este estudio se demuestra que la densidad y la cobertura del suelo son importantes para determinar el crecimiento de las plantas de arroz. Lograr un buen crecimiento en altura de las plantas de arroz es

importante para obtener plantas vigorosas con espigas más desarrolladas (Acevedo Barona et al., 2011).

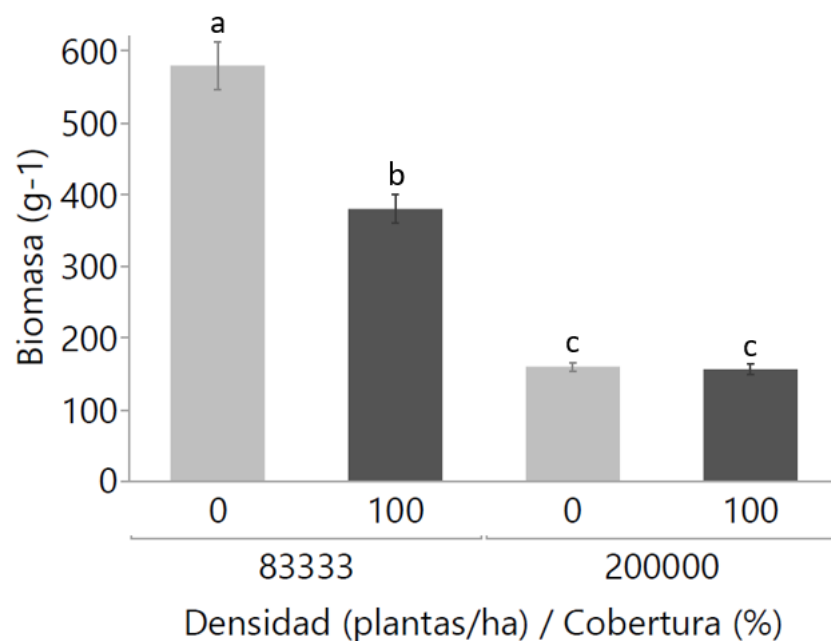
El tratamiento con la densidad de 83,333 plantas/ha y sin cobertura obtuvo los mejores rendimientos en cuanto a la cantidad de biomasa total, con una media de 579.6 g seguido por parcelas con un 100% de cobertura cuyo contenido de biomasa fue de 380 g. Por otro lado, los tratamientos con una densidad de siembra de 200,000 plantas/ha, tanto con cobertura de cero como del 100%, resultaron en valores de biomasa inferiores a 200 g y no se observaron diferencias significativas entre los dos niveles de cobertura bajo esta densidad (Figura 14). La biomasa en el arroz está determinada por dos variables presentadas en este estudio: la cantidad de macollas y la altura de la planta. Los resultados de este estudio indican claramente que hubo un mayor número de macollas en parcelas de baja densidad y también en parcelas sin rastrojos (Figura 11), y que la tendencia a tener mayor altura de plantas se observó en la densidad menor (Figura 13). Por tanto, aunque se observó un efecto claro de la baja densidad y las parcelas sin cobertura en la mayor acumulación de biomasa total en las plantas, es posible concluir que el macollamiento constituye una variable de gran importancia para lograr una cantidad significativa de biomasa en el arrozal.

Estos resultados podrían explicarse con datos donde el uso de coberturas y rastrojos de cultivo en la producción de arroz, mejoran la retención de humedad y nutrientes en el suelo, brindando condiciones óptimas para el desarrollo de raíces y crecimiento vegetativo (Tirado y Castilla, 2019). Además, estas condiciones del cultivo, combinadas con una menor densidad de siembra, pueden favorecer significativamente el crecimiento vertical de la planta, permitir el crecimiento de plantas más robustas e impactar en la cantidad de biomasa del cultivo. La altura del arroz es un factor clave, ya que influye directamente en atributos productivos como el rendimiento del cultivo. Una mayor altura facilita una mejor captura de luz solar y, en consecuencia, una mayor tasa de fotosíntesis, lo que contribuye a un incremento en la producción de biomasa.

**Figura 14**

*Efecto de la densidad de siembra y uso de cobertura en la biomasa total del cultivo de arroz,*

*Variedad Dicta Honduras en el Valle del Yeguaré, Zamorano, Honduras*



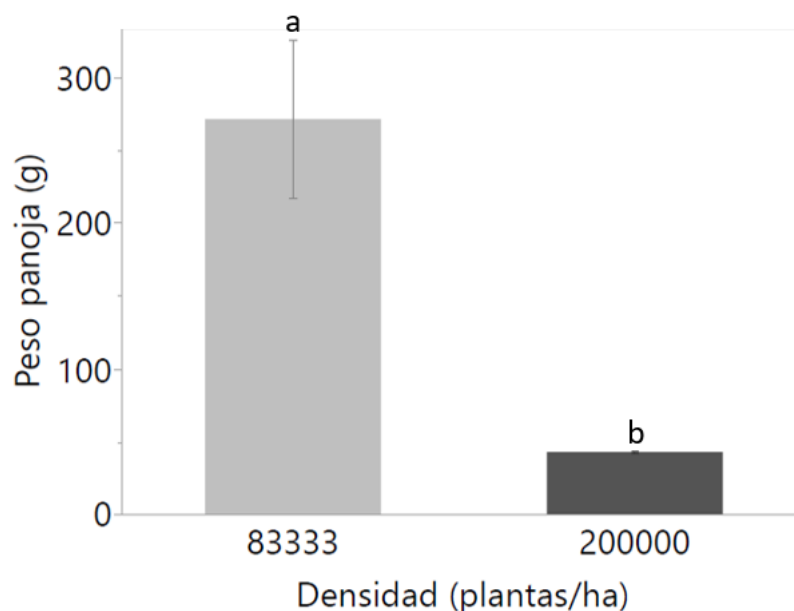
*Nota.* Figura obtenida del análisis estadístico realizado en el software JMP®. ABC Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí ( $p \geq 0.05$ )

Para D1 se obtuvo un total de 5.85 toneladas por hectárea (t/ha) y para D2, un total de 15.39 t/ha, ambos ajustados a un contenido de humedad del 12%. Este ajuste es esencial para garantizar que los datos de rendimiento sean comparables y reflejen el peso real del grano en condiciones estándar de almacenamiento y comercialización.

**Figura 15**

*Efecto de la densidad de siembra en el peso de la panoja del cultivo de arroz Variedad Dicta*

*Honduras bajo las condiciones del Valle del Yeguaré, Zamorano, Honduras*



*Nota.* Figura obtenida del análisis estadístico realizado en el software JMP®. ABC Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí ( $p \geq 0.05$ )

El peso de las panojas de la planta de arroz es una medida indicadora del rendimiento final del grano del arroz. Esta relación ha sido evidenciada en varios estudios realizados en arroz, en Zamorano, 2014-2022. El peso de las panojas por unidad productiva de arroz, en parcelas con baja densidad fue aproximadamente, cinco veces mayor (270 g) al peso de las panojas de las parcelas de la densidad mayor (50 g aproximadamente) (Figura 15). Estos resultados evidencian que en el Sistema Intensificado del Cultivo del Arroz (SICA) la densidad poblacional es clave para la obtención de rendimientos altos. Es importante destacar que las dos densidades poblacionales comparadas representan las mejores opciones identificadas en estudios anteriores al evaluar distintas densidades en el sistema de producción de arroz (Villeda, 2022). Por lo tanto, es fundamental aclarar que la densidad menor analizada en este estudio no corresponde a las densidades bajas que resultaron en menores rendimientos.

Estudios como los de Han Chae-Min et al. (2022), donde se investigó el efecto de la densidad de siembra en variables como el peso de la panoja, revelan como una menor densidad puede resultar en un mayor peso de panoja. Al reducir el número de plantas por área con el método SICA, este efecto se compensa con el incremento de la cantidad de panículas por planta (Villeda, 2022). Resultados similares fueron reportados por Yang (2012), donde los tratamientos con mayor espaciamiento entre plantas presentaron la mayor cantidad de panículas por unidad productiva. Los datos obtenidos en este experimento concuerdan con la información de estos autores.

Un número mayor de panículas con mayor peso por unidad productiva en densidades de siembra menores, podría explicarse como lo menciona Thakur et al. (2010) por la influencia de la separación de las plantas en variables fisiológica y morfológicas de las plantas de arroz. Los cambios morfológicos en este sistema de siembra como lo son hojas más erectas y reducción de sombra entre plantas aumenta la captación de luz hasta en un 10% mejorando la actividad fotosintética y su rendimiento, en comparación con siembras en altas densidades (Thakur et al., 2016). Datos obtenidos en este experimento para la tasa de crecimiento, donde para 200,000 plantas/ha la tasa de crecimiento media fue de 0.76 cm y para 83,333 plantas/ha la tasa de crecimiento 0.86 cm, lo cual puede apoyar esta teoría de modificaciones morfológicas en el cultivo de arroz con bajas densidades.

La extrapolación de los resultados de las parcelas experimentales a rendimientos por hectárea, corregidos al 12% de humedad, demostraron que la producción por hectárea de arroz en las parcelas con 83,000 plantas/ha, fue de 5.8 toneladas/ha, aproximadamente y de 15.4 toneladas/ha cuando se tuvo una densidad de 200,000 plantas/ha.

### **Conclusiones**

La densidad poblacional y la cobertura del suelo con residuos de maíz en el cultivo del arroz mostraron efectos simples en las variables; arvenses, macollamiento y peso de las panojas del arroz. Mientras que, las variables porcentaje de clorofila, altura de planta y biomasa fueron influenciadas por el efecto combinado de la densidad y cobertura del suelo.

La siembra de 83,333 plantas por hectárea de arroz bajo el sistema SICA resulto en un mayor número de macollas, mayor peso de las panojas y un rendimiento superior a 15 toneladas por hectárea.

La no cobertura del suelo con residuos resulto en una mayor cantidad de arvenses, pero permitió un mayor macollamiento y a la densidad menor, un mayor porcentaje de clorofila y biomasa total.

### **Recomendaciones**

Utilizar el sistema de asocio indirecto para la producción conjunta de arroz y tilapia entre los agricultores.

Evaluar el uso de aguas residuales de la tilapia comparado con la utilización de aguas no residuales.

Estudiar diferentes densidades de tilapia en el canal revestido para el cultivo de asocio arroz-tilapia.

### Referencias

- Acevedo Barona, M. A., Salazar, M., Castrillo Fuentes, W. A., Torres Angarita, O. J., Reyes Ramone, E. R., Navas, M., Álvarez Parra, R. M., Moreno, O. J. y Torres Toro, E. (2011). Efectos de la densidad de siembra y fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de granos de arroz del cultivar centauro en Venezuela. *Agronomía Tropical*, 61(1), 15–26. [http://sian.inia.gob.ve/revistas\\_ci/Agronomia%20Tropical/at6101/at6101acevedo\\_m.pdf](http://sian.inia.gob.ve/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at6101/at6101acevedo_m.pdf)
- Antralina, M., Istina, I., YuyunYuwariah y Simarmata, T. (2015). Effect of Difference Weed Control Methods to Yield of Lowland Rice in the SOBARI. *Procedia Food Science*, 3, 323–329. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.01.035>
- Arias, J. G., Esquivel, E. A. y Campos, R. (2020). Evaluación de la densidad de siembra y nivel de fertilización en arroz, para las variedades Palmar-18, Lazarroz FL y NayuribeB FL, en Parrita (Pacífico Central), Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 33(3), 13–24. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i3.4363>
- Bertsch, F. (2009). *Absorción de nutrimentos por los cultivos*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. <https://www.intagri.com/memorias/nutricion-vegetal/absorcion-de-nutrimentos-por-los-cultivos>
- Calero, A., Olivera, D., Pérez, Y [Yanery], González, Y [Yainier], Anay, L. y Peña, K. (2020). Manejo de diferentes densidades de plantación y aplicación de microorganismos eficientes que incrementan la productividad del arroz. *IDESIA*, 38(2), 109–117. <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v38n2/0718-3429-idesia-38-02-109.pdf>
- Calero, A., Pérez, Y [Y], Quintero, E. y González, Y [Y] (2021). Densidades de plantas adecuadas para incrementar el rendimiento agrícola del arroz. *Centro Agrícola*, 48(1), 28–36. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s0253-57852021000100028&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s0253-57852021000100028&script=sci_arttext)
- Carranza, E. y Aceituno, C. (2019). Evaluación de la tolerancia a la salinidad de la tilapia roja (*Oreochromis spp*) en diferentes densidades de siembra en la región sur de Honduras. *Revista Ciencia Y Tecnología*(24), 49–63. <https://doi.org/10.5377/rct.v0i24.7876>
- Chandio, A. A., Gokmenoglu, K. K., Ahmad, M. y Jiang, Y. (2022). Towards Sustainable Rice Production in Asia: The Role of Climatic Factors. *Earth Systems and Environment*, 6(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00210-z>
- Chauhan, B. S., Jabran, K. y Mahajan, G. (Eds.). (2017). *Rice Production Worldwide*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5>
- Chirinos, M. (2021). *“Densidad de siembra para optimizar rendimientos en mutantes de arroz (Oryza sativa l.) en condiciones del valle jequetepeque, la libertad”* [Tesis]. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e5b1bb11-96b6-49e1-9d9d-5af47c63478f/content>
- Correa, G., Fajardo, P., Flores, C. y Navarrete, A. (2021). Incidencia del agua de criaderos de tilapia en el riego del cultivo de maíz (*Zea mayz*, L.) en El Triunfo, Guayas. *Pro Sciences: Revista De Producción, Ciencias E Investigación*, 5(40), 11–18. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol5iss40.2021pp11-18>

- Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria. (2019). *Varietades mejoradas de arroz*. Secretaria de Agricultura y Ganadería-Dirección de Ciencia y Tecnología (SAG-DICTA). <https://dicta.gob.hn/files/2019-Varietades-mejoradas-de-arroz.pdf>
- Du, J., Lin, Y [Yingxue], Gao, Y., Tian, Y., Zhang, J. y Fang, G. (2022). Nutritional Changes and Early Warning of Moldy Rice under Different Relative Humidity and Storage Temperature. *Foods*, 11(2), 185. <https://doi.org/10.3390/foods11020185>
- González Ruiz, A., Coronado Leza, A., Ail Catzim, C., Rodríguez Pagaza, Y., Cruz Villegas, M. y Zamora Villa, V. (2020). Período crítico de competencia de maleza en *Allium fistulosum* L. en el valle de mexicali, baja california. *IDESIA*, 38(2), 13–19. [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34292020000200013&lng=en&nrm=iso&tlng=en](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292020000200013&lng=en&nrm=iso&tlng=en)
- Gopal, R., Leal, J. y López, P. (2016). *El rastrojo, un aliado ante la emergencia de malezas*. CIMMYT. <https://idp.cimmyt.org/el-rastrojo-un-aliado-ante-la-emergencia-de-malezas/>
- Guamán, P., Basante, C. y Mármol, J. (2023). Ventajas de la aplicación de cobertura vegetal en los cultivos agroecológicos. *LATAM Revista Latinoamericana De Ciencias Sociales Y Humanidades*, 4(2). <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.1032>
- Halwart, M. y Gupta, M. (Eds.). (2006). *Cultivo de peces en campos de arroz*. FAO.
- Han Chae-Min, Shin Jong-Hee, Kwon Jung-Bae, Kim Sang-Kuk, Won Jong-Gun y Ryu Jung-Gi (2022). Effects of Panicle Position and Planting Density on the Physicochemical Properties of Starch in Panicle Number Type Rice. *Korean Journal of Crop Science*, 67(3), 155–163. <https://doi.org/10.7740/KJCS.2022.67.3.155>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2020). *Demanda interna de los principales productos de consumo básico en Honduras*. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). <https://www.ine.gob.hn/V3/imag-doc/2020/09/Demanda-interna-de-los-principales-productos-de-consumo-basico.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2024). *Comportamiento de las importaciones de arroz 2019 – 2023*. <https://ine.gob.hn/v4/2024/03/22/comportamiento-de-las-importaciones-de-arroz-2019-2023/>
- Kaiira, M., Chemining, G., Ayuke, F. y Baguma, Y. (2019). Crop Mulches for Increased Weed Control and Rice Productivity. *International Journal of Plant & Soil Science*, 29(1), 1–14. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2019/v29i130133>
- Lang, G. H., Da Lindemann, I. S., Ferreira, C. D., Pohndorf, R. S., Vanier, N. L. y Oliveira, M. de (2018). Influence of drying temperature on the structural and cooking quality properties of black rice. *Cereal Chemistry*, 95(4), 564–574. <https://doi.org/10.1002/cche.10060>
- Lombeida, E. D., Medina, R., Uvidia, M. y Pazmiño, Á. (2022). Caracterización de un sistema de producción de arroz (*Oryza sativa* L.) en el cantón Babahoyo. *Revista Científica Y Tecnológica UPSE*, 9(2), 39–47. <https://doi.org/10.26423/rctu.v9i2.686>
- Martin, Y., Rodriguez, Y., Mojeron, R. y Soto, F. (2010). El sistema intensivo de cultivo del arroz (sica) disminuye la cantidad de semillas para la siembra, aumenta los rendimientos agrícolas y ahorra el agua de riego. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 70–73. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362010000100010&script=sci\\_abstract](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362010000100010&script=sci_abstract)

- Méndez, Y., Tamames, Y., Navarrete, Y. y Reyes, J. (2018). Estado del arte del cultivo de tilapia roja en la mayor de las Antillas. *Biotecnia*, 20(2), 15–24. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v20i2.593>
- Norhashila, H., Maimunah, A., Muhammad, M., Ahmad, A., Aimrun, W., Muhamad, K. y Askiah, J. (2023). Smart Farming for Sustainable Rice Production: An Insight into Applications, Challenges and Future Prospects. *Rice Science*, 31(1). <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2023.08.004>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). *Situación Alimentaria Mundial*. FAO. <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>
- Ortega, Y. y Alvarado, R. (2005). Efecto de la cobertura de rastrojos en la germinación del arroz (*Oryza sativa* L.) y principales malezas asociadas. *Agronomía Mesoamericana*, 16(1), 51–61. <https://www.redalyc.org/pdf/437/43716108.pdf>
- Pervaiz, R., Baloch, R., Arshad, M. A., Abbas, R. N., Shahzad, N., Hamid, M., Batool, Z., Maqbool, M. S., Masih, A., Salam, A. y Akbar, M. M. (2024). Herbicide Strategies for Weed Control in Rice Cultivation: Current Practices and Future Directions. *Haya: The Saudi Journal of Life Sciences*, 9(04), 114–129. <https://doi.org/10.36348/sjls.2024.v09i04.004>
- Quirós, R. y Ramírez, C. (2019). Rastrojos, materia orgánica y nitrógeno en un arrozal inundado. *Revista De Ciencias Ambientales*, 29(1), 53–62. <https://doi.org/10.15359/rca.29-1.5>
- Rao, A. N., Wani, S. P., Ramesha, M. S. y Ladha, J. K. (2017). Rice Production Systems. En B. S. Chauhan, K. Jabran y G. Mahajan (Eds.), *Rice Production Worldwide* (pp. 185–205). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5_8)
- Religión en Libertad. (2021). *El cultivo de arroz inventado por el jesuita Henri Laulanié ayuda a los pobres, también en pandemia*. [https://www.religionenlibertad.com/ciencia\\_y\\_fe/351137916/gracias-descubrimiento-sacerdote-henri-laulanie-muchos-pueden-salir-pobreza.html](https://www.religionenlibertad.com/ciencia_y_fe/351137916/gracias-descubrimiento-sacerdote-henri-laulanie-muchos-pueden-salir-pobreza.html)
- Santacruz, O. y Salas, P. (2008). Efecto de la competencia de malezas y la densidad de siembra en el rendimiento del cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) var. coodetec 405. *Investigación Agraria*, 10(2), 21–28. <https://core.ac.uk/download/pdf/324183451.pdf>
- Sustainable Agriculture Research & Education. (2024). *Fish in the Fields: Increasing Sustainability of Existing Rice Farming Practices with Supplemental Aquaculture*. Sustainable Agriculture Research & Education. <https://projects.sare.org/project-reports/os23-170/>
- Tello, A. (2021). *Efecto en la cobertura de residuos de cosecha en la producción de maíz orgánico y no orgánico bajo tres sistemas de labranza*. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/items/bce70aef-05f9-42f2-bb64-096b704b4223>
- Thakur, A. K., Uphoff, N. y Antony, E. (2010). An assessment of physiological effects of system of rice intensification (sri) practices compared with recommended rice cultivation practices in India. *Experimental Agriculture*, 46(1), 77–98. <https://doi.org/10.1017/S0014479709990548>
- Thakur, A. K., Uphoff, N. T. y Stoop, W. A. (2016). Scientific Underpinnings of the System of Rice Intensification (SRI): What Is Known So Far? En *Advances in Agronomy* (Vol. 135, pp. 147–179). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.09.004>

- Tirado, Y. y Castilla, L. (2019). *Guía práctica para la fertilización y nutrición del cultivo de arroz*. Fondo Nacional del Arroz (FEDEARROZ). [https://fedearroz-website.s3.amazonaws.com/media/documents/cartilla\\_fertilizacion\\_nutricion\\_arroz.pdf](https://fedearroz-website.s3.amazonaws.com/media/documents/cartilla_fertilizacion_nutricion_arroz.pdf)
- Valdiviezo, E., Celi Herán, R. y Vivas Vivas, M. (2023). Impacto del sistema intensivo de cultivar arroz (SICA) en el Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2), 11198–11213. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i2.6197](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.6197)
- Velázquez, J., Rosales, A., Rodríguez, H. y Salas, R. (2015). Determinación de las etapas de inicio de macollamiento, inicio de primordio, floración y madurez en la planta de arroz con el sistema s, v y r correlacionado con la sumatoria térmica. *Revista Agronomía Costarricense*, 39(2), 121–130. <https://www.redalyc.org/journal/436/43642603009/html/>
- Villeda, E. (2022). *Efecto del arreglo espacial de siembra y la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos en la producción bajo el Sistema Intensivo del Cultivo de Arroz (SICA)* [Tesis de maestría]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/items/022c782b-f9c1-4782-9c28-6e11dce35e7c>
- Yang (2012). Study on a correlation between the fatty acid value change and mould of paddy in different storage conditions. *Grain Storage*, 35, 49. [https://www.openagrar.de/servlets/MCRFileNodeServlet/openagrar\\_derivate\\_00044997/JKA-463-32.pdf](https://www.openagrar.de/servlets/MCRFileNodeServlet/openagrar_derivate_00044997/JKA-463-32.pdf)
- Zaw, A., Sudo, S., Inubushi, K., Mano, M., Yamamoto, A., Ono, K., Osawa, T., Hayashida, S., Patra, P., Terao, Y., Elayakumar, P., Vanitha, K., Umamageswari, C., Jothimani, P. y Ravi, V. (2018). Methane and nitrous oxide emissions from conventional and modified rice cultivation systems in South India. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 252, 148–158. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.014>
- Zhao, M., Lin, Y [Yongjun] y Chen, H. (2020). Improving nutritional quality of rice for human health. *TAG. Theoretical and Applied Genetics. Theoretische Und Angewandte Genetik*, 133(5), 1397–1413. <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03530-x>

**Anexos**

**Anexo A**

*Distribución y nivelación de bloques*



**Anexo B**

*Motor a combustión John Deere de 80 HP*



**Anexo C**

*Cosecha de tilapia*

