

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**“COMPARACION DE TRES SISTEMAS DE TRANSPLANTE  
MANUAL DE ARROZ (*Oryza sativa* L.), EN EL VALLE  
JEQUETEPEQUE”**

**Presentado por:**

**MARÍA VICTORIA PINAZO CALDAS**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:**

**INGENIERO AGRONOMO**

**Lima-Perú**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**“COMPARACION DE TRES SISTEMAS DE TRANSPLANTE  
MANUAL DE ARROZ (*Oryza sativa* L.), EN EL VALLE  
JEQUETEPEQUE”**

**Presentado por:  
MARÍA VICTORIA PINAZO CALDAS**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO**

**SUSTENTADA Y APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:**

---

Ing. Mg. Sc. Enrique Aguilar Castellanos  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Mg. Sc. Elizabeth Heros Aguilar  
**ASESORA**

---

Dr. Jorge Jiménez Dávalos  
**MIEMBRO**

---

Ing. Saray Siura Céspedes  
**MIEMBRO**

**Lima-Perú**

**2017**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación realizado con mucho esfuerzo, amor y dedicación, se lo dedico primeramente a mi Dios todo poderoso, quien es fuente de toda sabiduría, conocimiento e inteligencia.

A mis queridos padres Alberto Pinazo y María Caldas, mis hermanas y toda mi familia quienes han sido el pilar fundamental en mi formación personal y profesional. Por ser mi inspiración, motivación y por brindarme sus consejos, instruirme con sus valores y principios y darme los recursos para lograrlo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer primeramente a Dios por haber sido mi fortaleza y mi sustento para poder culminar este trabajo de tesis. A mis padres Sr. Alberto Pinazo Nalvarte y Sra. María Caldas Agurto a quienes amo mucho, por su apoyo incondicional, paciencia y por sus palabras de motivación y aliento a lo largo de toda mi formación personal y profesional.

Agradecer también a mi asesora de tesis, la Ing. Elizabeth Heros por su dedicación y por haber depositado su confianza en mí para elaborar el presente trabajo de investigación.

También quiero expresar mi agradecimiento a mis hermanas, a mi familia, ya que siempre estuvieron para brindarme su apoyo.

Al Ing. José Hernández por su tiempo, conocimiento y apoyo, al Ing. Lau Cobián por brindarme el campo requerido para realizar la fase experimental, al Laboratorio de Cereales y Granos Nativos de la UNALM.

A mis amigos, a todas las personas que me aprecian mucho; que han contribuido de múltiples maneras para terminar este estudio realizado.

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	<b>i</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>ii</b>
<b>I. INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
<b>II. REVISION DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
2.1 IMPORTANCIA DEL ARROZ.....	4
2.2 CLASIFICACION TAXONÓMICA .....	4
2.3 SISTEMAS DE CULTIVO DE ARROZ.....	5
2.4 SISTEMA INTENSIVO DE CULTIVO DE ARROZ (S.I.C.A).....	5
2.4.1 HISTORIA DEL S.I.C.A.....	5
2.4.2 DESCRIPCIÓN DEL S.I.C.A .....	6
2.4.3 PRINCIPIOS DEL S.I.C.A.....	8
2.4.4 VENTAJAS DEL S.I.C.A. ....	12
2.4.5 POSIBLES DESVENTAJAS DEL S.I.C.A .....	13
2.4.6 RENDIMIENTOS DEL S.I.C.A VERSUS TRANSPLANTE CONVENCIONAL	14
2.4.7 EL S.I.C.A EN EL PERÚ .....	15
2.5 SISTEMA DE TRANSPLANTE CONVENCIONAL .....	16
2.5.1 ETAPAS QUE CONTEMPLA EL TRANSPLANTE CONVENCIONAL .....	17
2.5.2 DENSIDAD DEL TRANSPLANTE.....	19
2.5.3 EDAD DE PLANTA PARA EL TRANSPLANTE .....	20
2.5.4 ÉPOCA DE TRANSPLANTE .....	20
2.5.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS .....	21
2.6 SISTEMA DE TRANSPLANTE EN HILERAS.....	22
2.6.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS .....	23
2.7 DIFERENCIAS DE MANEJO ENTRE EL S.I.C.A, TRANSPLANTE CONVENCIONAL Y TRANSPLANTE EN HILERAS .....	23
2.8 RENDIMIENTO Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO .....	24
2.8.1 RENDIMIENTO.....	24
2.8.2 NÚMERO DE PANÍCULAS .....	25
2.8.3 NÚMERO DE GRANOS TOTALES POR PANÍCULA .....	25
2.8.4 PORCENTAJE DE GRANOS LLENOS .....	25
2.8.5 PESO DE MIL GRANOS .....	25
2.9 MACOLLAMIENTO .....	26

2.10 CALIDAD MOLINERA.....	27
2.10.1 RENDIMIENTO DE MOLINERIA.....	27
2.10.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD MOLINERA.....	28
2.10.3 ETAPAS PARA DETERMINAR LA CALIDAD MOLINERA.....	31
2.11 ARROZ PILADO .....	32
2.11.1 REQUERIMIENTOS PARA OBTENER UNA BUENA CALIDAD DE ARROZ PILADO.....	32
2.12 PRODUCCION DE MATERIA SECA TOTAL.....	33
2.13 INDICE DE COSECHA .....	34
2.14 FACTORES BIOTICOS LIMITANTES PARA EL CULTIVO DE ARROZ.....	34
2.14.1 PLAGAS.....	34
2.14.2 ENFERMEDADES .....	35
<b>III. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>37</b>
3.1 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO .....	37
3.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.....	38
3.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.....	38
3.4 MATERIALES Y EQUIPOS.....	40
3.5 CARACTERISTICAS DEL CULTIVAR IR 43 .....	40
3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	42
3.6.1 MODELO ADITIVO LINEAL .....	42
3.7 DISPOSICION DE LOS TRATAMIENTOS.....	42
3.7.1 DELINEAMIENTO DEL CAMPO EXPERIMENTAL.....	43
3.8 MANEJO AGRONOMICO.....	44
3.8.1 SIEMBRA EN ALMÁCIGO.....	44
3.8.2 TRANSPLANTE.....	44
3.8.3 FERTILIZACION .....	45
3.8.4 RIEGO .....	46
3.8.5 MANEJO DE MALEZAS .....	46
3.8.6 CONTROL DE PLAGAS INSECTILES Y ENFERMEDADES .....	47
3.8.7 COSECHA.....	48
3.9 VARIABLES EVALUADAS.....	48
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>50</b>
4.1 RENDIMIENTO EN GRANO .....	50
4.2 NÚMERO DE MACOLLOS .....	52

4.3	NÚMERO DE GRANOS TOTALES/PANÍCULA.....	56
4.4	PORCENTAJE DE GRANOS LLENOS Y VANOS/PANÍCULA .....	57
4.5	PESO DE MIL GRANOS .....	59
4.6	LONGITUD DE PANÍCULA .....	60
4.7	ALTURA DE PLANTA .....	61
4.8	PRODUCCION DE MATERIA SECA .....	62
4.9	INDICE DE COSECHA .....	64
4.10	CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DEL GRANO EN CÁSCARA.....	65
4.11	CALIDAD MOLINERA.....	66
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>70</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>71</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>80</b>

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Comparación del manejo del cultivo de arroz en tres sistemas de transplante...	23
Cuadro 2: Grados del arroz (tolerancias).....	33
Cuadro 3: Análisis de Suelo del Fundo Luzben – Valle de Jequetepeque .....	38
Cuadro 4: Datos meteorológicos de temperatura y radiación solar durante la conducción del experimento. Campaña 2016.....	39
Cuadro 5: Características agronómicas del cultivar IR 43 .....	41
Cuadro 6: Control químico de malezas .....	46
Cuadro 7: Control químico de insectos y enfermedades .....	47
Cuadro 8: Análisis de variancia para la variable rendimiento en grano (tn.ha-1).....	50
Cuadro 9: Rendimiento de Arroz cáscara (Kg.ha-1) obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016.....	51
Cuadro 10: Producción de macollos a los 49, 55 y 62 días después de la siembra (dds) obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016 .....	54
Cuadro 11: Comparación del número de macollos por metro cuadrado obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016 .....	55
Cuadro 12: Número de granos totales/panícula obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016 .....	56
Cuadro 13: Granos llenos y granos vanos /panícula (%) obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016.....	58
Cuadro 14: Peso de mil granos obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle de Jequetepeque-2016.....	60
Cuadro 15: Longitud de panícula (cm) obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle de Jequetepeque-2016 .....	60
Cuadro 16: Altura de planta (cm) obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016.....	61
Cuadro 17: Producción de materia seca (g/m <sup>2</sup> ) durante tres etapas del cultivo obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016.....	62
Cuadro 18: Índice de cosecha obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016 .....	65

Cuadro 19: Características biométricas del grano obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016 .....	66
Cuadro 20: Análisis de la calidad molinera obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016 .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del campo experimental.....	37
Figura 2: Condiciones meteorológicas durante el experimento .....	39
Figura 3: Disposición de los tratamientos .....	43
Figura 4: Rendimiento de arroz cáscara (Kg/ha) obtenido en tres sistemas de transplante manual. Valle Jequetepeque-2016 .....	52
Figura 5: Comparación de la producción de macollos en tres sistemas de transplante.....	56
Figura 6: Comparación de la variable granos vanos/ panícula (%) en tres sistemas de transplante. Valle Jequetepeque-2016.....	59
Figura 7: Comparación de la variable altura de planta (cm) en tres sistemas de transplante. Valle Jequetepeque-2016 .....	62
Figura 8: Producción de materia seca ( $g/m^2$ ) durante tres etapas fenológicas del cultivo en tres sistemas de transplante. Valle Jequetepeque-2016 .....	64
Figura 9: Comparación del Rendimiento total de pila (%) en tres Sistemas de transplante. Valle Jequetepeque-2016 .....	68
Figura 10: Comparación de granos enteros (%) en tres sistemas de transplante. Valle Jequetepeque-2016.....	68

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Análisis de variancia del rendimiento de arroz cáscara (toneladas/ha) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016.....	80
Anexo 2: Análisis de variancia del macollamiento a los 49 días de edad en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016.....	80
Anexo 3: Análisis de variancia del macollamiento a los 55 días de edad en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016.....	81
Anexo 4: Análisis de variancia del macollamiento a los 62 días de edad en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016.....	81
Anexo 5: Análisis de variancia del número de granos totales/panícula en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016.....	81
Anexo 6: Análisis de variancia del peso de 1000 granos (g) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016.....	82
Anexo 7: Análisis de variancia de granos llenos/panícula (%) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016.....	82
Anexo 8: Análisis de variancia de granos vanos/ panícula (%) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016.....	82
Anexo 9: Análisis de variancia de longitud de panícula (cm) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016.....	83
Anexo 10: Análisis altura de planta (cm) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016.....	83
Anexo 11: Análisis de variancia del índice de cosecha en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016.....	83
Anexo 12: Análisis de variancia de índice de translucencia en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016.....	84
Anexo 13: Análisis de variancia de producción de materia seca en etapa de punto algodón ( $g/m^2$ ) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016.....	84
Anexo 14: Análisis de variancia de producción de materia seca en etapa de floración ( $g/m^2$ ) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016.....	84

Anexo 15: Análisis de variancia de producción de materia seca en etapa de maduración (g/m <sup>2</sup> ) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016 .....	85
Anexo 16: Análisis de variancia de rendimiento de pila (%) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016 .....	85
Anexo 17: Análisis de variancia de granos enteros (%) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016 .....	85
Anexo 18: Análisis de variancia de granos quebrados (%) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016 .....	86
Anexo 19: Análisis de variancia de largo de grano (cm) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016 .....	86
Anexo 20: Análisis de variancia de ancho de grano (cm) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016 .....	86
Anexo 21: Análisis de variancia de espesor de grano (cm) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle de Jequetepeque- 2016 .....	87

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó durante la campaña 2016 en el Fundo Luzben, ubicado en el Valle Jequetepeque, Región La Libertad situado a 07° 20' 58" de latitud Sur, 79° 27' 26" de longitud Oeste y a una altitud de 106 metros sobre el nivel del mar. Con el principal objetivo de determinar la productividad de arroz bajo tres sistemas de transplante manual para condiciones del Valle de Jequetepeque con el cultivar IR 43. Los sistemas de transplantes evaluados fueron el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz (S.I.C.A), transplante convencional y el sistema de transplante en hileras. El diseño estadístico que se empleó fue el Diseño de Bloques Completamente al Azar y se establecieron tres repeticiones. Los resultados fueron analizados con el programa estadístico SAS. El Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz presentó el rendimiento en grano más alto, con 6130 Kilogramos/hectárea y superó significativamente al sistema de transplante convencional y el sistema de transplante en hileras, cuyos rendimientos fueron 4433 kilogramos/hectárea y 3880 kilogramos/hectárea respectivamente. En el rendimiento total de molinería se encontró diferencias significativas, siendo el S.I.C.A el que registró el mayor rendimiento y el más bajo lo registró el sistema de transplante en hileras. Los rendimientos de grano pulido entero se encontró diferencias significativas y fluctuaron entre 53.67 a 58.40 por ciento, siendo el Sistema Intensivo de Cultivo Arrocerero el que registró el mayor rendimiento. La producción de macollos fue la característica agronómica que más influencia tuvo en el rendimiento, el S.I.C.A fue el sistema de transplante que tuvo un mayor número de macollos/m<sup>2</sup>. El transplante de plántulas jóvenes de 15 días de edad empleadas en el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz permitió incrementar los rendimientos porque tienen un mayor potencial de macollamiento en comparación a plántulas de 30 días.

**Palabras clave:** Sistemas, transplante, rendimiento, IR 43

## SUMMARY

This work was done in 2016 at Luzben Village, in Jequetepeque Valley, La Libertad Region (07° 20 '58 " S, 79° 27'26") at 106 m.a.s.l. The main objective of the work was to determine the rice productivity under three manual transplanting systems for the Jequetepeque Valley's conditions for IR 43 production. The transplanting systems evaluated were the following ones: System of Rice Intensification (SRI), Conventional transplanting and Straight Rows transplanting. The statistic method applied was the Completely Randomized Block Design with three replications. The results were analysed by SAS software. The SRI presented the best grain yield (6130kg/ha) while the Conventional and Straight Row transplanting systems performed 4433 kg/ha and 3880 kg/ha respectively. Also, the SRI has the best hulling performance, being the Straight Row transplanting the worst one. In the milling the SRI presented the best performance within a 53.67 % and 58.40 %. The tillers production was the agronomic characteristic that had the most influence in the performance overall, and was the SRI the one with the better tillers / m<sup>2</sup>. The transplanting of young rice plants (15 days old) in SRI could lead to a better performance because they have a higher potential of tillering compared to the 30 days old plants.

**Key words:** Systems, transplanting, performance, IR 43

## I. INTRODUCCION

El arroz es un alimento básico para más de la mitad de la población mundial (FAO, 2009) y a la vez el cultivo que consume más agua en el sector agrícola (Bouman, 2007).

En el Perú el consumo *per-cápita* de arroz es de 63.5 Kg/año, siendo un alimento esencial de la canasta básica familiar de los peruanos por su gran aporte calórico (MINAG, 2013). Es el producto que más aporta al PBI agropecuario y agrícola, genera la mayor cantidad de empleos en el sector agrario. En el año 2013 aportó con el 4.85 por ciento del PBI agropecuario y con el 8.23 por ciento del PBI agrícola del país. En relación a la generación de empleos, contribuye con 44.78 millones de jornales que equivalen a 161 300 empleos anuales permanentes, convirtiéndose en el cultivo en crear la mayor cantidad de empleos en el sector agrario, lo que explica su gran influencia económica y social en el medio rural. Se estima que la inversión de mano de obra representa casi el 30% de la producción bruta arrocera nacional (MINAG, 2013).

En el Perú se siembran aproximadamente 395 030 hectáreas de arroz, con una producción de 3 043 776 toneladas de arroz cáscara y un rendimiento promedio de 7.7 tn.ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2016). Los rendimientos más altos se obtienen en la Costa con 10 a 11 tn.ha<sup>-1</sup> (MINAGRI, 2014) y los más bajos en Selva a secano donde se estima que los rendimientos no superan los 1500-2000 Kg/ha por carencia de tecnologías (Izurietta, 1968).

El sistema de siembra dominante en el cultivo de arroz es el transplante, bajo el cual se produce aproximadamente el 93 por ciento del cereal del país (MINAG, 2013). Este sistema demanda un alto consumo de agua para mantener inundados los campos de arroz. En la región de la Costa varía de 12,000 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> (Valle Chancay- Lambayeque) a 20, 000 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> (Valle del Chira, parte alta). Los altos volúmenes de agua aplicados tienen gran impacto en la elevación de la napa freática y la salinización de los suelos en las partes bajas de los valles arroceros, y además en condiciones de sistemas inundados hay grandes emisiones de metano lo cual conlleva a un gran deterioro ambiental.

Las proyecciones muestran que para alimentar a una población mundial de 9100 millones de personas en el 2050 es necesario aumentar la producción de alimentos en un 70 por ciento (FAO, 2009). Es difícil no alarmarse ante semejantes cifras, sobre todo cuando mientras la población aumenta, los recursos están disminuyendo. ¿Cómo se alimentarán entonces las generaciones futuras? , si a esto se suma los efectos del cambio climático las consecuencias podrían ser devastadoras.

Científicos han estimado que para el año 2025, 15 a 20 millones de hectáreas de arroz irrigado tendrán problemas de diferentes niveles de escasez de agua (IRRI, 2013). En nuestro país los Valles de la Costa serían los más afectados porque no podrían mantener los sistemas de riego con inundación continua en arroz. Por lo tanto es imprescindible la búsqueda de nuevos sistemas de producción y el mejoramiento de los actuales que conduzcan a una mayor producción de arroz sin deteriorar el medio ambiente.

El reto para la producción sostenible de arroz consiste en reducir la cantidad de agua utilizada y mantener o aumentar los rendimientos para satisfacer las demandas de una población cada vez mayor. La necesidad de producir más alimentos conlleva a buscar alternativas de producción donde se obtenga “más con menos”, y un nuevo sistema de cultivo es el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz (S.I.C.A). Adoptando este sistema podríamos incrementar los rendimientos empleando menos insumos: menor número de plantas y menor consumo de agua; además proteger el suelo y el medio ambiente. En el S.I.C.A se emplea una sola plántula por golpe mientras que en el sistema de transplante convencional se emplean 4-5 plántulas por golpe.

El S.I.C.A es un sistema que se originó y desarrolló en Madagascar durante la década de 1980 por Henri de Laulanié y fue promovido por el Dr. Norman Uphoff, director del Instituto Internacional de la Alimentación, la Agricultura y el Desarrollo, de la Universidad de Cornell quien promocionó después de décadas de observación y experimentación comprobando que el S.I.C.A podría contribuir a incrementar la producción de arroz con una menor tasa de riego (Berkelaar ,2001), y brindar rendimientos agrícolas altos, por encima de los obtenidos con el sistema convencional (Pérez, 2002).

El S.I.C.A si bien es cierto se originó en Madagascar, hoy en día ha sido probado con éxito en muchos países: China, Indonesia, India, Japón, Filipinas, Sri-Lanka, Gambia, Camboya, Bangladesh, Laos, Myanmar, Nepal, Pakistán, Tailandia, Vietnam, Guinea, Zambia, Irán, Irak, Bután, Afganistán, Perú, Cuba, Brasil, Haití, Guyana, Colombia, entre otros (IRRI y FAO, 2015).

En el Perú también existe la necesidad de incrementar la producción de arroz, por la demanda creciente de la población, además frente al cambio climático es indispensable reducir el consumo de agua en el cultivo, por lo tanto el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz (S.I.C.A.) es un tema importante de investigación.

En el presente trabajo se realizará la comparación de tres sistemas de transplante, con la finalidad de evaluar la productividad de cada uno de ellos. Los objetivos del presente trabajo de investigación fueron los siguientes:

**Objetivo general:**

- Determinar la productividad del cultivo de arroz bajo tres sistemas de transplante manual en el Valle de Jequetepeque.

**Objetivos específicos:**

- Identificar qué características agronómicas influyen en la variación de los rendimientos en los sistemas de trasplante manual.
- Evaluar la influencia de los sistemas de trasplante manual en la calidad molinera del grano pilado de arroz.

## **II. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1 IMPORTANCIA DEL ARROZ**

El arroz (*Oryza sativa* L.) es la principal fuente de alimento para casi más de la mitad de la población mundial (Rajendran y Ganesa, 2014), y provee el 21 y 15 por ciento de energía y proteína, respectivamente. Según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) el Perú es el segundo productor de arroz en América Latina después de Brasil y está dentro de los 6 países más rendidores del mundo.

En el Perú el arroz es uno de los principales cultivos de importancia nacional, y es considerado un alimento esencial en la canasta básica familiar de los peruanos por su gran aporte calórico, siendo el consumo per cápita de arroz de 63.5 Kg/persona/año. El arroz es el producto que más aporta al PBI agropecuario y agrícola, y además es el que genera la mayor cantidad de empleos en el sector agrario (MINAG, 2013).

### **2.2 CLASIFICACION TAXONÓMICA**

Según Tinoco *et al.* (2009; citado por Ortiz, 2016), el arroz pertenece al grupo de las fanerógamas, tipo espermatofita, subtipo angiospermas. Respecto a su clasificación taxonómica, el arroz es una especie clasificada de la siguiente manera:

- División: Magnoliophyta
- Clase: Monocotiledónea
- Orden: Poales
- Familia: Poaceae
- Género: *Oryza*
- Especie: *Oryza sativa* L.

## **2.3 SISTEMAS DE CULTIVO DE ARROZ**

Tradicionalmente el arroz en el Perú se ha cultivado bajo dos sistemas: siembra directa y transplante, siendo este último el más difundido y empleado actualmente en las zonas arroceras del país (Heros, 2012). Solamente en pequeñas áreas de la costa se siembran directamente a pesar de los buenos rendimientos. En selva baja, la siembra se realiza a tacarpo (siembra en hoyo) y en selva alta al voleo en pozas al batido.

En el sistema de siembra directa la planta crece y madura en el mismo lugar que ha ocurrido la germinación, mientras que en el sistema por transplante la germinación y una parte del crecimiento de la plántula se da en el almácigo; el crecimiento completo y la maduración se llevan a cabo en el terreno definitivo.

El sistema por transplante se inició en la costa peruana en 1933 (Gonzales, 1945) con el objetivo de adecuar las siembras a las incertidumbres de la disponibilidad de agua. En aquella época las variedades eran de ciclo sumamente tardío (200-250 días) y los almácigos se sembraban en los meses de octubre y noviembre y pasaban gran parte de su fase vegetativa ocupando un área pequeña y consumiendo poca agua hasta que la descarga de los ríos aumentasen para realizar los trasplantes.

## **2.4 SISTEMA INTENSIVO DE CULTIVO DE ARROZ (S.I.C.A)**

### **2.4.1 HISTORIA DEL S.I.C.A**

En 1983 después de dos décadas de observación y experimentación Henri de Laulanié sintetizó el Sistema de Intensificación del Arroz (en inglés System of Rice Intensification) (Laulanié, 1993; citado por Dhital, 2011). En países de América Latina como Perú y Cuba este sistema es denominado Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz (S.I.C.A).

Bajo las presiones de una sequía y escasez de semillas de arroz, Laulanié comenzó a experimentar en su escuela agrícola cerca de Antsirabe (1500 m de elevación). Los

experimentos se centraron inicialmente en el trasplante de plántulas de arroz muy jóvenes de apenas 10-15 días de edad en un espaciamiento bastante amplio y en suelos húmedos con riego intermitente. Bajo tales condiciones Laulanié observó un incremento en la producción de macollos y raíces, así como en el número de panículas y tamaño de panícula, contribuyendo a un alto rendimiento de grano (Dhital, 2011).

Los rendimientos obtenidos por los pequeños agricultores con el S.I.C.A oscilaban entre 7 a 15 toneladas/ha muy por encima del promedio nacional que era de 2 toneladas/ha, a pesar de la baja fertilidad de los suelos (Stoop *et al.*, 2002). Frente a estos resultados obtenidos por Laulanié, los pequeños agricultores de Madagascar quedaron cautivados y adoptaron el S.I.C.A en pequeñas parcelas desde 100-5000 m<sup>2</sup> y obtuvieron rendimientos de 8 a 9 toneladas/ha (Hirsch, 2000).

En 1990 Laulanié ayudó a establecer una ONG llamada Association Teffy Saina (ATS) con la finalidad de introducir el S.I.C.A en todo Madagascar. Ya en 1994 la ATS comenzó a trabajar con el Instituto Internacional de Cornell para la Alimentación, la Agricultura y el Desarrollo (en inglés CIIFAD) para dar a conocer el potencial del S.I.C.A (Dhital, 2011).

Los principios del S.I.C.A han sido probados con éxito en más de 40 países, tanto de Asia, África, América Latina. Países como: India, China, Indonesia Laos, Sri Lanka, Bangladesh, Camboya, Las Filipinas, entre otros. Recientemente en América Latina en países como: Cuba, Brasil, Ecuador (Uphoff *et al.*, 2011). Este sistema ha sido probado con la finalidad de verificar si el S.I.C.A potencialmente podría contribuir a incrementar la producción de arroz con una menor tasa de riego (Stoop *et al.*, 2002).

#### **2.4.2 DESCRIPCIÓN DELS.I.C.A**

El Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz (S.I.C.A) es una innovación tecnológica en los sistemas de producción de arroz que aún está evolucionando (Uphoff y Kassam, 2009). La mayor parte de la adopción del S.I.C.A ha sido en Asia, donde se produce el 90% del arroz a nivel mundial.

Este sistema se basa en la modificación de algunas prácticas de manejo agronómico en los sistemas de producción convencional de arroz irrigado; que fueron recomendados por Laulanié, basado en sus 34 años de trabajo con agricultores y con sistemas de arroz en Madagascar (Laulanié, 1993, 2003; citado por Uphoff y Kassam, 2009), tales como la edad de plántula para el trasplante, el número de plántulas por golpe y el manejo del agua para el riego. Estos cambios en las prácticas culturales descubiertos e integrados por Laulanié, tenían la finalidad de mejorar la productividad y producción de arroz de los pequeños agricultores, para aliviar el hambre y la pobreza (Uphoff, 2006; citado por Uphoff y Kassam, 2009).

Uphoff y Kassam (2009) mencionan que estas prácticas de manejo como el tiempo de trasplante, espaciamiento, gestión del agua dentro del sistema de cultivo de arroz no son definitivas y que debería ser objeto de más elaboración y revisión, en particular por parte de los agricultores, y además debería adaptarse a las condiciones locales.

El S.I.C.A es un sistema que pretende intensificar el manejo del arroz, disminuir el consumo de agua de riego y el uso de agroquímicos, aumentando los rendimientos de un alimento básico para el mundo (Laulanié, 1993). Además permite a los agricultores producir más con menos, al reducir la demanda de agua, semillas y las emisiones de metano frente al cambio climático.

Este sistema se basa en el desarrollo de plantas vigorosas mediante prácticas de manejo que reducen la competencia entre plantas durante etapas tempranas de crecimiento. Estas plantas producen de 30 a 100 macollos por planta (muchas de ellas efectivas) dependiendo de los distanciamientos de siembra, lo cual permite obtener rendimientos superiores a los obtenidos en los sistemas tradicionales (Stoop *et al.*, 2002)

Batuvitage (2002; citado por Sinha y Talati, 2007) menciona que el S.I.C.A puede ser considerado como una alternativa sustentable para la producción de arroz porque reduce los costos y aumenta los rendimientos. Pérez (2002) menciona que el S.I.C.A es capaz de brindar rendimientos agrícolas altos, por encima de los obtenidos por el sistema tradicional, pero que su implementación resulta idóneo solo en áreas pequeñas.

El S.I.C.A no es necesariamente una producción orgánica, aunque se recomiende la aplicación de materia orgánica. Inicialmente, el S.I.C.A se desarrolló en la década de 1980 con fertilizantes minerales que se utilizaron para aumentar la fertilidad del suelo, porque se creía necesario mejorar los rendimientos de los suelos muy pobres en Madagascar. En ese momento, los subsidios del gobierno hicieron que los fertilizantes minerales fueran asequibles para los agricultores pobres, pero cuando estos subsidios fueron eliminados, el S.I.C.A se desplazó a depender de compost hecho de paja de arroz y cualquier otra biomasa disponible. Laulanié descubrió que se podrían obtener mejores resultados, basándose plenamente en la materia orgánica para la fertilización del suelo (Uphoff y Kassam, 2009).

Sin embargo los agricultores que no tienen acceso a suficiente biomasa para practicar el S.I.C.A orgánico pueden beneficiarse con el uso de fertilizantes minerales (Uphoff y Kassam, 2009).

### **2.4.3 PRINCIPIOS DEL S.I.C.A**

Laulanié estableció una serie de prácticas básicas, aunque no son prácticas estándares a seguir en todas las regiones o estaciones agroclimáticas. Estas prácticas que caracterizan al S.I.C.A incluyen:

- a) Transplante de una plántula por golpe.
- b) Transplante de plántulas jóvenes de 8-15 días de edad con dos a tres hojas.
- c) Distanciamiento entre plantas de 0.25 cm x 0.25cm
- d) Mantenimiento del suelo en condiciones aeróbicas antes que inundaciones continuas durante el periodo vegetativo.
- e) Adiciones de materia orgánica.
- f) Control manual de malezas con escarda para mejorar la aireación en el suelo.

#### **a) Transplante de una plántula por golpe**

La finalidad de transplantar una plántula por golpe es para reducir la competencia con otras plantas por espacio, luz, agua y nutrientes en el suelo y además permitir un mayor desarrollo radicular y mejor macollamiento (Berkelaar, 2001).

Mishra *et al.*, (2006) sostiene que al transplantar una plántula por golpe se incrementa la longitud y actividad de la raíz dando como resultado un mejor desarrollo del área foliar y una mayor actividad fotosintética por las hojas viejas.

Una mayor actividad de raíces a su vez suministra citoquinina a las hojas inferiores, retrasando la senescencia y ayudando a mantener la eficiencia de la fotosíntesis de la planta (Dhital, 2011). Este resultado ha sido confirmado por un hallazgo en el que una sola plántula por golpe tuvo un rendimiento más alto en comparación con tres plántulas por golpe (San-oh *et al.*, 2006; citado por Dhital, 2011).

#### **b) Transplante de plántulas jóvenes**

El transplante temprano en conjunto con otras prácticas permite una mejor expresión del potencial de macollamiento en las plantas de arroz (Asociación Teffy Saina, 1992; citado por Dhital, 2011).

Con el S.I.C.A el transplante es temprano y se realiza con plántulas de 8 a 15 días de edad, concordante con la aparición de la segunda a tercera hoja (Stoop *et al.*, 2002), el transplante debe ser rápido (entre 15-30 minutos) porque puede generar estrés en la plántula y reducirse macollamiento; la siembra debe ser poco profunda (1-2 cm) para no dañar el sistema de raíces.

Nemoto *et al.*, (1995) señalan que el transplante debe realizarse antes del inicio del cuarto phyllochron de crecimiento. Otros proponentes del S.I.C.A recomiendan el transplante de las plántulas durante el tercer phyllochron, en la etapa cuando la planta tiene únicamente dos hojas para evitar la disminución en el macollamiento y crecimiento de la raíz (Laulanié, 1993). Cabe mencionar que las plántulas jóvenes requieren mayor cuidado durante el transplante.

El trasplante de plántulas muy jóvenes, generalmente de 8-10 días de edad, no más de 15 días de edad, tienen mayor macollamiento y enraizamiento. El macollamiento se reduce si el trasplante se realiza durante el cuarto phyllochron (Uphoff, 2002; citado por Rajendran y Ganesa, 2014). El trasplante de plántulas muy jóvenes

preserva el potencial de macollamiento y crecimiento de las raíces (Balasubramanian *et al.*, 2005; citado por Rajendran y Ganesa, 2014).

Uphoff (2001) señala que al transplantar plántulas jóvenes se conserva el potencial de macollamiento de la planta, a diferencia de los trasplantes tardíos. Katayama (1951) menciona que es beneficioso el trasplante de plántulas jóvenes con menos de cuatro hojas, porque tiene un alto potencial para producir más macollos por planta.

Estudios recientes en el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz mostraron incluso que el trasplante de plántulas jóvenes de 14 días de edad genera altos rendimientos que plántulas de 21 a 23 días de edad. (Makarim *et al.*, 2002; Thiyagarajan *et al.*, 2002; citado por Pasuquin *et al.*, 2008).

**c) Distanciamientos**

Los distanciamientos entre golpes para este sistema varían desde 25 cm x25 cm, 30 cm x30 cm hasta 50 cm x50cm, siendo el distanciamiento óptimo de 25 cm x 25 cm. Los distanciamientos pueden incrementar o disminuir según la fertilidad del suelo (Stoop *et al.*, 2002; Uphoff, 2003).

Espacios amplios en el S.I.C.A mejoran la productividad individual por golpe (Menete *et al.*, 2008), pero no es suficiente para compensar los altos rendimientos, como los que se consigue con menores distanciamientos en el cultivo convencional (Sheehy *et al.*, 2004). Thakur *et al.*, (2010) mencionan que con distanciamientos de 50 cm x 50cm los rendimientos suelen disminuir debido a una menor población de plantas.

**d) Irrigación intermitente durante la fase vegetativa**

A diferencia del sistema de trasplante convencional en el S.I.C.A se aplica un mínimo de agua durante la fase de crecimiento vegetativo con la finalidad de mantener el suelo húmedo pero no inundado. En la fase reproductiva después de la iniciación de la formación de la panícula, los campos sí deben mantenerse inundados

con una fina capa de agua (1-3 cm), y deben drenarse 10-15 días antes de la cosecha (Sinha y Talati, 2007).

Boonjung y Fukai (1996) mencionan que el crecimiento de las plantas no es afectado cuando son expuestas a limitaciones de agua durante la etapa vegetativa. Las condiciones de campo drenado podrían inducir una mayor actividad de las raíces mediante el aumento de la respiración de las raíces y la revitalización de las raíces, dando como resultado una mayor área foliar y actividad de la fotosíntesis, así como un mayor rendimiento (Tsuno y Wang, 1998; citado por Dhital, 2011).

Ramamoorthy *et al.*, (1993) mencionan se podría ahorrar entre un 25 a 50 por ciento de agua mediante riegos intermitentes sin tener ningún efecto adverso en la producción de arroz. Yoshida (1981) indica que los intervalos de irrigación intermitente varían con las características del suelo y las condiciones climáticas.

Con las secas intermitentes los niveles de zinc aumentan corrigiendo las deficiencias de los suelos ácidos, aumentando los rendimientos, debido a un mayor crecimiento, macollamiento y buen llenado de grano (IRRI, 2013).

En el arroz irrigado intermitentemente se producen más macollos (Gupta *et al.*, 1976; Hossain *et al.*, 2002; citado por Dhital, 2011). Las condiciones en el S.I.C.A facilitan un ambiente óptimo para la expresión del macollamiento (Laulanié, 1993; citado por Dhital, 2011).

#### **e) Adición de materia orgánica**

La incorporación de materia orgánica fue considerada parte del S.I.C.A, porque los agricultores de Madagascar contaban con grandes cantidades a nivel local y además porque no podían acceder a los fertilizantes minerales por los altos costos y disponibilidad limitada (Stoop *et al.*, 2002).

Sinha y Talati (2007) señalan que la aplicación de compost en lugar de los fertilizantes químicos mejora las propiedades del suelo. Yang *et al.*, (2004) señalan que la incorporación de materia orgánica en el suelo puede ocasionar un efecto benéfico para el crecimiento de la raíz al promover un ambiente físico, químico y biológico favorable. El efecto es el incremento de la densidad radicular y buena absorción de nutrientes.

La ventaja de utilizar compost ha sido evaluada en muchos ensayos (Uphoff, 2003). Sin embargo si la disponibilidad de la fuente orgánica y los nutrientes son insuficientes puede también usarse fertilizantes químicos en las prácticas del S.I.C.A (Dhital, 2011).

#### **f) Control de malezas**

El control de malezas puede ser mecánico o manual, debe realizarse como mínimo tres veces, a los 10-12, 22-25 y 40-42 días después del transplante (Stoop *et al.*, 2002). El deshierbo debe empezar a los 10-12 días después del trasplante, para evitar la competencia de malezas, para airear y fertilizar la tierra, además se debe hacer varias veces antes de que el dosel del cultivo se cierre.

#### **2.4.4 VENTAJAS DEL S.I.C.A.**

Dado que los campos en el S.I.C.A no se mantienen inundados continuamente, los requerimientos de agua se reducen, generalmente en un 25 a 50 por ciento. En Indonesia el ahorro de agua calculado ha sido 40 por ciento, en Filipinas y Sri Lanka; 67 y 25 por ciento respectivamente (Sato, 2006). Además permite aumentar los rendimientos de arroz en un 25 a 50 por ciento o más; y se ve reflejado en un mayor ingreso para los agricultores (Satyanarayana *et al.*, 2007). En Madagascar se ha reportado que el S.I.C.A ha aumentado los rendimientos en un 100 a 200 por ciento (Randriamiharisoa y Uphoff, 2002).

El S.I.C.A tiene la ventaja de reducir la cantidad de semilla y el tamaño del almácigo. Las tasas de siembra se reducen drásticamente a 5-10 kg de semilla/ha con el S.I.C.A.; mientras que en el sistema de transplante convencional se emplea 60 kg de semilla/ha (Dhital, 2011).

Styger (2009) menciona que con el S.I.C.A hay un ahorro de semilla de hasta 90 por ciento; este ahorro de semilla es un verdadero beneficio para los agricultores pobres (Satyanarayana *et al.*, 2004; citado por Dhital, 2011).

Los arrozales son uno de las mayores fuentes antropogénicas de metano atmosférico (IPCC, 2007). Siendo el arroz inundado la mayor fuente de emisión de metano (Neue, 1993; citado por Dhital, 2011), con un flujo de emisión mundial de 60 teragramos de metano al año (Hube *et al.*, 2015).

Yang *et al.*, (2009) indica que las emisiones de metano son menores en el S.I.C.A por el drenado de los campos, a diferencia de los sistemas tradicionales.

En general, los cultivos de arroz bajo el S.I.C.A son menos vulnerables a los daños causados por plagas y enfermedades. Según el Programa Nacional de Manejo Integrado de Plagas en Vietnam con el S.I.C.A se alcanzó entre 55 a 70 por ciento de tasas más bajas de enfermedad y prevalencia de plagas versus plantas de arroz convencionalmente cultivadas de la misma variedad. Se han documentado reducciones similares en las evaluaciones de la Universidad Agrícola de Tamil Nadu en India (Thiyagarajan, 2004; citado por Uphoff y Kassam, 2009).

#### **2.4.5 POSIBLES DESVENTAJAS DEL S.I.C.A**

Debido a las condiciones más secas del suelo y al transplante de plántulas jóvenes los agricultores generalmente tienen que desmalezar más las parcelas a diferencia del sistema de transplante convencional.

Estudios realizados en el 2003 concluyeron que el S.I.C.A requiere de mucha mano de obra para el control de las malezas, es por ello que la desadopción del S.I.C.A ha sido alta en Madagascar casi en 40 por ciento por parte de los agricultores quienes consideran que el desmalezado es una labor intensa (Moser y Barret, 2003). Sin embargo en el 2004 se concluyó que con el tiempo los agricultores adquieren experiencia con las nuevas técnicas, aumenta la habilidad y realmente ocurre una reducción en la cantidad de mano de obra requerida (Barrett *et al.*, 2004).

En Bangladesh el S.I.C.A requiere 25 a 35 por ciento más mano de obra para el desmalezado en comparación al sistema tradicional (Latif *et al.*, 2005). Uphoff (2002) menciona que el uso de herbicidas puede reducir el costo del desmalezado.

#### **2.4.6 RENDIMIENTOS DEL S.I.C.A VERSUS TRANSPLANTE CONVENCIONAL**

Estudios realizados por Stoop *et al.*, (2002) sostienen que el S.I.C.A tiene el potencial de producir rendimientos de grano por encima de 10 tn.ha<sup>-1</sup>. Sin embargo se requiere la adopción de un paquete agronómico (control de malezas oportunos, buen suministro de agua) que permita a las variedades expresar plenamente su potencial. Mientras que Uphoff (1999) menciona que el S.I.C.A contribuye a incrementar los rendimientos, sin importar la variedad de arroz que se utilice; sólo se debe proveer las condiciones óptimas de crecimiento para el cultivo; y que los beneficios del sistema son irrefutables (Uphoff *et al.*, 2010).

Ensayos de investigación realizados en la cuenca de Thamirabarani en la India, en campos de pequeños agricultores demostraron que los rendimientos de grano con el S.I.C.A y transplante convencional eran 7227 y 5657 Kg.ha<sup>-1</sup> respectivamente; comprobándose que el S.I.C.A incrementó el rendimiento en 21.7 por ciento (1.56 tn.ha<sup>-1</sup>); mientras que estudios realizados en Andhra Pradesh demostraron que la ventaja en el rendimiento de grano con S.I.C.A oscila entre 21 a 30 por ciento y el aumento de número de granos/panoja varió de 38 a 66 por ciento, con un incremento promedio de 48 por ciento en comparación con el transplante convencional (SRI-India, 2009).

Ensayos realizados entre 2007-2008 en Malí, han demostrado que los rendimientos con el sistema S.I.C.A son superiores en comparación al sistema de transplante convencional, siendo 9 tn.ha<sup>-1</sup> vs 6.7 ton.ha<sup>-1</sup> respectivamente (Styger, 2009).

Ensayos realizados en el 2008 en Baghlan Provincia de Afganistán, han reportado un rendimiento promedio de 10.13 tn.ha<sup>-1</sup> con el S.I.C.A mientras que con los sistemas convencionales han obtenido 5.41 tn.ha<sup>-1</sup>.

En el norte de Myanmar a través de la Escuela de Campo para Agricultores (ECA), se realizó la evaluación de la introducción del S.I.C.A en la cual participaron 612 agricultores durante cuatro años y se encontró que estas estrategias agronómicas del sistema S.I.C.A dieron resultados positivos. Los rendimientos medios con el S.I.C.A fueron  $6.4 \text{ tn.ha}^{-1}$  en comparación con los rendimientos medios anteriores de los agricultores de  $2.1 \text{ tn.ha}^{-1}$ . El S.I.C.A aumento los rendimientos en un 67.2 por ciento (Kabir y Uphoff, 2007).

En Madagascar el sistema ha sido adoptado por un buen número de pequeños agricultores, que han obtenido impresionantes rendimientos que van desde 6 a  $15 \text{ tn.ha}^{-1}$  en comparación con las prácticas habituales en el sistema de transplante convencional con 2 a  $3 \text{ tn.ha}^{-1}$ . También en otros lugares, sobre todo en Asia (China, Indonesia, Sri Lanka y Bangladesh) el sistema ha sido probado con resultados prometedores (Stoop *et al.*, 2002).

En 1994 en Ranomafana (Madagascar) se reportó que con el S.I.C.A empleando variedades de alto rendimiento y fertilizantes químicos el rendimiento promedio ha sido  $5 \text{ tn.ha}^{-1}$ , comparado con el sistema convencional  $2 \text{ tn.ha}^{-1}$  (Del Castillo y Peters, 1994).

#### **2.4.7 EL S.I.C.A EN EL PERÚ**

Estudios realizados en Tumbes en el 2005 han demostrado que con el S.I.C.A, empleando plántulas del cultivar IR 43 con 15 días de edad y sembrando 2 plántulas/golpe, a un distanciamiento de  $0.25\text{m} \times 0.25\text{m}$  los rendimientos fueron superiores al sistema de transplante convencional, en el cual se empleó plántulas de 30 días de edad (4-6 plántulas por golpe) con los mismos distanciamientos. Los rendimientos obtenidos con el S.I.C.A fueron  $9.1 \text{ tn. ha}^{-1}$  en comparación al sistema de transplante convencional que fue de  $7.8 \text{ tn.ha}^{-1}$ . El S.I.C.A incrementó los rendimientos en un 14.29 por ciento (Castillo, 2009).

La viabilidad del S.I.C.A en el país ya ha sido demostrada por el Proyecto “Competitividad del Cultivo de Arroz en Alto Mayo” (Rioja, San Martín), al incrementarse la productividad promedio de 5 hasta 9-11 toneladas por hectárea, con tendencia a mucho más y con 10 a 20 por ciento menos de costo. En este ensayo se evaluó la adaptabilidad del S.I.C.A en 6 variedades de arroz, en la cual se emplearon distanciamientos de  $0.25 \text{ m} \times 0.25\text{m}$  y  $0.50 \text{ m}$

x 0.50m. El rendimiento más alto fue de 11.2 tn.ha<sup>-1</sup> (0.25m x 0.25m) y se obtuvo con la variedad IR 43 con plántulas de 12 días de edad y el rendimiento más bajo fue de 5.06 tn.ha<sup>-1</sup> a un distanciamiento de 0.25m x 0.25m y se obtuvo con el cultivar Capirona (Fernández, 2003).

Uno de los factores esenciales a considerar para el éxito del S.I.C.A, es que aún en el Perú todas las variedades desarrolladas están adaptadas a condiciones de inundación, lo cual debe ser un tema de investigación para desarrollar variedades tolerantes a sequía. Otro de los factores a considerar sería el control del régimen hídrico y las necesidades de riego que varía en función de las características del suelo.

## **2.5 SISTEMA DE TRANSPLANTE CONVENCIONAL**

El transplante es una práctica generalizada en la mayoría de los países asiáticos (Mabbayad y Obordo, 1971). Es un sistema de siembra indirecto en el cual las plantas crecen inicialmente en un almácigo y posteriormente se transplantan a campo definitivo. Hossain *et al.*, (2002) señala que es el sistema de siembra más empleado en la mayoría de países porque hay un eficiente manejo de malezas y los rendimientos económicos son mayores en comparación al sistema de siembra directa.

En el Perú, el transplante convencional es el sistema de siembra predominante y se practica en más del 90 por ciento de las áreas arroceras irrigadas, en valles arroceros de la Costa y Selva alta (Heros, 2012). Este sistema se inició en la Costa peruana en 1933 (Gonzales, 1945) con la finalidad de un mejor aprovechamiento del agua de riego de los ríos costeros de régimen eventual, utilizar e incorporar suelos salinos, permitir el control eficiente de malezas, disminución del riesgo por falta de agua y una maduración más uniforme del cultivo.

## 2.5.1 ETAPAS QUE CONTEMPLA EL TRANSPLANTE CONVENCIONAL

Este sistema de cultivo de arroz contempla tres etapas: a) Siembra y crecimiento de almácigos, b) Saca de plántulas del almácigo y c) Ejecución del transplante.

### a) Siembra de almácigos

Antes de iniciar la siembra en almácigo, las semillas deben ser sometidas a remojo y abrigo con la finalidad de aumentar la velocidad y uniformidad de la germinación. Previamente al voleo de las semillas, los suelos del almácigo deben estar batidos y nivelados.

Para “volar” la semilla, el agua debe estar en reposo y sin turbidez para observar la distribución (agua clara). El operador desde los bordos va lanzando la semilla hacia las pozas (comúnmente se denomina “voleo”), de manera uniforme, hasta cubrir el fondo de la poza (Heros, 2012).

La cantidad de semilla seca que se vuela en las pozas de almácigo es variable y está en función de las condiciones climáticas de la zona. Varían de 150-300 gramos de semilla.m<sup>-2</sup> de almácigo, siendo la densidad de siembra en los Valles del Sur más altas, 200-300 gramos de semilla.m<sup>-2</sup> de almácigo, por efecto de las bajas temperaturas; mientras que en el Valle Jequetepeque varían de 180-250 gramos de semilla.m<sup>-2</sup> de almácigo (Heros, 2012).

El rendimiento de una hectárea de almácigo (relación entre área de almácigo y área de transplante) es de 20-30 hectáreas de campo definitivo. Las dimensiones de las pozas de almácigo son variables. En el Valle Jequetepeque son las de mayores dimensiones teniendo de 8-10m de ancho y un largo de 30-60m, dependiendo de la pendiente del suelo.

### b) Saca de plántulas del almácigo

Consiste en extraer las plántulas del almácigo, cogiéndolas de los tallos y hojas, en manojos; luego se procede a lavar las raíces y finalmente se forman “garbas”, las

cuales son transportadas a las pozas de trasplante. Las plántulas que se extraen del almácigo alcanzan una altura de 25-30 cm. En la costa norte se logra a los 30-35 días después de la siembra y en selva alta a los 20 días (Heros, 2012).

Previamente a la “saca” debe verificarse que el almácigo no haya tenido deficiencias de agua, porque la “rotura de las plántulas” puede ser muy alta, bajando el rendimiento del almácigo y el prendimiento de las plántulas.

La calidad del almácigo es indispensable para el éxito del cultivo. Se requieren de plántulas sanas y vigorosas, libre de ataques de insectos y enfermedades (Heros, 2012).

### **c) Ejecución del trasplante**

El trasplante en el Perú se efectúa en su totalidad a mano por cuadrilla de hombres, mujeres y adolescentes. Antes del trasplante, las pozas deben tener una capa de agua de 2-3 cm para efectuar el plantío. Cada operario tomará 4-8 plántulas (“golpe”) y las introducirá en el suelo del campo definitivo donde se completará el periodo vegetativo y se realizará la cosecha. Los golpes se van colocando al azar, pero procurando en lo posible mantener los distanciamientos entre golpes (Salhuana y Sánchez, 1969).

Condición indispensable para el trasplante es que transcurra el menor tiempo posible entre el arrancado de las plántulas y su trasplante, que se suelen marchitar rápidamente. En caso que transcurra horas entre ambas operaciones, habrá que conservar mojas o sumergidas en agua las raíces de las plantas.

Antes de ejecutar el trasplante es recomendable tomar en consideración, la edad de las plántulas, la época de siembra y la disponibilidad de agua.

## **2.5.2 DENSIDAD DEL TRANSPLANTE**

El espaciamiento entre “golpes” es un factor importante, que debe tomarse en consideración al trasplantar. Un espaciamiento inadecuado entre plantas puede reducir el rendimiento potencial en 25-30 por ciento. INTA (2009) señala que el espaciamiento óptimo para un rendimiento máximo depende de la variedad, la fertilidad del suelo y la época de transplante.

De Datta (1986) menciona que la distancia entre golpes tiene más influencia que el número de plantas por golpe en el rendimiento.

El tipo varietal y su capacidad de macollamiento determinan principalmente la densidad del cultivo. Para los cultivares semienanos macolladores como IR 43, la densidad de golpes varía de 16-25 golpes por metro cuadrado. En la costa del Perú los golpes se colocan a 25 cm x 25 cm, 25cm x 20 cm, 20 cm x20 cm. En Selva alta el transplante se practica con distanciamientos de 25cm x 20 cm, 20cm x20 cm (Heros, 2012).

El número de plántulas por golpe también es variable desde 6-10 plántulas por golpe. En almácigos densos, con plántulas delgadas, el número de plántulas por golpe es mayor que en los almácigos ralos, que tienen los tallos más gruesos. El número de plantas por golpes no influye en el rendimiento. A mayor número de golpes por metro cuadrado hay menor macollamiento por golpe y viceversa. A la cosecha el número de panojas/golpe varía de 20 a 26, independientemente del número de plantas/golpe, transplantadas.

Hernández (1985) indica que se debe transplantar mayor número de plantas para disminuir los efectos de un menor macollamiento en plantas de mayor edad en el transplante. También con la finalidad de prevenir las pérdidas causadas por daño por plagas (Salhuana y Sánchez, 1969).

De Datta (1986) menciona que es esencial tener una población uniforme que contenga el número óptimo de plántulas y una edad apropiada de transplante para el adecuado desarrollo del cultivo y alto rendimiento de grano.

### **2.5.3 EDAD DE PLANTA PARA EL TRANSPLANTE**

La edad en la cual debe practicarse la saca de las plantas de arroz de los almácigos depende mucho de la variedad (González, 1945). En general, cuánto más pronto madure la variedad, más pronto deben transplantarse las plántulas.

La edad óptima de las plantas para el transplante es antes que la planta de arroz inicie la fase de macollamiento, y como el rendimiento está en función del número de macollos y el peso de la panoja, si el material transplantado ha perdido su capacidad de macollaje bajará su rendimiento (Salhuana y Sánchez, 1969).

En los cultivares tradicionales tardíos, se determinó que la mejor época para soportar el transplante es cuando las plántulas del almácigo han alcanzado una altura de 30 centímetros (González, 1945), pero para los cultivares tipo IR, semitardíos, el mejor momento es cuando las plantas presentan 20-25 centímetros. De manera general en nuestras condiciones la altura promedio es de 30 centímetros. Plántulas más pequeñas exigen grandes cuidados como: terrenos bien nivelados, con capas delgadas de agua para que no se ahoguen (González, 1945).

Para el cultivar IR 43, se deben sacar las plántulas de almácigo preferentemente de 25-30 días, esta edad es favorable debido a que hay un mejor prendimiento sin causar estrés o marchitez.

### **2.5.4 ÉPOCA DE TRANSPLANTE**

La época de transplante es importante especialmente en los Valles de Jequetepeque y Lambayeque, cuánto más temprano se inicien los trasplantes mayores rendimientos se obtienen.

Para definir la época de transplante deben determinarse las épocas de siembras; que varían según la ubicación geográfica de los valles, porque dependen en gran manera de la

disponibilidad del recurso hídrico y temperaturas adecuadas para el inicio del cultivo. Las siembras más tempranas se inician en los Valles del Sur (Camaná, Ocoña, Majes y Tambo), desde Agosto- septiembre. En el Valle Jequetepeque las siembras se inician desde setiembre a diciembre. En el Valle Chancay a mediados de Noviembre hasta Diciembre y más al Norte desde Noviembre-Enero (Heros, 2012).

### **2.5.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

Las ventajas del sistema de transplante convencional del cultivo arroz incluye el incremento de la disponibilidad de nutrientes (por ejemplo, nitrógeno, zinc, fósforo), la supresión de malezas (De Datta, 1986), el fácil establecimiento de plántulas, y creación de condiciones anaeróbicas para mejorar la disponibilidad de los nutrientes (Sánchez, 1973).

En los sistemas de transplante de arroz cuando las nivelaciones de las pozas son imperfectas o cuando las plántulas tienen rotura de tallos, varios “golpes” mueren. En este caso es necesario realizar “recalces”, labor que consiste en colocar nuevos golpes en las áreas despobladas de la poza (Heros, 2012).

La labor de “recalce” genera un sobrecosto y debe en lo posible no realizarse y puede considerarse una desventaja porque sí el almácigo es más joven que las plántulas con las que se realizó el transplante, la maduración de los golpes recalzados es más tardío y a la cosecha tendrán granos inmaduros, inversamente, sí los recalces se realizan con plántulas más viejas, maduran más temprano y a la cosecha del campo estarán en sobre-maduración, afectando la calidad molinera (Heros, 2012).

Hashi-moto *et al.*, (1976) señala que el transplante es más laborioso, lento y caro que la siembra directa, considerando una desventaja.

## **2.6 SISTEMA DE TRANSPLANTE EN HILERAS**

En muchos países del sur y sureste de Asia, el arroz se transplanta en base a un espaciamento al azar. La siembra al azar es más común en el caso de arroz de temporal, particularmente si se cultivan variedades tradicionales, puede ser también en hileras (De Datta, 1986).

El transplante en hileras a diferencia del sistema de transplante convencional se caracteriza por seguir un patrón de distanciamiento uniforme. Este sistema de siembra puede realizarse con una transplantadora mecánica o de manera manual (De Datta, 1986).

El sistema de transplante en hileras es una modificación del sistema de transplante Japonés, que surgió como una forma de protección a los tifones que arrasaban los sembríos en Japón. El distanciamiento aproximado de transplante entre golpes es 5-10 cm, con un promedio de 2-3 plantas por golpe y 40 -60 cm entre hileras. El transplante japonés se realizaba en líneas paralelas; las cuales podían ser determinadas en el terreno por medio de una especie de grandes peines, que dejaban estampado marcas en el suelo cuando el transplante se hace en barro o bien con un cordel templado en los extremos de la parcela y que se va cambiando según las distancias adoptadas a medida que se termina de transplantar cada hilera, en el caso de hacerse el transplante en agua. La dirección que deben tomar las plantas transplantadas, estará dada por la posición de éstas, que le permita a las plantas recibir más luz solar, que es muy importante para activar el macollaje y crecimiento (Salhuana y Sánchez, 1969).

El espaciamento entre plantas es un factor de producción importante en el arroz transplantado, puede aumentar el rendimiento en un 25-40% sobre el espaciado incorrecto. Sembrar el arroz más cerca de lo necesario incrementa el costo del transplante y las posibilidades de que ocurra el acame. Por otra parte, el espaciamento del arroz mayor de lo necesario puede producir un menor rendimiento debido a que el número de plantas por área puede ser menor que el número óptimo necesario para obtener un alto rendimiento (De Datta, 1986)

En el Perú el sistema de transplante en hileras es utilizado por los agricultores del valle del Chira, Bajo Piura y algunos en Lambayeque, pero no se cuentan con trabajos recientes de investigación. En el Perú en Lambayeque en el año 2015 se realizó el transplante en hileras

con una densidad de 20 cm x 20 cm, con semilla de la variedad IR 43-NIR. En comparación a la campaña anterior el rendimiento se duplicó, obteniéndose 11 344 kilogramos/ha. (Agraria pe, 2015).

Para realizar el transplante en hileras se requiere de cordeles que se colocan a lo largo de cualquier línea de base de las pozas. Los extremos de los cordeles están sujetos con estacas. Después de verificar el distanciamiento se procede a colocar las plántulas de arroz.

### 2.6.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Las ventajas de transplante en hileras son las siguientes:

1. Facilita el deshierbo manual o puede utilizarse un escardador rotatorio.
2. Permite obtener una población óptima de plantas, y resulta más fácil aplicar herbicidas, insecticidas y fertilizantes.

La desventaja de este sistema de siembra es el alto costo de la mano de obra.

### 2.7 DIFERENCIAS DE MANEJO ENTRE EL S.I.C.A, TRANSPLANTE CONVENCIONAL Y TRANSPLANTE EN HILERAS

**Cuadro 1: Comparación del manejo del cultivo de arroz en tres sistemas de transplante**

Sistemas	Prácticas de manejo		
	Población	Edad de plántula	Manejo del agua
Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz	1 plántula/golpe	15 días	Riegos intermitentes durante la fase vegetativa.
Transplante convencional	4-5 plántulas/golpe distribuidas al azar	30 días	Inundación permanente durante el ciclo del cultivo (láminas de 5-10 cm).
Transplante en hileras	4-5 plántulas/golpe en hileras	30 días	Inundación permanente durante el ciclo del cultivo (láminas de 5-10 cm).

FUENTE: Elaboración propia

En los trópicos los agricultores transplantan a distintas edades de plántula, más entre 25-50 días después de la germinación (De Datta, 1981; Wagh *et al.*, 1988; Singh y Singh, 1999; citado por Pasuquin *et al.*, 2008). Recientes estudios en el Sistema Intensivo de Cultivo de

Arroz han demostrado que el transplante de plántulas jóvenes de 14 días ha generado altos rendimientos en comparación al transplante de plántulas de 21-23 días de edad (Makarim *et al.*, 2002; Thiagarajan *et al.*, 2002; citado por Pasuquin *et al.*, 2008).

En el Cuadro 1 se muestra que en el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz a diferencia del sistema de transplante en hileras y convencional se emplean plántulas de 15 días de edad. Sasaki (2004; citado por Pasuquin *et al.*, 2008) reportó un alto vigor cuando las plántulas son transplantadas en etapas tempranas con 2.3 a 2.5 hojas.

En el Perú se transplantan plántulas con 25-35 días de edad dependiendo de las zonas de producción. En el Valle de Jequetepeque normalmente con 30 días de edad.

En cuanto a la densidad de siembra, ésta tiene gran influencia en el macollamiento. El Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz se caracteriza por emplear una plántula por golpe mientras que en el sistema de transplante en hilera y convencional entre 4-5 plántulas /golpe como se muestra en el Cuadro 1.

En el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz los riegos son intermitentes durante la fase vegetativa y la altura de lámina de agua es variable dependiendo de las características del suelo, mientras que en los sistemas de transplante convencional e hileras los riegos son de inundación permanente durante las tres fases de crecimiento: vegetativa, reproductiva y maduración.

## **2.8 RENDIMIENTO Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO**

### **2.8.1 RENDIMIENTO**

El rendimiento es el objetivo principal en programas de mejoramiento. La mayoría de las investigaciones para mejorar los rendimientos en el cultivo de arroz se han orientado a incrementar la producción de biomasa mejorando el uso eficiente de la radiación e incrementar la biomasa cosechable para obtener un índice de cosecha más alto (Dhital, 2011).

Hay cuatro componentes que contribuyen significativamente al rendimiento de arroz, que son el número de panículas por unidad de área, número de granos totales por panícula, el peso de mil granos y el porcentaje de granos llenos (Fageria, 2007) ,cada componente se determina en diferentes etapas de crecimiento del cultivo.

### **2.8.2 NÚMERO DE PANÍCULAS**

El número de panículas es determinado en gran parte por el número de macollos que se desarrollan durante la fase vegetativa (De Datta, 1981; citado por Ming *et al.*, 2013).

### **2.8.3 NÚMERO DE GRANOS TOTALES POR PANÍCULA**

El número de granos totales por panículas es considerado un componente de rendimiento y es determinado en la etapa reproductiva (Yoshida, 1981). El factor más importante en la determinación del número de granos totales por panícula durante la etapa reproductiva es la cantidad de nitrógeno absorbido, a pesar de que la fotosíntesis también contribuye en la determinación del número de espiguillas (Ishii, 1995; citado por Fageria, 2007).

### **2.8.4 PORCENTAJE DE GRANOS LLENOS**

El porcentaje de granos llenos por panícula es un componente de rendimiento en arroz y es cerca de 85 por ciento bajo condiciones favorables (Yoshida, 1981).

La esterilidad de las espiguillas es alta cuando la radiación solar es baja durante la etapa del llenado de grano, porque hay una producción insuficientes de carbohidratos para sostener el crecimiento de todas las espiguillas (Yoshida, 1981).

### **2.8.5 PESO DE MIL GRANOS**

El peso de los granos en arroz es generalmente expresados en términos de peso de mil granos en gramos (Fageria, 2007).

El peso de mil granos no es influenciado por el método de establecimiento del cultivo, pero si es influenciado por la variedad (Dhital, 2011). Yoshida (1981) menciona que el peso de mil granos es determinado durante el llenado del grano y requiere una alta radiación y buen suministro de nutrientes.

## **2.9 MACOLLAMIENTO**

Macollamiento es un rasgo importante en los cultivos de cereales que optimiza la arquitectura de la planta para obtener el máximo rendimiento, que es determinado por el número de panículas por unidad de área. Entre los factores que influyen en el macollamiento están; el genotipo, profundidad de siembra, nutrientes, temperatura y agua.

La fertilización es un factor importante que afecta el macollamiento en arroz (Yoshida y Hayakawa, 1970; citado por Ming *et al.*, 2013). El nitrógeno es usualmente aplicado para promover el macollamiento (Zhong *et al.*, 2003; citado por Ming *et al.*, 2013)

La densidad de plantas es uno de los factores agronómicos más influyentes en el macollamiento del arroz (Yoshida, 1981; citado por Martínez, 2010). Cuando se siembra en profundidad o con alta densidad de semillas generalmente disminuye el número de macollos por planta.

La diferencia en la producción de macollos entre cultivares puede ser atribuido a caracteres varietales (Chandrashekar *et al.*, 2001; citado por Dhital, 2011), distinguiéndose cultivares con alta y baja capacidad de macollamiento (Martínez, 2010).

La producción de macollos aumenta rápidamente desde el macollamiento activo hasta la iniciación de la panícula y disminuye gradualmente hacia la floración y permanece casi constante durante la fase de maduración (Sing y Jain, 2000; citado por Dhital, 2011).

La gran cantidad de macollos efectivos por metro cuadrado en el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz podría ser debido a las plantas individuales con condiciones de crecimiento más favorables (Dhital, 2011).

## **2.10 CALIDAD MOLINERA**

La calidad del grano de arroz se puede medir de diversas formas, tanto por su rendimiento en molinería en porcentaje de grano entero, apariencia y por su calidad culinaria. Después del rendimiento, la calidad del grano es el factor más importante (De Datta, 1986).

La calidad molinera está en función al rendimiento de molinería, que es la cantidad de arroz que se obtiene después del pilado.

La molinería consiste en transformar la materia prima (arroz cáscara) y hacerla apta para el consumo humano. En el caso particular del arroz, a diferencia de otros cereales, el objetivo es obtener la mayor cantidad de granos enteros.

### **2.10.1 RENDIMIENTO DE MOLINERIA**

El rendimiento de molinería de arroz cáscara es la estimación de arroz entero del total de granos molidos, generalmente expresado en porcentaje (Kush *et al.*, 1979).

En el Perú es denominado también rendimiento total de pila. Según la Norma Técnica Peruana (2014) el rendimiento total en pila es el porcentaje total de granos enteros y quebrados que pueden obtenerse del arroz en cáscara luego de su procesamiento normal, excluyendo el ñelén.

El rendimiento del grano entero es el porcentaje de arroz entero contenido en el arroz blanco total, referido a 100 % de arroz elaborado (arroz descascarado del que se han eliminado, parcial o totalmente, por elaboración, el polvillo y el germen) (Norma Técnica Peruana, 2014).

Un alto rendimiento de molinería esta generalmente asociado con la dureza y una ausencia de manchas tizosas en el endospermo. Los rendimientos de molinería en arroz varían de 70

a 72 por ciento del peso del arroz cáscara, dependiendo del grado de pulido. Cuando más se pule el arroz más se quiebra.

De una muestra de 100 gramos de arroz en cáscara sana, seca y limpia, se obtiene aproximadamente 70 por ciento de arroz pilado (50 gramos de arroz entero y 20 gramos de arroz quebrado) y un 30 por ciento de subproductos. Los subproductos están constituido por la cáscara que abarca un 20 por ciento, por el polvillo y embriones, los cuales constituyen entre un 8 a 10 por ciento (Kush *et al.*, 1979).

## **2.10.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD MOLINERA**

Heros (2012) menciona que la pérdida de calidad de grano se debe mayormente a factores climáticos, daño mecánico y retrasos en la cosecha. Las temperaturas y precipitaciones altas a la maduración incrementan el rendimiento de arroz quebrado en las áreas de selva alta

Gonzáles (1969) menciona que existen múltiples factores que influyen y modifican la expresión de la calidad molinera especialmente en cuanto a su apariencia y resistencia al quebrado. Estos pueden resumirse en genéticos y ambientales.

### **a. Factores genéticos**

Gonzáles (1969) menciona que existe gran variabilidad entre cultivares en cuanto a calidad molinera que están vinculadas a características genéticas heredables. Dentro de éstas, las más importantes están relacionadas con las características del grano, tales como, las formaciones opacas, dureza del endospermo, tamaño y forma del grano.

#### **1. Formaciones opacas o tizosas**

Las formaciones opacas determinadas por factores genéticos pueden también estar influenciadas por condiciones del ambiente y se caracterizan por la falta de transparencia en el grano debido a la presencia de microporos entre los gránulos de almidón.

## **2. Dureza del grano**

Es otra característica genética que determina la resistencia al quebrado, siendo la proporción de los constituyentes de almidón (amilosa y amilopectina) en la estructura química del grano la que determina una mayor o menor dureza.

## **3. Tamaño y forma del grano**

Son también características heredables. Los granos cortos y medios quiebran menos que lo granos largos (CIAT, 1985).

### **b. Factores ambientales**

Condiciones durante el llenado y maduración, tales como alta temperatura diurna, alta humedad relativa, baja luz solar, vientos secos, todos pueden conducir a baja calidad del grano.

## **1. Temperatura**

Las temperaturas elevadas del aire durante la noche contribuyen a una mayor formación de tiza y reducción de la calidad molinera en el arroz (*Lanning et al.*, 2011).

## **2. Humedad**

Gonzales (1969) menciona que cuando se alternan periodos de humedad y temperaturas altas en cortos periodos de tiempo se puede llegar a producir ruptura interna del grano (“anillamiento”).

La adsorción rápida de humedad por los granos de arroz depende de la humedad suministrada por el ambiente. Por lo general humedades relativas mayores de 85 por ciento hacen que los granos secos se expandan rápidamente en la superficie; sin embargo debido a que es necesario que la humedad migre al interior del grano, éstos no pueden expandirse rápidamente, lo cual conlleva a la formación de fisuras en los granos que típicamente se rompen durante la molienda (*Siebenmorgen et al.*, s.f.).

### **3. Factores culturales**

Las prácticas culturales tales como, época de siembra, fertilización nitrogenada, época de cosecha, manejo de agua y la técnica de cosecha pueden afectar la calidad del arroz.

#### **1. Fertilización nitrogenada**

Gonzáles (1969) menciona que mayores dosis de nitrógeno devienen en incremento de la dureza del grano y mejor resistencia al quebrado.

#### **2. Época de cosecha**

Gonzáles (1969) menciona que la época de cosecha, está directamente relacionada con el grado de madurez y humedad del grano al momento de la cosecha. Cuando la cosecha se realiza tempranamente, la inmadurez de los granos y su alta humedad, propician menor dureza y una disminución del porcentaje de grano entero y rendimiento de pila.

Los granos inmaduros pueden ser una fuente de reducción en la calidad, porque éstos granos son típicamente débiles en estructura y a menudo se rompen durante la molienda (Siebenmorgen *et al.*, s.f.).

Cuando la cosecha es demasiado tarde, la sobre maduración produce excesivo secado en el campo y en otros caso resquebrajamiento del grano que produce alto porcentaje de grano quebrado (Gonzáles, 1969).

El rendimiento total de molinería (porcentaje de grano blanco entero) se afectan considerablemente, cuando el grano se cosecha con humedades por debajo del rango óptimo, ya que el grano es higroscópico y cuando está por debajo del 18% de humedad, aproximadamente, comienza a intercambiar agua con el medio y el proceso de adsorción-desadsorción provoca el fenómeno de la fisuración y la partidura del grano en el proceso de molinería (Peña *et al.*, 1983).

### **3. Manejo de agua**

La falta de agua durante el llenado del grano y en toda la fase reproductiva, puede ocasionar deficiente acumulación de los materiales de reserva y mala conformación del grano (González, 1969).

#### **2.10.3 ETAPAS PARA DETERMINAR LA CALIDAD MOLINERA**

Las etapas por las que frecuentemente pasa el arroz cáscara en un molino arrocero son las siguientes:

##### **1. Limpieza de arroz cáscara**

Es una operación importante que se realiza con ventiladores y zarandas con la finalidad de eliminar todas las impurezas o materias extrañas que puedan dañar el equipo descascarador del arroz (Muñoz, 1990).

Kush *et al.*, (1979) menciona que para determinar el rendimiento de molinería se requiere de una muestra de arroz bruto (arroz cáscara) bien limpia.

##### **2. Descascarado**

Durante esta etapa se elimina la cáscara del arroz para producir arroz integral “Brown rice” o descascarado. Existen una gran variedad de máquinas descascaradoras, la más común es la descascaradora con rodillos de goma (Muñoz, 1990).

##### **3. Pulido**

Consiste en la eliminación de las cubiertas del endospermo (pericarpio, tegumento capa de aleurona y embriones) que conforman el polvillo (Kush *et al.*, 1979). Es una operación que se realiza posterior al descascarado, estos estratos del salvado se eliminan por frotación con una superficie abrasiva (piedra esmeril). Sin duda esta operación puede contribuir a una alta producción de granos quebrado sino se tiene un conocimiento sobre la naturaleza del grano y el manejo del equipo (Muñoz, 1990).

#### **4. Clasificación**

Los granos enteros y quebrados pilados son separados del salvado y embriones para luego ser expresados en porcentaje con relación a la muestra de arroz en cáscara (Kush *et al.*, 1979).

Muñoz (1990) menciona que la clasificación de granos enteros y quebrados puede realizarse con cilindros alveolados o por aspiración (según la densidad del grano).

### **2.11 ARROZ PILADO**

Norma Técnica Peruana (2014) menciona que el arroz pilado o blanco, es el grano de arroz, entero y quebrado al cual se le ha removido la cáscara, los embriones y pericarpio o cutícula, en un procesamiento normal del arroz en cáscara.

Los molinos realizan el proceso de pilado y la clasificación del arroz en función de las características de los granos: porcentaje de arroz quebrado, dañado, textura y tipo de pulido.

#### **2.11.1 REQUERIMIENTOS PARA OBTENER UNA BUENA CALIDAD DE ARROZ PILADO**

- Se debe tener una materia prima de buena calidad, con adecuado contenido de humedad y alta pureza.
- El arroz debe estar limpio y almacenado en buenas condiciones.
- El arroz debe ser procesado por un operador con experiencia.

Al fallar uno de estos requerimientos tendremos una mala calidad del arroz pilado y las pérdidas pueden tener un rango de 3 a 10 por ciento.

#### **2.11.2 CATEGORIAS DE ARROZ PILADO**

Según la Norma Técnica Peruana (2014), en cuanto a su calidad; el arroz puede clasificarse en distintas categorías: extra, superior, corriente y popular. El grado es determinado por el

valor del componente, cuyo porcentaje corresponde a la mayor tolerancia considerada en el Cuadro 2.

El arroz extra es el de mejor calidad, ya que registra el menor porcentaje de granos quebrados, rojos, dañados o tizosos, así como el mejor tipo de pulido. Le siguen en orden decreciente, según su nivel de calidad, el arroz superior, el corriente y el popular.

**Cuadro 2: Grados del arroz (tolerancias)**

Componentes		Nombre comercial			
		Extra	Superior	Corriente	Popular
<b>Grado</b>		1	2	3	4
Granos rojos (%)		0	0.5	2	4
Granos tizosos (%)	totales	2	4	8	16
	parciales	5	10	20	40
Granos dañados (%)		0	0.5	2	4
Mezcla varietal contrastante (%)		2.5	5	10	20
Materia extraña (%)		0.15	0.25	0.35	0.45
Granos quebrados (%)		5	15	25	35
Granos inmaduros (%)		0	0.5	0.1	0.15

FUENTE: Norma técnica peruana (2014).

## 2.12 PRODUCCION DE MATERIA SECA TOTAL

La alta producción de materia seca total por unidad de área es el primer requisito previo para el alto rendimiento y depende de la eficacia de la fotosíntesis del cultivo. Para obtener un alto rendimiento se requiere aumentar la biomasa cosechable en relación con la porción no cosechable con la finalidad de obtener un índice de cosecha más alto (Dhital, 2011).

El rendimiento total de materia seca es la cantidad total de materia seca producida, menos los fotosintatos utilizados para la respiración. La manera en que la materia seca neta producida se distribuye entre diferentes partes de la planta, es lo que determina la magnitud del rendimiento económico (Among, 1972; citado por Dhital, 2011)

## **2.13 INDICE DE COSECHA**

El índice de cosecha es la proporción entre el rendimiento económico y el rendimiento biológico (Yoshida, 1981). Según Dhital (2011) el índice de cosecha es la relación entre la biomasa de grano y la biomasa total de la planta (Dhital, 2011).

Los valores de índice de cosecha en cereales son normalmente menores a uno. A pesar de que es una proporción, a veces es también expresado en porcentajes (Fageria, 2007).

Los valores de índice de cosecha alcanzados en los trópicos es de 0.5 (Sheehy y Mitchell, 2013). Mae (1997; citado por Fageria, 2007) reporto que el índice de cosecha de cultivares tradicionales es cerca de 0.3 y 0.5 para cultivares semienanos mejorados.

Los valores de índice de cosecha generalmente varían mucho entre cultivares, localidades, estaciones y ecosistemas con rangos de 0.35 a 0.65 (Fageria, 2007).

## **2.14 FACTORES BIOTICOS LIMITANTES PARA EL CULTIVO DE ARROZ**

### **2.14.1 PLAGAS**

Agrobanco (2013) describe como las principales plagas insectiles en el cultivo de arroz a las que se detallan a continuación:

#### **a. *Hydrellia wirthii***

Es la plaga más importante en las siembras irrigadas, al estado de plántula, origina los mayores daños.

Las larvas minan las hojas, siendo las siembras tardías (enero), los más atacados por la migración de insectos adultos de los campos adelantados.

**b. *Tagosodes orizicolus***

Este insecto es importante por causar dos tipos de daños (1) transmitir el virus que causa la enfermedad de la hoja blanca y (2) ocasionar daños mecánicos y muerte de plántulas.

Los adultos y ninfas succionan la savia de las hojas y de las panículas en el estado de huso. Ataques severos ocasionan amarillamiento en las hojas.

Este insecto es el único vector en las plantas de arroz y puede transmitir el virus a malezas como *Echinochloa colonum*.

**c. *Spodoptera frugiperda***

Es un insecto común en los campos de arroz. Las larvas se alimentan de las hojas de la planta de arroz especialmente al estado de plántula. Los daños más severos se presentan en almácigo que presentan altas aplicaciones de nitrógeno.

**d. *Oebalus poecilus***

Es un insecto que introduce su estilete y succiona el contenido de los granos al estado lechoso e inyecta saliva, produciendo un punto oscuro en las cáscaras, rodeado de una mancha circular.

## **2.14.2 ENFERMEDADES**

Agrobanco (2013) menciona como las principales enfermedades en el cultivo de arroz a las que se detallan a continuación:

**a. Quemado del arroz**

Esta enfermedad es causada por el hongo *Pyricularia grisea*, es considerada una de las enfermedades más destructivas a nivel mundial. Este hongo ataca a todas las partes de la planta (hojas, tallos, panículas y granos). Los ataques a las panículas, genera grandes pérdidas de rendimiento en los cultivares susceptibles (la panícula se quiebra).

**b. Virus de hoja blanca**

Es causada por un virus que es transmitido por *Tagosodes orizicolus*. Los síntomas típicos son rayas de color blanco amarillento en las hojas. Las plantas infectadas presentan enanismo cuando la infección es temprana. Estas plantas tienen panículas cortas y casi no emergen de las plantas. La cascara del grano toma un color marrón, se secan y por lo general se deforman.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

El presente trabajo se realizó durante la campaña 2016 en el Fundo Luzben, ubicado en el Valle de Jequetepeque, Distrito San José, provincia de Pacasmayo, Región La Libertad, siendo sus coordenadas: 07° 20' 58" de latitud Sur y 79° 27' 26" de longitud Oeste, a una altitud de 106 metros sobre el nivel del mar. La ubicación del campo experimental se indica en la Figura 1.

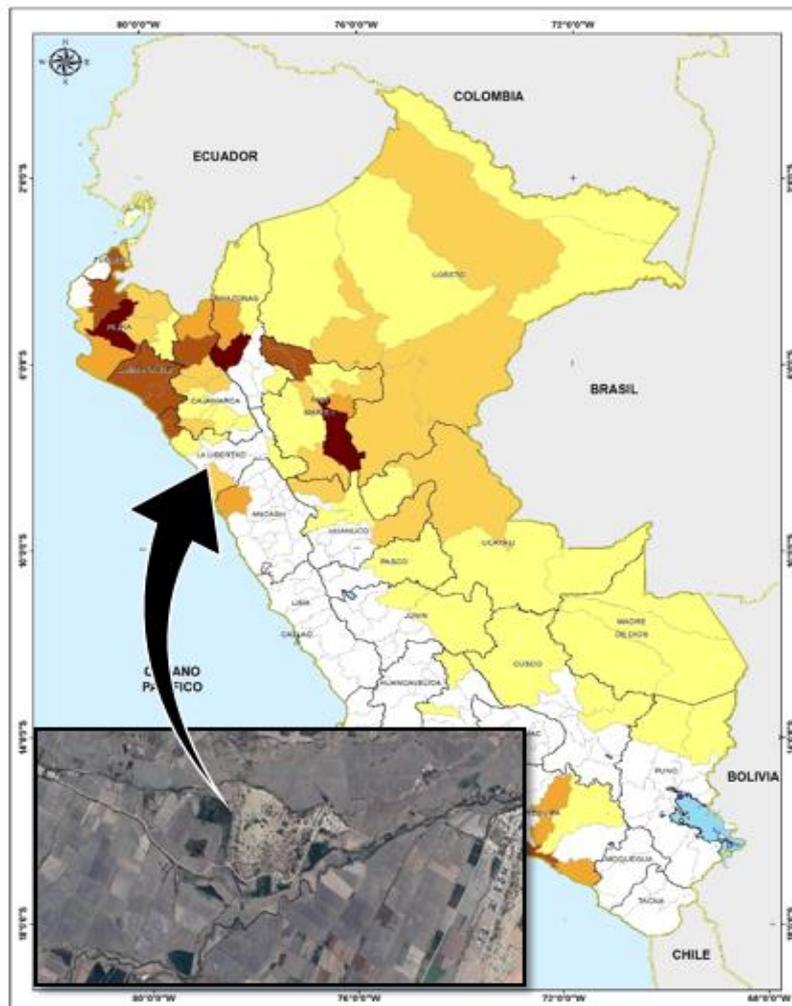


Figura 1: Ubicación del campo experimental.

### 3.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

En el Cuadro 3, podemos observar los resultados del análisis de suelo. El suelo donde se realizó el experimento fue de textura franco, con contenido de materia orgánica bajo (1.06%), que es común en los suelos áridos de la Costa. El pH es ligeramente ácido a neutro lo cual indica una disponibilidad adecuada de macronutrientes para la planta. En cuanto al contenido de fósforo y potasio se puede observar una alta disponibilidad de fósforo en el suelo (24.6 ppm), mientras que en el caso del potasio observamos una disponibilidad media (141 ppm).

**Cuadro 3: Análisis de Suelo del Fundo Luzben – Valle de Jequetepeque**

pH (1:1)	CE (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	MO %	P ppm	K ppm	Análisis mecánico			
						Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura
6.55	0.57	0.3	1.06	24.6	141	52	28	20	Franco

Cationes cambiabiles (meq/100 g)						Suma de cationes	Suma de bases	% Saturación de bases
CIC	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> H <sup>+</sup>			
20.32	16.7	2.02	0.4	0.12	0	19.24	19.24	95

FUENTE: Laboratorio de Análisis de suelos, agua y plantas. UNALM (2016)

### 3.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

En el Cuadro 4 se muestran los datos de temperatura y radiación solar a lo largo del desarrollo del cultivo. Estas informaciones meteorológicas fueron tomadas de los registros de la Estación meteorológica del Fundo Agrícola Cerro Prieto, siendo la más cercana, ubicado a 39 km del área experimental.

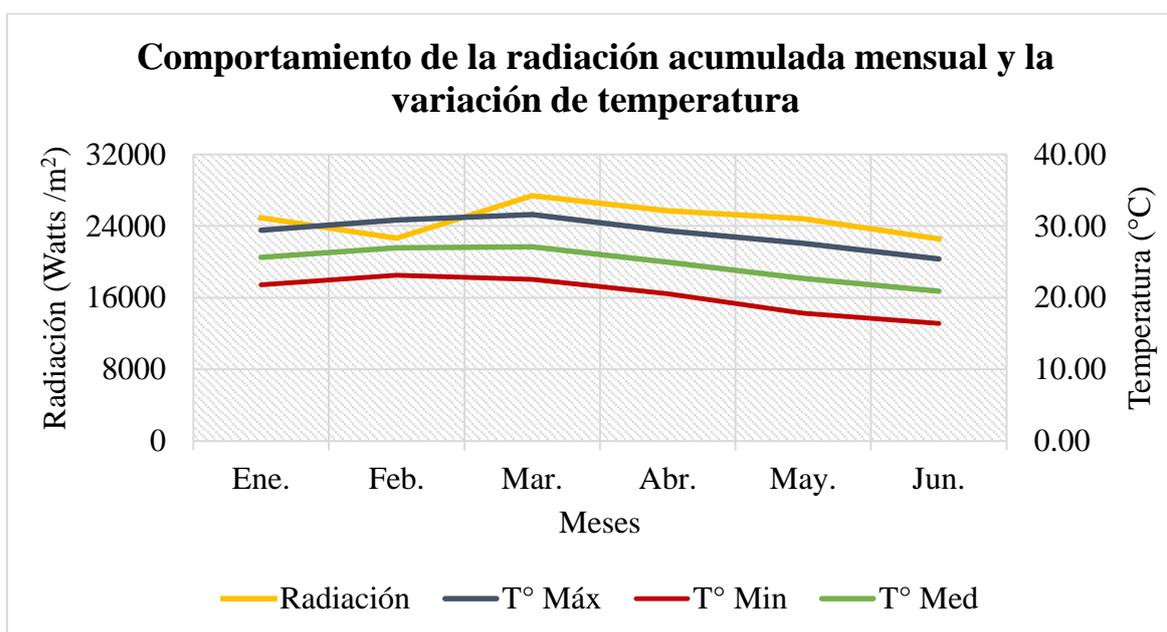
La temperatura máxima fue 31.6°C y se alcanzó en el mes de marzo, mientras que la temperatura mínima fue 16.4°C y se alcanzó en el mes de junio. Los mayores valores de radiación acumulada se alcanzaron en los meses de marzo y abril (27389 Watts/m<sup>2</sup> y 25694Watts/m<sup>2</sup>).

**Cuadro 4: Datos meteorológicos de temperatura y radiación solar durante la conducción del experimento. Campaña 2016**

Mes	Temperatura en °C			Radiación solar acumulada
	Máxima	Mínima	Media	Watts/m <sup>2</sup> /mes
<b>Enero</b>	29.42	21.79	25.61	24924
<b>Febrero</b>	30.82	23.12	26.97	22637
<b>Marzo</b>	31.60	22.55	27.08	27389
<b>Abril</b>	29.33	20.54	24.94	25694
<b>Mayo</b>	27.58	17.83	22.70	24826
<b>Junio</b>	25.39	16.40	20.90	22552

FUENTE: Fundo Agrícola Cerro Prieto (2016).

En la Figura 2 se puede apreciar el comportamiento de la radiación acumulada expresada en Watts/m<sup>2</sup> y las temperaturas máxima, media y mínima expresadas en (°C) a lo largo de la conducción del experimento desde el mes de Enero hasta Junio.



**Figura 2: Condiciones meteorológicas durante el experimento**

### **3.4 MATERIALES Y EQUIPOS**

Materiales:

- Semillas del cultivar IR43
- Cinta métrica
- Bolsas de plástico
- Bolsa de papel
- Cordeles marcados
- Libreta de campo
- Etiquetas
- Mantas polipropileno
- Sacos de polipropileno
- Fertilizantes
- Herbicidas

Equipos:

- Tractor
- Arado-rastra
- Paletas batidoras
- Paletas niveladoras
- Mochila de fumigación
- Hoces
- Lampa-machetes
- Determinador de humedad
- Balanza
- Estufa
- Vernier
- Molino

### **3.5 CARACTERISTICAS DEL CULTIVAR IR 43**

El cultivar de siembra empleado fue IR 43, desarrollado por el International Rice Research Institute (IRRI), adaptado a las condiciones de la costa peruana, empleado en siembra directa y transplante. Este cultivar es el más sembrado en los valles de la costa, sembrándose desde

Tumbes, Chira, Chancay, Jequetepeque, y los valles de Camaná y Majes en Arequipa. Es un cultivar semienano con buen potencial de rendimiento.

La desventaja de este y otros cultivares que se tienen en el Perú es la susceptibilidad al virus de la hoja blanca (VHB) el cual es transmitido por el insecto *Tagosodes orizicolus*, y al “quemado” causado por *Pyricularia grisea*.

El potencial de rendimiento de este cultivar es de 10-12.5 toneladas/ha y tiene 70 por ciento de rendimiento total de pila y 55-60 por ciento de granos enteros.

Entre otras características como altura de planta, resistencia al acame, días a la maduración del grano y otros componentes de rendimiento como peso de mil granos se indica en el Cuadro 5.

**Cuadro 5: Características agronómicas del cultivar IR 43**

<b>Descripción de las características del cultivar IR 43</b>	
Rendimiento potencial (toneladas/ha)	10- 12.5
Altura de planta (cm)	85-104
Días a la maduración del grano	149-150
Tamaño de la panícula(cm)	21.7-23.0
Número de granos llenos/panoja	132-150
Ancho de grano(mm)	2.36
Longitud del grano(mm)	10.28
Peso de 1000 granos(g)	26.2
Rendimiento de molinería (%)	70%
Granos enteros (%)	55-60
Acame	Resistente
Reacción a:	
Virus de la Hoja blanca	Susceptible
Pyricularia griseae	Susceptible
Tagosodes orizicolus	Susceptible
Hydrellia wirthii	Susceptible

FUENTE: INIA(Instituto Nacional de Innovación Agraria)2013.

### 3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL

Como diseño estadístico se empleó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (D.B.C.A), se establecieron tres repeticiones y tres tratamientos. Los tratamientos fueron identificados como: T1: Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz (S.I.C.A), T2: transplante en hileras, T3: transplante convencional. En cada uno de estos tratamientos se sembró el cultivar IR-43.

#### 3.6.1 MODELO ADITIVO LINEAL

El modelo matemático que se ajusta es como sigue:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

$$i = 1,2,3..$$

$$j = 1,2,3..$$

Donde:

$Y_{ij}$ : Es el valor observado en el  $i$ -ésimo tratamiento y el  $j$ -ésimo bloque.

$\mu$  : Es el efecto de la media general.

$\alpha_i$ : Es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

$\beta_j$ : Es el efecto del  $j$ -ésimo bloque.

$\epsilon_i$ : Es el efecto del error experimental en el  $i$ -ésimo tratamiento y el  $j$ -ésimo bloque

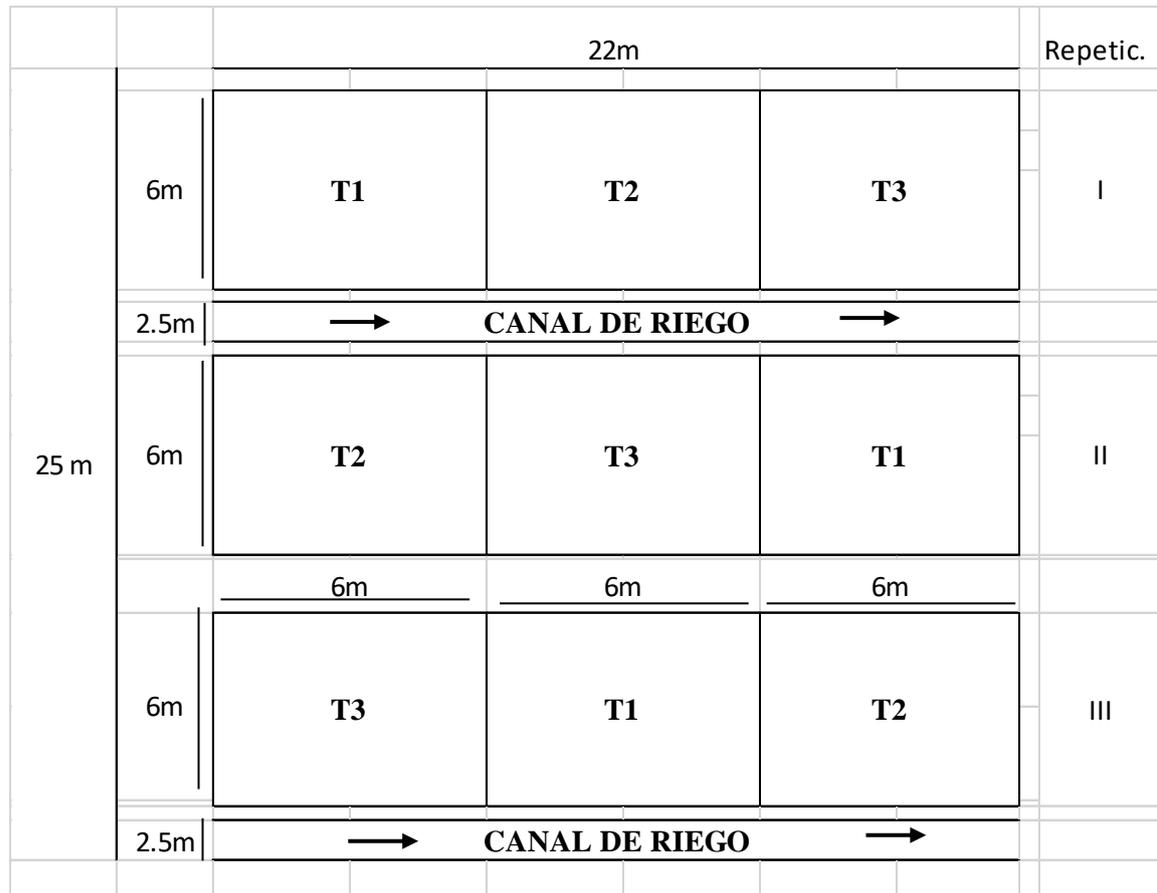
Para la comparación de la medias de los tratamientos se utilizó la prueba de Duncan con  $\alpha = 0.05$  de probabilidad y todos los datos fueron procesados con el Programa SAS 9.2 (Statistical Analysis System).

### 3.7 DISPOSICION DE LOS TRATAMIENTOS

Los tratamientos estudiados fueron tres: T1: Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz (S.I.C.A), T2: transplante en hileras, T3: transplante convencional.

El área individual de la parcela fue 36 m<sup>2</sup> (6 m x 6 m) y el área neta de cosecha fue de 25 m<sup>2</sup> (5 m x 5 m).

La distribución de los tratamientos se indica en la Figura 3.



**Figura 3: Disposición de los tratamientos**

### 3.7.1 DELINEAMIENTO DEL CAMPO EXPERIMENTAL

1. Diseño	D.B.C.A
2. Tratamientos (parcelas)	3
3. Número de repeticiones	3
4. Número de parcelas/ repetición	3
5. Área total de parcela (6m x 6m)	36 m <sup>2</sup>
6. Área neta por parcela (5m x 5m)	25 m <sup>2</sup>

7. Área neta del experimento	324 m <sup>2</sup>
8. Área total del experimento (22m x 25m)	550 m <sup>2</sup>

### **3.8 MANEJO AGRONOMICO**

En el presente trabajo de investigación el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz no fue manejado de manera orgánica (aplicación de compost) sino con fertilizantes minerales. Se empleó herbicidas pre y post emergentes para el control de malezas como: *Echinochloa colonum*, *Echinochloa crusgalli*, *Portulaca oleracea* y *Cyperus difformis*.

#### **3.8.1 SIEMBRA EN ALMÁCIGO**

Para el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz, transplante convencional y transplante en hileras la siembra de almácigo se realizó el 15 de enero del 2016. El almácigo se manejó en hileras de 5m de largo. La siembra fue con semilla seca y se realizó en camas elevadas. El área de almácigo fue de 20 m<sup>2</sup>.

En el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz se colocó 50 gramos de semillas por hilera mientras que para el transplante convencional y transplante en hileras se empleó 100 gramos de semillas por hilera.

#### **3.8.2 TRANSPLANTE**

La preparación del terreno es determinante para el éxito del establecimiento del cultivo. Antes del transplante se realizó un pase de arado de discos, luego un pase con rastra pesada con la finalidad de romper los terrones y lograr un buen mullido del suelo.

Posteriormente se demarcaron las áreas de las parcelas de los tratamientos y se realizó la construcción de los bordos y la nivelación de las pozas a mano con palana.

Una vez concluida la parcelación, se llenaron las pozas de agua, se realizó el batido de las pozas con palana, se rectificaron los bordos y se dio inicio al transplante.

En el caso del Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz el transplante se realizó el 30 de enero y se ejecutó en pozas al batido con plántulas de 15 días de edad con un tamaño promedio de 18 centímetros y se colocó una plántula por golpe. El distanciamiento entre golpes fue 0.25m x 0.25m.

Para el transplante convencional y en hileras se emplearon plántulas de 30 días de edad. El transplante se realizó el 14 de febrero y se colocaron 4-5 plántulas por golpe. El distanciamiento en el sistema convencional fue al azar tratando de mantener un distanciamiento de 0.25m x 0.25m entre golpes y en el sistema de transplante en hileras el distanciamiento entre hileras fue 0.25m y entre golpes a 0.25m.

### **3.8.3 FERTILIZACION**

Después de 6 días del voleo de la semilla se realizó la primera fertilización en almácigo, aplicando 120 Kg N/ha en Urea (520 gramos de Urea/20m<sup>2</sup>). La fertilización fue al voleo y en suelo húmedo. Inmediatamente después de haber concluido la fertilización se regó y se dejó que el agua ingresara lentamente al área del almácigo. La segunda fertilización en almácigo se realizó el 02 de febrero, se aplicó 100 Kg N/ha en sulfato de amonio (50 gramos de sulfato de amonio.m<sup>-2</sup>.)

En los tres sistemas de transplante manual, la primera fertilización se realizó a los 12 días después del transplante aplicando 140 Kg de N/ha, 60 Kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 80 Kg K<sub>2</sub>O. En urea, fosfato diamónico y sulfato de potasio. La segunda fertilización se fraccionó en dos partes, un desmanche de 40 Kg de N con sulfato de amonio debido a la clorosis presentada en el campo. La otra parte restante se realizó en la etapa de inicio de fase reproductiva y se aplicó 100 Kg de N con sulfato de amonio. La fertilización se realizó al voleo en poza con agua. Una vez concluida la fertilización se suspendió la salida de agua de las pozas.

### 3.8.4 RIEGO

Para el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz el riego durante la fase vegetativa fue bajo inundaciones y secas, es decir primero se inundó el campo con una lámina de agua de 5-7cm, y cuando se había consumido el agua (después de 2 -3 días), se volvió a realizar el próximo riego reponiendo hasta una lámina de 5-7 cm. Desde la etapa reproductiva hasta el llenado de grano el riego fue bajo inundación continua con láminas de 5-10 cm.

Para el sistema de trasplante convencional y el sistema de trasplante en hileras después del trasplante hasta la fase de maduración fue bajo inundación continua con láminas de 5-10 cm.

### 3.8.5 MANEJO DE MALEZAS

En almácigo se realizó la aplicación de Pendimetalin (herbicida pre-emergente) a una dosis de 3.5 L/ha para el control de gramíneas como: *Echinochloa crusgalli* y *Echinochloa colonum*. Se realizó la aplicación de Bullet + Bendagram, son herbicidas post-emergentes y las dosis y malezas que controla se indica en el Cuadro 6.

Inmediatamente después del trasplante se realizó la aplicación de Butachlor a una dosis de 3L/ha de producto comercial Chem-rice.

Antes de la segunda fertilización se realizó un deshierbo manual para eliminar coquito (*Cyperus rotundus*), moco de pavo (*Echinochloa crusgalli*).

**Cuadro 6: Control químico de malezas**

Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis	Malezas
Prowl	Pendimetalin	3.5L/ha	- <i>Echinochloa crusgalli</i>
Bullet	Byspiribac sodium	100ml/200L	- <i>Echinochloa crusgalli</i> - <i>Echinochloa colonum</i>
Bendagram	Bentazone	1L/200L	- <i>Cyperus difformis</i> - <i>Portulaca oleracea</i>
Chem-rice	Butachlor	3L/ha	- <i>Echinochloa crusgalli</i> - <i>Echinochloa colonum</i>

FUENTE: Elaboración propia

### 3.8.6 CONTROL DE PLAGAS INSECTILES Y ENFERMEDADES

El control fitosanitario en el presente trabajo de investigación fue oportuno. A nivel de almácigo se tuvo problemas con *Hydrellia wirthii* (mosca minadora) y *Spodoptera frugiperda* (cogollero). *Hydrellia wirthii* es un insecto diseminado en todas las áreas arroceras de la costa y selva, las larvas efectúan minas lineales, paralelas a la nervadura central de las hojas. Las larvas de *Spodoptera frugiperda* se alimentan de las hojas de las plántulas de arroz. Para el control de estos dos insectos se realizaron aplicaciones de Absolute (Spinetoram) a una dosis de 10 ml/20L de agua.

A lo largo del desarrollo del cultivo se realizaron aplicaciones de Dantotsu (Clothianidin) a una dosis de 15g/20L para el control del insecto *Tagosodes orizicolus*. Las infecciones del virus de hoja blanca (VHB) transmitido por el vector *Tagosodes orizicolus* afectaron significativamente los rendimientos. El cultivar IR-43 es susceptible a este insecto y al virus y los rendimientos alcanzados han disminuido casi en 4 t.ha<sup>-1</sup> a 5 t.ha<sup>-1</sup>, a nivel del valle.

Durante la floración al 50% se realizó la aplicación de Celtic (Azoxystrobin + Tebuconazole) a una dosis de 40ml/20L para el control de hongos y Vivoral (Thiametoxam) a una dosis de 10g/20L para el control del chinche *Oebalus poecillus*, este insecto introduce su estilete y succiona el contenido de los granos al estado lechoso. Los productos químicos utilizados para el control de insectos y enfermedades se indican en el Cuadro 7.

**Cuadro 7: Control químico de insectos y enfermedades**

Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis	Insectos y enfermedades
Absolute	Spinetoram	10ml/20L	- <i>Spodoptera frugiperda</i> - <i>Hydrellia wirthii</i>
Dantotsu	Clothianidin	15g/20L	- <i>Tagosodes orizicolus</i>
Vivoral	Thiametoxam	10g/20L	- <i>Oebalus poecillus</i>
Celtic	Azoxystrobin+Tebuconazole	10ml/20L	- <i>Pyricularia grisea</i>

FUENTE: Elaboración propia

### 3.8.7 COSECHA

Antes de la cosecha los campos se drenaron, y se cosechó cuando el 85 por ciento de los granos de las panojas estaban totalmente maduros.

La cosecha fue manual y se realizó el 15 de junio. La siega, el azote y el venteo se realizó el mismo día. Los granos obtenidos fueron expuestos al sol para facilitar su secado. El área neta de cosecha en cada parcela fue de 25m<sup>2</sup> y los rendimientos obtenidos fueron ajustados a 14 por ciento de humedad del grano.

### 3.9 VARIABLES EVALUADAS

- **Número de macollos/m<sup>2</sup>**

El número de macollos se evaluó después del transplante, y se contó en cuatro golpes competitivos y se realizó en tres repeticiones.

- **Altura de planta**

Se registró la altura de planta en centímetros desde la base del tallo hasta la punta de la panícula del tallo más alto, excluyendo la arista. Las mediciones de altura se determinaron a la maduración en 8 golpes competitivos al azar por parcela y se realizó en dos repeticiones.

- **Biomasa o materia seca**

Las determinaciones de biomasa se realizaron en los estados de inicio de fase reproductiva (IFR), floración al 50% y a la maduración fisiológica de los granos. Se tomó una muestra de cuatro golpes en dos repeticiones y en los tres estados de crecimiento. La materia seca se determinó a 70°C a peso constante.

- **Longitud de panícula**

La longitud de panícula se determinó a la cosecha en 10 panículas al azar por cada tratamiento y se midió desde la base del nudo ciliar hasta la punta de la panícula. La evaluación se realizó en dos repeticiones

- **Rendimiento**

El rendimiento se obtuvo en un área neta de 25 m<sup>2</sup> y fue ajustado al 14% de humedad.

- **Granos llenos y vanos /panícula**

En 50 panículas al azar se determinó el número de granos llenos, vanos y número granos totales por panícula. La evaluación se realizó en dos repeticiones

- **Índice de cosecha**

El índice de cosecha (IC), se determinó en cuatro golpes competitivos a la maduración. Se separó el grano de la paja y se secaron a estufa a 70°C a peso constante.

- **Calidad molinera**

La evaluación de la calidad molinera se determinó en tres repeticiones y se evaluó el rendimiento total de pila (%) y el porcentaje de grano entero y quebrado en base a 100 gramos de arroz cáscara.

- **Características biométricas**

En esta evaluación se tomaron 20 granos de arroz pilado y se determinó con un vernier el largo, ancho y espesor de grano en centímetros.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 RENDIMIENTO EN GRANO

Los rendimientos de arroz se ven afectados por la interacción de muchos factores ambientales y biológicos, además estudios han demostrado que el rendimiento de grano está estrechamente correlacionado con el número de panículas por unidad de área (De Datta, 1986). Algunos factores ambientales adversos como sequía, baja radiación, alta y bajas temperaturas, deficiencia de nitrógeno afectan el rendimiento de grano (Fageria, 2007).

Heros (2012) indica que para alcanzar altos rendimientos las siembras deben realizarse, de manera tal que la floración deba ocurrir en los períodos de alta radiación y temperaturas óptimas.

En el análisis de varianza (Cuadro 8) se observa que si se encontró diferencias altamente significativas para la variable rendimiento de arroz cáscara entre los tratamientos (sistemas de transplante manual) y además muestra un coeficiente de variabilidad que fue de 5.20%, el cual es aceptable tratándose de variables agronómicas (Calzada, 1954).

**Cuadro 8: Análisis de variancia para la variable rendimiento en grano (tn.ha<sup>-1</sup>)**

<b>F. Variabilidad</b>	<b>G.L</b>	<b>S.C</b>	<b>C.M</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;F</b>	<b>Significación</b>
Bloques	2	0.537	0.268	4.27	0.1017	N.S
Tratamientos	2	8.292	4.146	65.96	0.0009	**
Error	4	0.251	0.063			
Total	8	9.081				
CV (%) =	5.208					
Promedio	4.814					

La prueba de significación de Duncan con un  $\alpha = 0.05$  (Cuadro 9) indica que el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz alcanzó el rendimiento más alto, con 6130 kilogramos/hectárea y superó significativamente a los otros dos sistemas de transplantes evaluados, cuyos rendimientos para el sistema de transplante convencional y sistema de transplante en hileras fueron 4433 kilogramos/hectárea y 3880 kilogramos/hectárea respectivamente.

El Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz rindió 1697 kilogramos más en comparación al Sistema de transplante convencional que obtuvo 4433 kilogramos/hectárea. Se observa que con el S.I.C.A se aumentó el rendimiento en 27.6 % más en comparación al transplante convencional. El S.I.C.A rindió 36.7% (2250 Kg.ha<sup>-1</sup>) más comparado con el sistema de transplante en hileras. Estudios realizados por Satyanarayana *et al.*, (2007) señalan que el S.I.C.A permite aumentar los rendimientos de arroz en un 25 a 50 por ciento.

**Cuadro 9: Rendimiento de Arroz cáscara (Kg.ha<sup>-1</sup>) obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016**

Tratamientos	Rendimiento ( <sup>1</sup> ) (Kg.ha <sup>-1</sup> )
Sistema Intensivo de Cultivo Arroceros	6130 A
Transplante en hileras	3880 B
Transplante convencional	4433 B

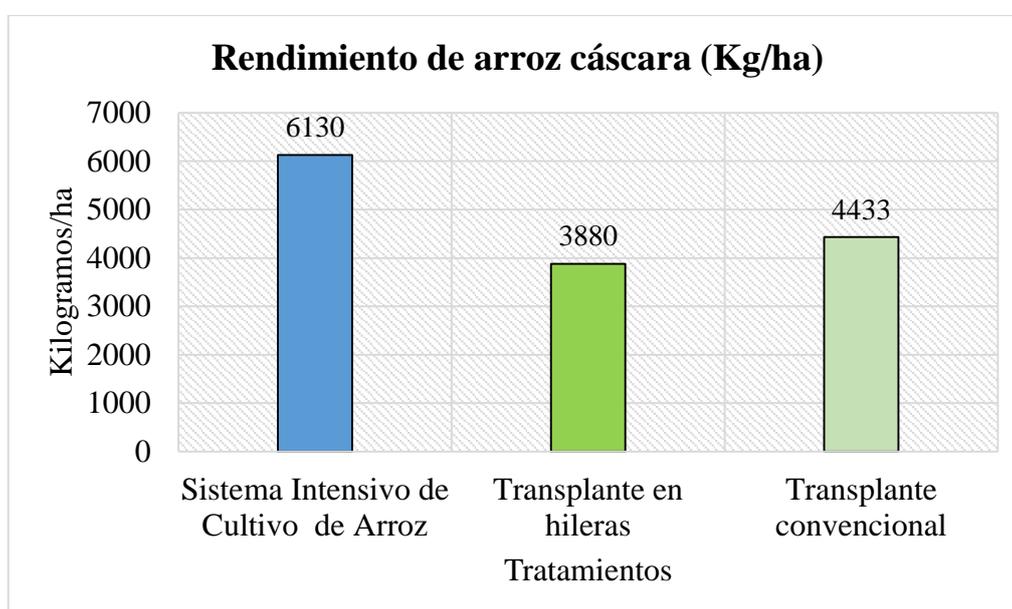
(<sup>1</sup>) Prueba de significación de Duncan 0.05

Coefficiente de variabilidad (%) = 5.208

Los rendimientos obtenidos en el presente trabajo de investigación fueron bajos comparados a los obtenidos en el año 2015, siendo el rendimiento promedio en La Libertad 10.6 toneladas por hectárea (MINAGRI,2016) . Esta disminución en los rendimientos se atribuye en gran parte a la influencia de los factores climáticos y la incidencia de plagas, con las altas temperaturas (25-27°C) se determinó el incremento de plagas insectiles como *Tagosodes orizicolus* que ocasionó infecciones de hoja blanca (enfermedad virósica) ocasionando envanamiento de las panículas, con pérdidas en el rendimiento hasta 40 por ciento. En 1966, en el valle Alto Mayo infecciones de hoja blanca ocasionaron pérdidas en el rendimiento similares de 40-50 por ciento (CODESE, 2000).

Como se puede apreciar en la Figura 4, el rendimiento obtenido por el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz superó en forma altamente significativa al sistema de transplante convencional y al sistema de transplante en hileras. Los resultados en el presente estudio demuestran que el transplantar plántulas jóvenes tiene gran influencia en el rendimiento.

Katayama (1951) indica que plántulas jóvenes tienen un gran potencial para producir macollos. Salhuana y Sánchez (1969) indican que el rendimiento está en función del número de macollos y el peso de la panoja, por ende el aumento de rendimiento en el S.I.C.A se debe al incremento del número de macollos efectivos por golpe.



**Figura 4: Rendimiento de arroz cáscara (Kg/ha) obtenido en tres sistemas de transplante manual. Valle Jequetepeque-2016**

#### 4.2 NÚMERO DE MACOLLOS

El macollamiento es una característica de la planta de arroz, particularmente para el sistema de arroz transplantado y está influenciado por las condiciones ambientales y también está controlado genéticamente, porque la alta capacidad de macollamiento depende de los cultivares (Yoshida, 1981).

La diferencia en la producción de macollos entre cultivares puede ser atribuido a caracteres varietales (Chandrashekhar *et al.*, 2001; citado por Dhital, 2011), distinguiéndose cultivares con alta y baja capacidad de macollamiento (Martínez, 2010).

Fageria (2007) menciona que el macollaje sigue un aumento cuadrático en el arroz con el avance de la edad de la planta y es influenciado significativamente por la fertilización nitrogenada. Estudios realizados por Yoshida (1981) demuestran que el macollamiento incrementa linealmente con el contenido de nitrógeno.

Masle (1985) menciona que la planta de arroz produce una cantidad de macollos pero no todos son macollos efectivos; es decir no todos producen panículas. Yoshida (1981) menciona que para que el primordio de macollo se convierta en un macollo depende de algunos factores como el nivel nutricional de la planta, el suministro de carbohidratos y condiciones de luz y temperatura. Estudios realizados por Masle (1985) demuestran que el número de macollos efectivos depende de las condiciones ambientales.

La disminución en el número de macollos se atribuye a la muerte de algunos de los últimos macollos jóvenes como resultado de su fracaso en la competencia por luz y nutrientes. Otra explicación es que durante el período de crecimiento que comienza con el desarrollo de la panícula, existe competencia por asimilados entre las panículas en desarrollo y los macollos jóvenes (Fageria *et al.*, 1997).

La prueba de significación de Duncan con un  $\alpha = 0.05$  (Cuadro 10) indica que si existen diferencias significativas para la variable número de macollos/m<sup>2</sup> entre el S.I.C.A y los otros dos sistemas evaluados. El sistema con mayor número de macollos/m<sup>2</sup> fue el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz, con promedios de 344, 559, 643 macollos/m<sup>2</sup> a los 49, 55 y 62 días después de la siembra (dds) respectivamente, superando al sistema de transplante en hileras y transplante convencional.

El transplante en hileras presentó un menor número de macollos por metro cuadrado respecto al transplante convencional a pesar de tener un distanciamiento óptimo entre golpes, obteniendo promedios de 186,290 y 380 macollos/m<sup>2</sup> a los 49, 55 y 62 días después de la siembra (dds) respectivamente como se puede apreciar en el Cuadro 10.

El trasplante de plántulas muy jóvenes, generalmente de 8-10 días de edad, no más de 15 días de edad, tiene mejor macollamiento y enraizamiento ; se reduce si el trasplante se realiza durante el cuarto phyllochron (Uphoff, 2002; citado por Rajendran y Ganesa, 2014).

**Cuadro 10: Producción de macollos a los 49, 55 y 62 días después de la siembra (dds) obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016**

Tratamientos	Número de macollos/m <sup>2</sup>		
	49 dds	55 dds	62 dds
Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz	344 A	559 A	643 A
Transplante en hileras	186 B	290 B	380 B
Transplante convencional	232 B	372 B	415 B
Prueba de significación de Duncan 0.05			
Coefficiente de variabilidad (%) =	16.153	17.835	17.353

Como se puede apreciar el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz que se estableció con plántulas de 15 días de edad produjo mayor número de macollos/m<sup>2</sup> en comparación a los otros dos sistemas de transplantes evaluados en el que se empleó plántulas de 30 días de edad.

Stoop *et al.*, (2002) señalan que el transplantar plántulas de 15 días de edad con tres hojas tiene mayor capacidad de macollamiento. La capacidad de macollamiento está influenciada por el ambiente y las prácticas agronómicas (Huang *et al.*, 2011; citado por Ming *et al.*, 2013). La fertilización es otro factor importante que afecta el macollamiento en el cultivo de arroz (Yoshida y Hayakawa, 1970, citado por Ming *et al.*, 2013).

El trasplante de plántulas muy jóvenes preserva el potencial de macollamiento y crecimiento de las raíces (Balasubramanian *et al.*, 2005; citado por Rajendran y Ganesa, 2014).

La alta cantidad de macollos efectivos por metro cuadrado en el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz podría ser debido a las plantas individuales con condiciones de crecimiento más favorables (Dhital, 2011).

Das *et al.*, (1998; citado por Rajendran y Ganesa, 2014) observó que la siembra con plántulas de dos semanas de edad tenía un número máximo de macollos seguidos por las

plántulas de tres, cuatro y cinco semanas de edad, a los 50 días después de la siembra, en una variedad de corta duración.

**Cuadro 11: Comparación del número de macollos por metro cuadrado obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016**

Tratamientos	Número de macollos/m <sup>2</sup>						
	27 dds	37 dds	42 dds	49 dds	55 dds	62 dds	69 dds
S.I.C.A	31	279	311	344	559	643	502
Transplante en hileras			91	186	290	380	451
Transplante convencional			116	232	372	415	486

Días después de la siembra(dds)

En el Cuadro 11 se observa la variación de la producción del número macollos por metro cuadrado en los tres sistemas de transplante estudiados. El Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz presentó un mayor número de macollos/m<sup>2</sup> en comparación al sistema de transplante convencional y el transplante en hileras. Estudios realizados por Thakur *et al.*, (2014) han demostrado que los sistemas de cultivo afectan significativamente el número de macollos y panículas por golpe; y con el S.I.C.A el número de macollos obtenidos fue el doble comparado con el sistema convencional. El máximo macollamiento en el S.I.C.A se alcanzó a los 47 días después del transplante, con un valor de 643 macollos/ m<sup>2</sup>. Los resultados muestran que la edad de planta y el transplante de una planta por golpe influyen en el macollamiento.

En la Figura 5 se muestra la producción de macollos en los tres sistemas de transplantes evaluados, en la cual se observa que las plántulas de 15 días de edad empleadas en el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz tienen un mayor potencial de macollamiento, lo esencial sería verificar si todos estos macollos son efectivos; es decir si todos producen panículas.

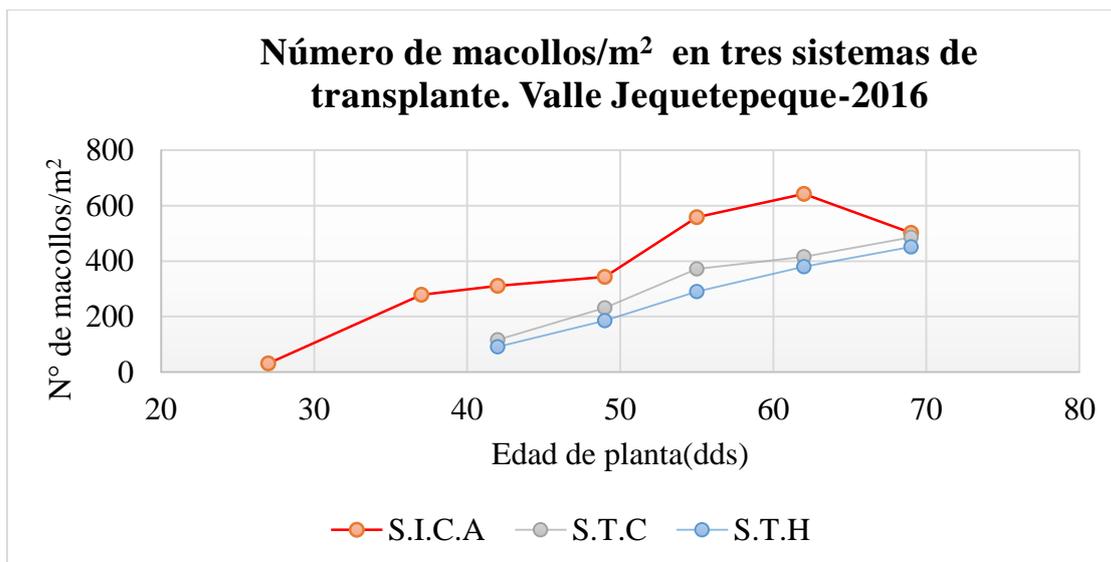


Figura 5: Comparación de la producción de macollos en tres sistemas de transplante.

#### 4.3 NÚMERO DE GRANOS TOTALES/PANÍCULA

El número de granos totales por panícula es considerado un componente de rendimiento y está compuesto por granos llenos y granos vanos, y es determinado durante la fase reproductiva (Yoshida, 1981).

La prueba de significación de Duncan con un  $\alpha = 0.05$  (Cuadro 12) indica que no se encontró diferencias significativas para el número de granos totales por panícula en los sistemas de transplantes evaluados. Sin embargo el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz presentó un promedio inferior de granos que fue de 120, seguido por el sistema de transplante en hileras y el transplante convencional con 147 y 140 granos por panícula respectivamente.

**Cuadro 12: Número de granos totales/panícula obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016**

Tratamientos	Granos totales/panícula
Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz	120 A
Transplante en hileras	147 A
Transplante convencional	140 <sup>a</sup>
Prueba de significación de Duncan 0.05	
Coeficiente de variabilidad (%) = 10.397	

De Datta (1986) menciona que el número de granos por panícula está en función de la longitud de la panícula y además está influenciado por cantidad de radiación solar y la temperatura durante la etapa reproductiva. Estudios realizados por Yoshida (1981) han demostrado que cuando hay una sobreproducción de panículas por metro cuadrado, el número de espiguillas por panícula decrece.

#### **4.4 PORCENTAJE DE GRANOS LLENOS Y VANOS/PANÍCULA**

Diversos factores como el clima, aplicación de fertilizantes y la incidencia de insectos y enfermedades afectan la fertilidad de las espiguillas (Yoshida, 1981).

El porcentaje de granos llenos por panícula está influenciado por las condiciones climáticas tales como temperatura, radiación solar y vientos. Las temperaturas críticamente bajas y altas, normalmente por debajo de 20°C y por encima de 35°C durante la diferenciación de la panícula pueden inducir un alto porcentaje de esterilidad en las espiguillas si persisten por varios días (Yoshida, 1981).

Los vientos fuertes pueden causar esterilidad de las espiguillas debido al desecamiento de los granos de polen durante la floración. Las sequías prolongadas durante el inicio de fase reproductiva también aumentan el porcentaje de granos vanos (Yoshida, 1981).

Huang *et al.*, (2011) indica que cuando hay un incremento excesivo del número de panículas por unidad de área puede resultar negativo, porque hay un menor porcentaje de granos de llenos por panícula.

La esterilidad de las espiguillas es alta cuando la radiación solar es baja durante el llenado de grano, porque hay una producción insuficiente de carbohidratos para sostener el crecimiento de las espiguillas (Yoshida, 1981).

La prueba de significación de Duncan con un  $\alpha = 0.05$  (Cuadro 13) indica que para el porcentaje de granos llenos y vanos /panícula, no se encontraron diferencias significativas.

El transplante en hileras y el transplante convencional presentaron un promedio que fue de 81 % de granos llenos por panícula, mientras que en el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz el porcentaje de granos llenos por panícula fue más bajo ,79% respectivamente.

**Cuadro 13: Granos llenos y granos vanos /panícula (%) obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016**

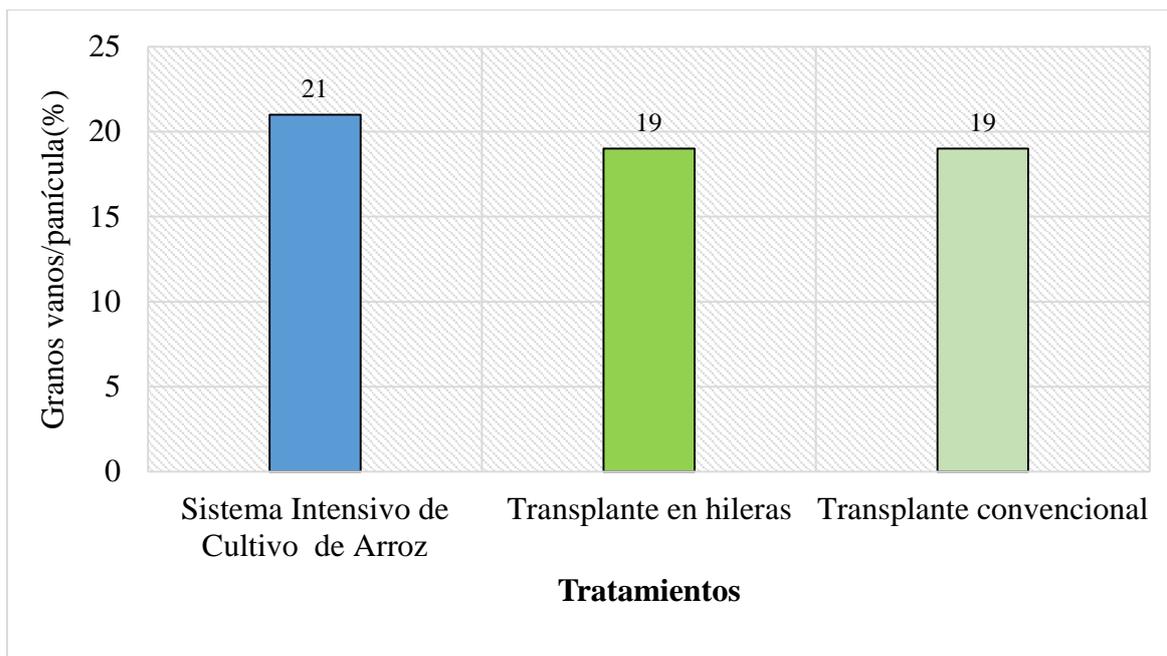
Tratamientos	Granos llenos/panícula (%)	Granos vanos/panícula (%)
Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz	79 A	21 A
Transplante en hileras	81 A	19 A
Transplante convencional	81 A	19 A
Prueba de significación de Duncan 0.05		
Coefficiente de variabilidad (%) =	2.436	9.913

Yoshida (1981) señala que el porcentaje de granos llenos/panícula es un componente de rendimiento en arroz y es cerca de 85% bajo condiciones favorables. Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz presenta un mayor porcentaje de granos vanos por panícula (21%) a pesar de no haber diferencias significativas respecto a los otros dos sistemas evaluados (19%).

Fageria (2007) señala que cuando se tiene un macollamiento excesivo existe un porcentaje más alto de esterilidad porque hay una producción insuficiente de carbohidratos para sostener el crecimiento de las espiguillas.

Yoshida (1981) indica que el porcentaje de granos llenos está determinado por la capacidad de las espiguillas para aceptar los carbohidratos y la translocación de los asimilados desde las hojas a las espiguillas .Cuando la radiación solar es baja durante la diferenciación de las espiguillas, la actividad puede ser insuficiente para producir suficientes carbohidratos para lograr el crecimiento de todas las espiguillas, dando como resultado un incremento de granos vanos por panícula.

En la Figura 6 se puede apreciar que el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz alcanzó un mayor porcentaje de granos vanos (21%) en relación a los otros sistemas evaluados a pesar de que no se encontraron diferencias significativas.



**Figura 6: Comparación de la variable granos vanos/ panícula (%) en tres sistemas de transplante. Valle Jequetepeque-2016**

#### 4.5 PESO DE MIL GRANOS

La prueba de significación de Duncan con un  $\alpha = 0.05$  (Cuadro 14) indica que para la variable peso de mil granos, no se encontró diferencias significativas, sin embargo el transplante convencional presentó un promedio superior en el peso de mil granos que fue de 27.80 gramos, seguido por el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz y el sistema de transplante en hileras con 26.83 y 26.77 gramos respectivamente.

Yoshida (1981) señala que el peso de mil granos es un componente de rendimiento y es un carácter varietal estable poco influenciado por las condiciones climáticas. Los valores del peso de mil granos para los cultivares sembrados en nuestro país fluctúan entre 26 y 30 gramos (Junta de Usuarios Chancay-Lambayeque, 2010).

**Cuadro 14: Peso de mil granos obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016**

Tratamientos	Peso de mil granos ( <sup>1</sup> ) (gramos)
Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz	26.83 A
Transplante en hileras	26.77 A
Transplante convencional	27.80 A

(<sup>1</sup>) Prueba de significación de Duncan 0.05  
 Coeficiente de variabilidad (%) = 3.408

#### 4.6 LONGITUD DE PANÍCULA

En el Cuadro 15 se observa la variable longitud de la panícula y según la prueba de significación de Duncan con un  $\alpha = 0.05$  no se encontraron diferencias significativas para los sistemas de transplantes evaluados. Sin embargo el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz presentó un promedio superior de longitud de panícula que fue de 24.40 cm, seguido por el sistema de transplante en hileras y el transplante convencional con 23.90 y 23.05 cm de longitud de panícula respectivamente. Los resultados en el presente estudio demuestran que los sistemas de transplantes evaluados no influyen en la longitud de panícula.

De Datta (1986) indica que la longitud de la panícula es de gran importancia, ya que permite una mayor cantidad de granos. Fageria (2007) indica que existe una relación inversa entre el tamaño de panícula y el número de panícula por unidad de área.

Fageria (2007) indica que la longitud de la panícula es influenciada por la dosis de nitrógeno y también por los genotipos.

**Cuadro 15: Longitud de panícula (cm) obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016**

Tratamientos	Longitud de panícula (cm)
Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz	24.40 A
Transplante en hileras	23.90 A
Transplante convencional	23.05 A

Prueba de significación de Duncan 0.05

#### 4.7 ALTURA DE PLANTA

La altura de planta es la distancia que se toma desde la base del tallo hasta el extremo de la panícula más alta y es influenciada por factores ambientales y se incrementa cuadráticamente con la edad de la planta (Fageria, 2007). Es la característica más notable con respecto al crecimiento y está asociada con el alojamiento de la planta (Yoshida, 1981).

Yoshida (1981) afirma que cultivares de porte bajo y tallos rígidos son características morfológicas importantes en cultivares de alto rendimiento porque tienen un índice de cosecha más alto.

Las aplicaciones altas de nitrógeno en los estados tempranos, superiores a los requerimientos del cultivo determinan el exceso de crecimiento y generan mayor predisposición a la tumbada (Heros, 2012).

En el Cuadro 16 se observa que para la altura de planta a la maduración, según la prueba de significación de Duncan con un  $\alpha = 0.05$  no se encontró diferencias significativas en los sistemas de transplantes evaluados. Sin embargo el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz presentó una altura superior (97.65 cm), seguido por el sistema de transplante convencional y el transplante en hileras con 92.85 cm y 89.70 cm respectivamente.

**Cuadro 16: Altura de planta (cm) obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016**

Tratamientos	Altura de planta ( <sup>1</sup> ) (cm)
Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz	97.65 A
Transplante en hileras	89.70 A
Transplante convencional	92.85 A

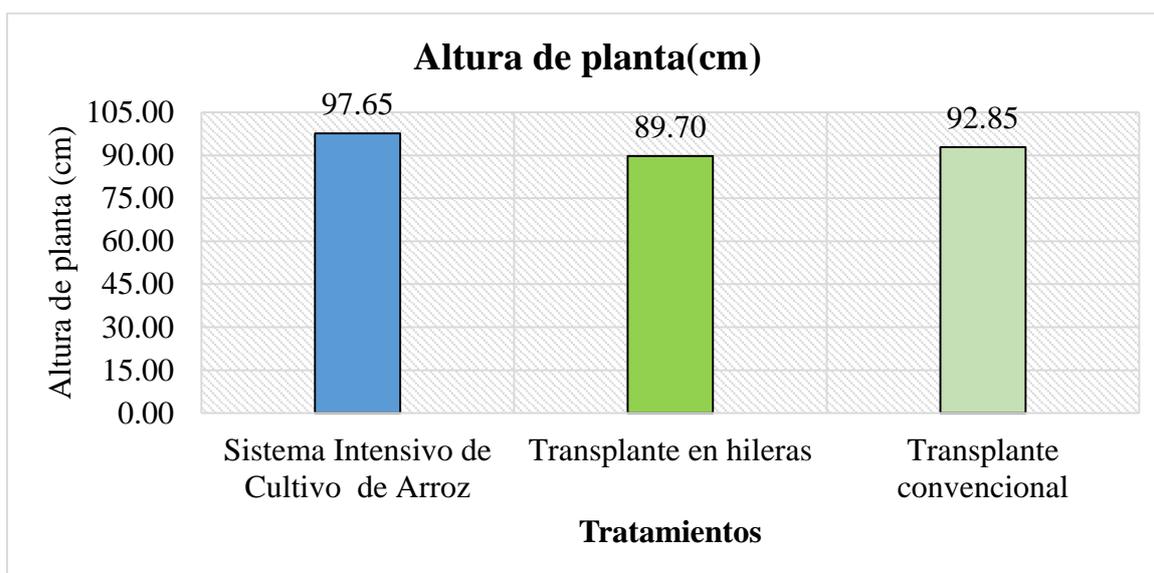
(<sup>1</sup>) Prueba de significación de Duncan 0.05

Coefficiente de variabilidad (%) = 2.936

Los resultados en el presente estudio demuestran que los sistemas de transplantes evaluados no influyen en la altura de planta. Jennings *et al.*, (1981) señala que la altura de planta es una característica genética y varía independientemente según los cultivares.

El cultivar sembrado es de estatura semienano y se encuentra dentro de los rangos definidos de altura para este cultivar (85-104 cm) (INIA, 2013).

En la Figura 7 se muestra la altura de planta en los sistemas de transplante evaluados que oscilaron entre 89 y 98 centímetros.



**Figura 7: Comparación de la variable altura de planta (cm) en tres sistemas de transplante. Valle Jequetepeque-2016**

#### **4.8 PRODUCCION DE MATERIA SECA**

Fageria (2007) indica que la producción de materia seca es de gran importancia porque está asociada con el rendimiento. El peso de la materia seca sigue una curva sigmoidea con el avance de la edad de la planta.

En el Cuadro 17 se observa la producción de materia en tres etapas del cultivo; inicio de fase reproductiva (IFR), floración y maduración expresado en gramos /m<sup>2</sup>.

**Cuadro 17: Producción de materia seca (g/m<sup>2</sup>) durante tres etapas del cultivo obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016**

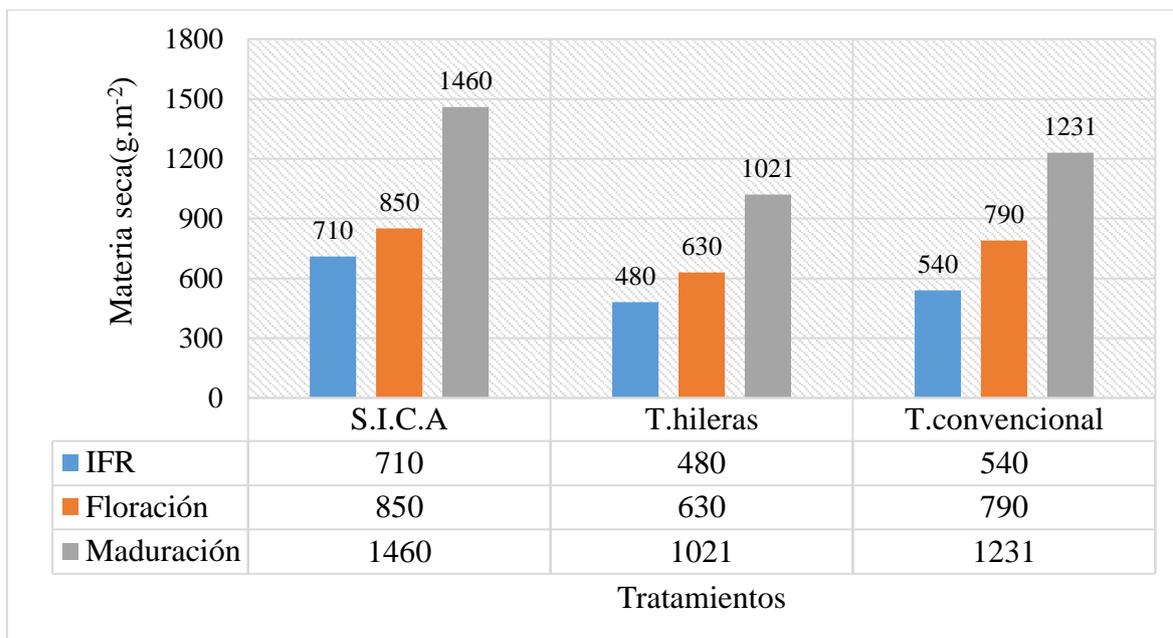
Tratamientos	Materia seca <sup>(1)</sup> (g/m <sup>2</sup> )		
	Inicio de fase reproductiva (IFR)	Floración	Maduración
Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz	710A	850 A	1460 A
Transplante en hileras	480 A	630 B	1021 B
Transplante convencional	540 A	790 A	1231AB
( <sup>1</sup> )Prueba de significación de Duncan 0.05			
Coefficiente de variabilidad (%)=	15.48	3.89	5.33

Según la prueba de significación de Duncan con un  $\alpha = 0.05$ , en la etapa de inicio de fase reproductiva no se encontró diferencias significativas en la producción de materia seca, sin embargo se observa que el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz presentó un promedio superior que fue de 710 gramos.m<sup>-2</sup>, seguido por el sistema de transplante convencional y transplante en hileras con 540 y 480gramos.m<sup>-2</sup> respectivamente. En la floración si se encontró diferencias significativas en la producción de materia seca, el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz alcanzó 850 gramos.m<sup>-2</sup>, mientras que el sistema de transplante en hileras obtuvo 630 gramos.m<sup>-2</sup>. En la etapa de maduración se alcanzó la mayor producción de materia seca. Los valores alcanzados en el S.I.C.A y el sistema de transplante convencional fueron 1460 y 1231 gramos.m<sup>-2</sup> respectivamente, y la producción más baja fue 1021 gramos.m<sup>-2</sup> que se obtuvo en el sistema de transplante en hileras.

Los resultados muestran que a medida que la planta desarrolla hay un aumento en la producción de materia seca. Estudios similares realizados por Fageria (2007) indican que el peso de la materia seca sigue una curva sigmoidea con el avance de la edad de la planta.

La materia seca incrementa en la fase vegetativa (metabolismo de proteínas) así como en la fase reproductiva (metabolismo de carbohidratos). El incremento de peso está asociado principalmente con el incremento de hojas y tallos durante éstas fases (Fageria, 2007).

En la Figura 8 se puede observar la distribución y la cantidad de materia seca producida en tres etapas fenológicas del cultivo: inicio de fase reproductiva, floración al 50% y durante la maduración fisiológica de los granos según los transplantes evaluados.



**Figura 8: Producción de materia seca ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) durante tres etapas fenológicas del cultivo en tres sistemas de transplante. Valle Jequetepeque-2016**

#### 4.9 INDICE DE COSECHA

El índice de cosecha es la relación entre el rendimiento económico y el rendimiento biológico (Yoshida, 1981). El rendimiento económico está constituido por el peso seco de los granos, mientras que el rendimiento biológico está constituido por el peso seco de los granos más el peso seco de la biomasa que está constituida de hojas, tallos, raquis (Sheehy y Mitchell, 2013).

Fageria (2007) señala que el índice de cosecha puede aumentar ya sea mediante el aumento de la producción de materia seca total o aumentando el índice de cosecha de grano. Sheehy y Mitchell (2013) señalan que cuando la producción de biomasa de tallos, hojas es excesiva el índice de cosecha tiende a disminuir.

En el Cuadro 18 se observa que no hay diferencias significativas, según la prueba de significación de Duncan con un  $\alpha = 0.05$  para la variable índice de cosecha entre los sistemas de transplantes evaluados. Sin embargo se observa que el S.I.C.A obtuvo un índice de

cosecha de 42 % superior a los otros sistemas de transplantes evaluados y esto se debe a la mayor producción de materia seca y un mayor rendimiento de grano.

**Cuadro 18: Índice de cosecha obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016**

Tratamientos	índice de cosecha (%)
Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz	42 A
Transplante en hileras	38 A
Transplante convencional	36 A
Prueba de significación de Duncan 0.05	
Coefficiente de variabilidad (%) =	9.06

Los valores de índice de cosecha en cereales son normalmente menores a uno y generalmente varían mucho entre cultivares, localidades, estaciones y ecosistemas con rangos de 0.35 a 0.65 (Fageria, 2007).

Los valores típicos de índice de cosecha alcanzados en los trópicos es de 0.5 (Sheehy y Mitchell, 2013). Mae (1997; citado por Fageria, 2007) reporto que el índice de cosecha de cultivares tradicionales es cerca de 0.3 y para cultivares semienanos mejorados es 0.5.

#### **4.10 CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DEL GRANO EN CÁSCARA**

En el Cuadro 19 se observa que para las características biométricas del grano como largo, ancho y espesor del grano expresado en milímetros no se encontró diferencias significativas en los sistemas de transplantes evaluados debido a que son caracteres bajo control genético, poco influenciados por el ambiente.

El cultivar IR 43 presenta granos largos, porque mide más de 7 mm. Jennings *et al.*, (1981) señala que las características biométricas varían dependiendo del cultivar.

**Cuadro 19: Características biométricas del grano obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016**

Tratamientos	Largo(mm)	Ancho(mm)	Espesor(mm)
Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz	9.52 A	2.51 A	2.04 A
Transplante en hileras	9.84 A	2.51 A	2.02 A
Transplante convencional	9.89 A	2.54 A	2.05 A
Prueba de significación de Duncan 0.05			
Coefficiente de variabilidad (%) =	2.620	0.429	1.221

#### 4.11 CALIDAD MOLINERA

El termino de calidad molinera en arroz se entiende como la capacidad de un cultivar para producir los mayores porcentajes de granos enteros pulidos y tener alto rendimiento total de pila (Grano entero más grano quebrado) (Heros, 2012).

La calidad molinera está definida con base en la proporción del grano que permanece entero o en tres cuartos de su tamaño después de ser sometido al proceso de descascarado y pulido. Los molineros siempre buscan cultivares con alta calidad molinera (alto porcentaje de granos enteros) (CIAT, 1989).

En el Cuadro 20 se observa el análisis de calidad molinera y según la prueba de significación de Duncan con un  $\alpha = 0.05$  sí se encontró diferencias significativas para la variable rendimiento total de molinería y el porcentaje de granos enteros. El Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz presentó un rendimiento total de molinería superior que fue de 70.30 %, seguido por el transplante convencional con 68.13%, mientras que en el sistema de transplante en hileras registró el rendimiento total más bajo con 65.77%.

En el rendimiento de grano pulido entero se encontró diferencias significativas entre el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz y los otros dos sistemas evaluados. Estos rendimientos fluctuaron entre 53.67 % a 58.40 %, siendo el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz el que registró el mayor rendimiento con 58.40% de granos enteros (Figura 9).En cuanto al porcentaje de granos quebrados no se encontró diferencias significativas porque la

cosecha se realizó con el contenido de humedad adecuado (17-20% humedad).

**Cuadro 20: Análisis de la calidad molinera obtenido en tres sistemas de transplante manual en el Valle Jequetepeque-2016**

Tratamientos	R. total (%)	Enteros (%)	Quebrados (%)
Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz	70.30 A	58.40 A	11.90 A
Transplante en hileras	65.77 B	53.67 B	12.10 A
Transplante convencional	68.13 AB	55.87 B	12.26 A
Prueba de significación de Duncan 0.05			
Coefficiente de variabilidad (%) =	2.115	1.796	9.314

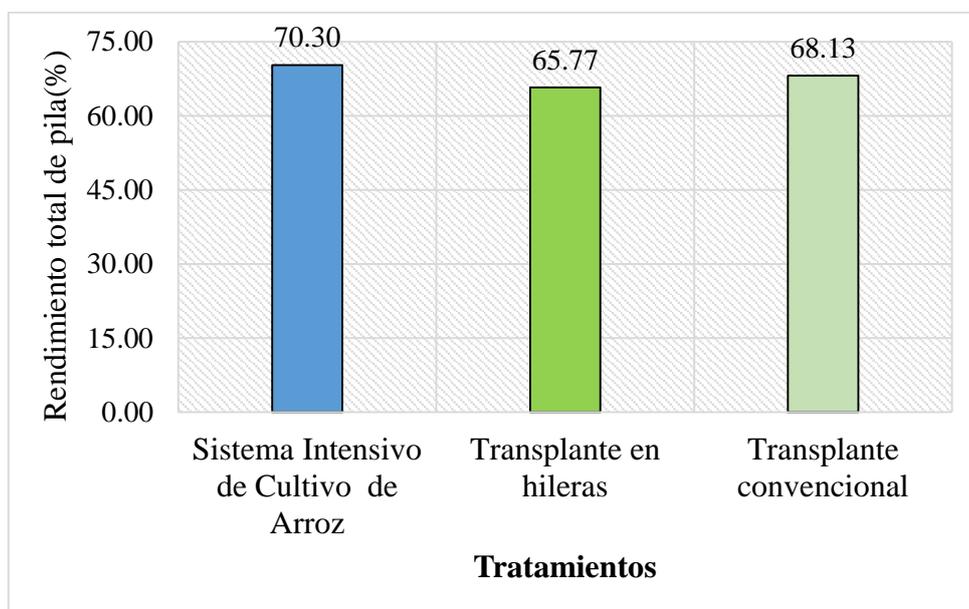
Heros (2012) menciona que la calidad molinera es influenciada por la época de cosecha, factores genéticos y las condiciones climáticas. El rendimiento total de pila se obtiene después de que los granos han sido descascarados y pulidos. El rendimiento total de pila para el cultivar IR 43 es 70% y el porcentaje de granos enteros oscila entre 55-60% (Heros, 2012).

CIAT (1989) indica que tanto una cosecha tardía como temprana puede afectar el rendimiento de molinería. Los granos de arroz cosechados con alta humedad incrementan el porcentaje de granos yesosos que son susceptibles de romperse originando un rendimiento más pobre en el molino; y si por el contrario la cosecha se realiza con el grano muy seco, hace que los granos se quiebren, principalmente si los granos son largos.

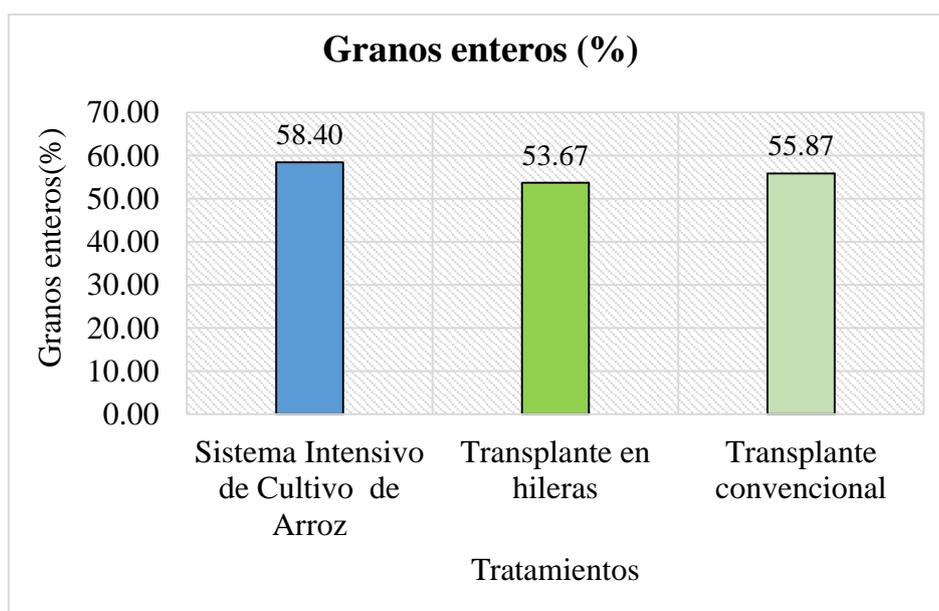
La dureza del grano es otra característica genética que determina la resistencia al quebrado, siendo la proporción de los constituyentes de almidón (amilosa y amilopectina) en la estructura química del grano la que determina una mayor o menor dureza (Gonzales, 1969).

Uphoff (2015) menciona que con Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz, suele obtenerse una cantidad más alta de arroz pulido (comestible), de entre 10% de incremento, ya que la cantidad de granos que resultan rotos durante la molienda es menor y la cantidad de granos yesosos es también menor.

El tratamiento que alcanzó el mayor rendimiento total de pila, fue el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz con 70.30% superando al sistema de transplante convencional como se observa en la Figura 9. Además en la Figura 10 se puede apreciar el porcentaje de granos enteros obteniendo un promedio de 58.40% en el S.I.C.A.



**Figura 9: Comparación del Rendimiento total de pila (%) en tres Sistemas de transplante. Valle Jequetepeque-2016**



**Figura 10: Comparación de granos enteros (%) en tres sistemas de transplante. Valle Jequetepeque-2016**

## V. CONCLUSIONES

1. Bajo el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz se logró el rendimiento más alto, con 6130 kilogramos/ hectárea y superó significativamente a los otros dos sistemas de transplante evaluados, cuyos rendimientos para el Sistema de transplante convencional y Sistema de transplante en hileras fueron 4433 kilogramos/hectárea y 3880 kilogramos/hectárea respectivamente.
2. Con el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz es posible obtener rendimientos superiores a los sistemas de transplante que actualmente se conocen en nuestro país. El S.I.C.A aumentó el rendimiento en 27.6%(1697Kg.ha<sup>-1</sup>) más en comparación al transplante convencional y además rindió 36.7% (2250 Kg.ha<sup>-1</sup>) más comparado con el sistema de transplante en hileras.
3. La producción de macollos fue la característica agronómica que más influencia tuvo en el rendimiento. El Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz tuvo un mayor número de macollos/m<sup>2</sup> en relación a los sistemas de transplante convencional e hileras.
4. El transplante de plántulas jóvenes (15 días de edad) empleadas en el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz permite incrementar los rendimientos por su alto potencial de macollamiento en comparación a las plántulas de 30 días de edad empleadas en los sistemas de transplante convencional e hileras.
5. En calidad molinera el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz alcanzó el rendimiento de molinería más alto (70.30 %), así como el mayor porcentaje de granos enteros (58.4%) en comparación al sistema de transplante en hileras y transplante convencional.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Realizar mayores estudios en otras zonas, épocas de siembras y evaluando diferentes cultivares bajo otras condiciones de manejo agronómico para determinar si el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz registra rendimientos superiores con respecto al sistema de transplante convencional y el transplante en hileras.
2. Realizar mediciones para determinar el volumen de agua que se ahorra con el Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz en comparación al sistema de transplante convencional.
3. Diseñar manejos de almácigo, que permitan el transplante de plántulas juveniles, para la adopción del Sistema Intensivo de Cultivo de Arroz.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGRARIA PE. 2015. Producción de Arroz se duplicó con siembra a cordel (en línea). Lambayeque, PE. Consultado 12 oct.2016. Disponible en <http://agraria.pe/noticias/produccion-de-arroz-se-duplico-con-siembra-a-cordel-8354>
2. AGROBANCO.2013. Manejo Integrado en el Cultivo de Arroz (en línea). Consultado 16 dic.2016. Disponible en <http://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/006-arroz.pdf>
3. ALVA, C. 2000. Manejo Integrado del Cultivo de Arroz. CODESE. Lambayeque, Perú.
4. BARRETT, C; MOSER, C; BARISON, J; MCHUGH, O. 2004. Better technologies, better plots or better farmers? Identifying Changes in Productivity and Risk among Malagasy rice farmers. *Am J Agric Econ.*86:869-888
5. BERKELAAR, D. 2001. SRI, El Sistema para la Intensificación del arroz: “Menos puede ser más”. *Echo Notas de Desarrollo.*70:1-6
6. BOONJUNG, H; FUKAI, S. 1996. Effect of soil water deficit at different growth stages on rice growth and yield under upland conditions. *Field Crops Research* 48:37-45.
7. BOUMAN, B; LAMPAYAN, R; TUONG, T.2007. *Water Management in Irrigated Rice: Coping with Water Scarcity.* Los Baños, Philippines. International Rice Research Institute.
8. CALZADA, J. 1954. *Experimentación Agrícola.* Ediciones Agroganaderas.Lima-Perú.
9. CASTILLO, P.2009. *Sistema Intensivo del cultivo de arroz (S.I.C.A) en Tumbes-Perú.* UNT (Universidad Nacional de Tumbes). Nota técnica. 4p. Consultado el 16 nov.2016. Disponible en <http://es.slideshare.net/p260958/articulo-sia-cedros>

10. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, CO).1989.Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz: guía de estudio para ser usado como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema. Cali, Colombia.73 p.
11. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, CO). 1985. Arroz: Investigación y producción.Tascón, E y García, E (Eds.) Cali, Colombia. 699 p.
12. DE DATTA, S. 1986. Producción de arroz fundamentos y prácticas. Limusa. México. p.341-393
13. DEL CASTILLO, D; PETERS, D.1994.Paddy Rice Research. In: Final Report for the agricultural development component of the Ranomafana National Park Project in Madagascar, Soil Science Dept,North Carolina State University, Raleigh, NC.p.14-27
14. DHITAL, K. 2011. Study on System of Rice Intensification in transplanted and Direct-seeded. Doctoral dissertation .Tribhuvan University. Chiwan, Nepal. 145p.
15. FAGERIA, N. 2007. Yield Physiology of Rice. Journal of Plant a Nutrition 30:843-879.
16. FAGERIA, N; BALIGAR, V; JONES, C.1997.Growth and mineral nutrition of field crops. New York: The Haworth Press.
17. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2009. La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050: Como alimentar al mundo en el 2050.p.1-4
18. FAOSTAT. 2016. División estadística de la FAO (en línea). Roma, IT. Consultado 26 Jul. 2016. Disponible en <http://faostat3.fao.org/dowland/Q/QC/E>
19. FERNÁNDEZ, A. 2003. Ensayo de adaptabilidad del SRI y 5 variedades de arroz en Rioja (en línea). Colegio de Ingenieros del Perú.p.1-8 Disponible en <http://sri.cals.cornell.edu/countries/peru/perufnl.pdf>

20. GONZÁLES, H. 1969. Calidad molinera. In Curso de Capacitación sobre el cultivo de arroz. Ministerio de Agricultura. Programa Nacional de Arroz. Lambayeque, Perú. p. 505-513
21. GONZÁLES, L. 1945. El cultivo de Arroz por el Sistema de transplante en la zona Norte del Perú. Tesis Ing. Agr. Sociedad Nacional Agraria. Perú. 116p
22. HASHIMOTO, Y; TZUMIDIA, M; SAKALI, R; OTSAKI; HANAYAMA. 1976. Results of experiment on direct sowing of paddy rice, using machines in cooperation with farmers proceeding. Crop Sci. Jap. 26:35-38.
23. HERNÁNDEZ, J. 1985. Producción de Arroz. Nets editors. Lima, Perú. 64p.
24. HEROS, E. 2012. Manual Técnico del Manejo Integrado del Arroz. Ed. B. Olaya. Printed. Perú. p. 22-26
25. HIRSCH, R. 2000. La rizicultura malgache Revisitée: Diagnostic et perspectives (1993-1999). Agence Française de Développement, Antananarivo.
26. HOSSAIN, M; SALEEM, M; UDDIN, M; PERVEZ, Z; SARKAR, M. 2002. A comparative study of direct seeding vs. transplanting method on the yield of rice. Pakistan J. Agron. 1: 86-88
27. HUANG, M; ZOU, Y; JIANG, P; XIA, B; IBRAHIM, M; AO, H. 2011. Relationship between Grain Yield and Yield Components in Super Hybrid Rice. Science Direct 10(10):1537-1544.
28. HUBE, S; ALFARO, M; RAMÍREZ, L; DONOSO, G; PAREDES, M. 2015. Contribución del cultivo de arroz al cambio climático. In Manual de producción de Arroz: Buenas prácticas Agrícolas. Paredes, M; Becerra, V. eds. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 306. Santiago, Chile. 100 p.
29. INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2009. Cultivo de arroz: Manual de recomendaciones técnicas. Tinoco, R; Acuña, A. eds. San José, CR. 74p.

30. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).2007.The physical science basis contribution of working group I to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge University Press, New York.
  
31. IRRI (Instituto Internacional de Investigación en Arroz, PH); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2015. Rompen record mundial de rendimiento en arroz Sistema de Intensificación de Cultivo de Arroz. Noticias Agropecuarias. N°13: 1-2.
  
32. IRRI (International Rice Research Institute, PH). 2013. Smart water technique for rice. Los Baños, Philippines. p.1-6
  
33. IZURIETA, F. 1968. Estudio Comparativo de 49 Variedades de Arroz “Secano” en Tingo María. Tesis Ing. Agr.Lima-Perú.41p
  
34. JENNINGS, P; COFFMAN, W; KAUFFMAN, H. 1981. Mejoramiento del arroz.CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Cali, Colombia.233p.
  
35. JUCHL (Junta de Usuarios Chancay-Lambayeque, PE).2010.Manual de manejo técnico del cultivo de arroz. Chancay, Lambayeque.60p.
  
36. KABIR, H; UPHOFF, N.2007. Results of disseminating the System of Rice Intensification with Farmer Field School methods in Northern Myanmar. Experimental Agriculture 43: 463-476
  
37. KATAYAMA, T. 1951. Ine mugi no bungetsu kenkyu (Studies on Tillering in Rice, Wheat and Barley) Yokendo Publishing. Tokio, Japón.
  
38. KUSH, G; PAULE, C; DE LA CRUZ, N. 1979. Rice Grain Quality Evaluation and Improvement at IRRI. In Proceeding on the Workshop on Chemmical Aspects of Rice Grain Quality. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines. p. 21-30

39. LANNING, S; SIEBENMORGEN, T; COUNCE, P; AMBARDEKAR, A; MAUROMOUSTAKOS, A.2011. Extreme nighttime air temperatures in 2010 impact rice chalkiness and milling quality. *Field Crops Research* 124(1):132-136.
40. LAULANIÉ, H. 1993. Le Systeme de Riziculture Intensive Malgache. *Tropicicultura (Brussels)* 11:110-114.
41. LATIF, M; ISLAM, M; ALI, M; SALEQUE, M. 2005. Validation of the System of Rice Intensification (SRI) in Bangladesh. *Field Crops Research* 93:281-292
42. MABBAYAD, B; OBORDO, R. 1971. Transplanting vs. direct seeding. *World Farming* 13:6-7.
43. MARTÍNEZ, T. 2010. Caracterización y Optimización del ahijado de arroz en el Delta del Ebro. Tesis para optar el título de Doctor. Universidad Politécnica de Valencia. 301p
44. MASLE, J. 1985. Competition among tillers in Winter wheat: Consequences for growth and Development of the crop. In *Wheat growth and modeling*, W. Day and R.K. Atkin, eds., 33-54. New York: Plenum Press.
45. MENETE, M; VAN ES, H; BRITO, DE GLORIA, R; FAMBA, S.2008. Evaluation of System of Rice Intensification (SRI) component practices and their synergies on salt-affected soils. *Field Crops Res.* 109:34-44.
46. MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE). 2016. Evolución de producción y precios de arroz. Lima, Perú. 6 p.
47. MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE). 2014. El Arroz: Principales Aspectos de la Cadena Agroproductiva. Lima, Perú. 37 p.
48. MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE).2014. Series Históricas de Producción Agrícola. Compendio Estadístico. Lima, Perú.

49. MINAG (Ministerio de Agricultura, PE). 2013. El Arroz: Principales Aspectos de la Cadena Agroproductiva. 1 ed. Lima, Perú. 34 p.
50. MING, H; CAILING, Y; QIUMEI, J; LIGENG, J; JIANLING, T; YONGQING, L. 2013. Tillering response of rice to plant density and nitrogen rate in a subtropical environment of southern China. *149:187-192*
51. MISHRA, A; WHITTEN, J; KETELAAR, W; SALOKHE, M. 2006. The System of Rice Intensification (SRI): A challenge for Science, and an opportunity for farmer empowerment towards sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture System 4:193-212*
52. MOSER, C; BARRETT, C. 2003. The disappointing adoption dynamics of a yield increasing, low external-input technology: The case of SRI in Madagascar. *Agricultural Systems 76: 1085-1100.*
53. MUÑOZ, R. 1990. Manejo Postcosecha de Arroz. In II Curso Internacional de Arroz- INIA-CIAT-INDAP. Chillan, Chile. 28 p
54. NEMOTO, K; MORITA, S; BABA, T. 1995. Shoot and root development in rice related to the phyllochron. *Crop Sci 35:24-29*
55. NORMA TÉCNICA PERUANA. 2014. Arroz. Arroz Elaborado. Requisitos. NTP 205.011. INDECOPI. 2014 (en línea). Lima, Perú. Consultado 17 may. 2017. Disponible en <https://es.scribd.com/doc/310497840/NTP-205-011-1>
56. ORTIZ, P. 2016. Respuesta de dos cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) en contenido de proteínas y comportamiento agronómico a cinco niveles de nitrógeno. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad de Guayaquil. 88p
57. PASUQUIN, E; LAFARGE, T; TUBANA, B. 2008. Transplanting young seedlings in irrigated rice fields: Early and high tiller production enhanced grain yield. *Field Crops Research 105:141-155.*

58. PEÑA, R; ÁVILA, C; HERNÁNDEZ, A. 1983. Madurez óptima para la cosecha y su influencia sobre los rendimientos agrícolas e industriales de las variedades de arroz J-104 y J-112. *Ciencia y Técnica en la Agricultura*. Arroz 6(2): 55-71.
59. PÉREZ, R.2002. Carta Agropecuaria Azucarera. Tema: Sistema Intensivo de Cultivo Arrocerero (S.I.C.A).MINAZ.2da.Versión.CAA 00-1.
60. RANDRIAMIHARISOA, R; UPHOFF, N. 2002. Factorial trials evaluating the separate and combined effects of SRI practices. In: Uphoff, N et al. (eds.) Assessments of the system of rice intensification. Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development, Ithaca, NY.p.41-47.
61. RAJENDRAN, K; GANESA, V. 2014. Effect of age of seedlings on growth and yield of rice. *Indian Journal of Advances in Plant Research (IJAPR)* 1 (5):62-66.
62. RAMAMOORTHY, K; SELVARAO.V; CHINNASWAMI, N. 1993. Varietal Response of Rice to different water regimes. *Indian Journal of Agronomy* 38:468-469
63. SALHUANA, A; SÁNCHEZ, P. 1969. Sistemas de Cultivo de Arroz en el Perú. In. Curso de Capacitación sobre el cultivo de arroz. Ministerio de Agricultura. Programa Nacional de Arroz. Lambayeque, Perú. Cap. 10.p.1-13
64. SANCHEZ, P. 1973. Puddling tropical soils. 2. Effects on water losses. *Soil Sci.* 115:303-308.
65. SATYANARAYAMA, A; THIYAGARAJAM, T; UPHOFF, N. 2007. Opportunities for water saving with higher yield from the System of Rice Intensification. *Irrigation rice* 25:99-115
66. SHEEHY, J; MITCHELL, P.2013. Designing rice for the 21 st century: the three laws of maximum yield. Discussion Paper Series N°48.p:1-21

67. SHEEHY, J; PENG, S; DOBERMANN, A; MITCHELL, L; FERRER, A; YANG, J; ZOU, Y; ZHONG, Y; HUANG, J. 2004. Fantastic Yields in the Systems of Rice Intensification: Fact or fallacy? *Field Crops Res* 88: 1-8.
68. SIEBENMORGEN, T; COUNCE, P; CHARLES, E. s.f. Factors Affecting Rice Milling Quality (en línea). Arkansas, US. University of Arkansas, Division of Agriculture.6 p. Consultado 16 dic. 2016. Disponible en <https://www.uaex.edu/publications/PDF/FSA-2164.pdf>
69. SINHA, S; TALATI, J. 2007. Productivity Impacts of the System of Rice Intensification (SRI): A case Study in West Bengal, India. *Agricultural Water Management*. Science direct 87:55-60.
70. SRI-INDIA. 2009. Hoja Informativa SRI (en línea). Consultado 16 nov.2016. Disponible en [http://www.sri-india.net/html/aboutsri\\_andhrapradesh.html](http://www.sri-india.net/html/aboutsri_andhrapradesh.html)
71. STOOP, W; UPHOFF, N; KASSAM, A. 2002. A review of Agricultural Research issues raised by the System of Rice Intensification (SRI) from Madagascar: Opportunities for improving farming Systems for resource-poor farmers. *Agricultural Systems* 71: 249-274
72. STYGER, E. 2009. SRI 2:0How is the System of Rice Intensification Evolving and what are we learning. CIIFAD Seminar.
73. THAKUR, A; RATH, S; ROYCHOWDHURY, S; UPHOFF, N. 2010. Comparative Performance of Rice with the System of Rice Intensification (SRI) and Conventional Management using Different Plant Spacings. *Journal of Agronomy and Crop Science* 196:146-159.
74. THAKUR, A; MOHANTY, R; PATIL, D; KUMAR, A.2014. Impact of water management on yield and water productivity with the System of rice. *Paddy and Water Environment* 12:413-424.
75. UPHOFF, N. 2015. Sistema de Intensificación del Cultivo del Arroz: Respuestas a preguntas frecuentes. Universidad de Cornell.p.1-28

76. UPHOFF, N; KASSAM, A; HARWOOD, R. 2011. SRI as a methodology for raising crop and water Productivity: productive adaptations in rice agronomy and Irrigation water management. *Paddy Water Environ* 9(1):3-11
77. UPHOFF, N; KASSAM, A. 2009. Annex 3 Case Study: The system of Rice Intensification. In *STOA Proyecto "Tecnologías agrícolas para los países en desarrollo"* (en línea). Instituto Internacional de Cornell para la Agricultura y el Desarrollo de Alimentos (CIIFAD). Ithaca, Estados Unidos. 57p. Consultado 16 dic. 2016. Disponible en [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/stoa/2009/424734/DG-IPOL-STOA\\_ET%282009%29424734\\_EN%28PAR05%29.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/stoa/2009/424734/DG-IPOL-STOA_ET%282009%29424734_EN%28PAR05%29.pdf)
78. UPHOFF, N. 2003. Higher yields with fewer external inputs? The System of Rice Intensification and potential contributions to agricultural sustainability. *Int. J. Agric. Sustain.* 1: 38-50
79. UPHOFF, N. 2002. System of Rice Intensification (SRI) for enhancing the productivity of land labor and water. *J. Agric. Resour. Manage* 1(1):43-49.
80. UPHOFF, N. 2001. Scientific issue raised by the System of Rice Intensification: A less-water rice cultivation system. In *Proceedings of an International Workshop on Water Saving Rice Production Systems at Nanjing University, China, 2-4 April 2001*. Plant Research Institute, Wageningen University. p.82-99
81. UPHOFF, N. 1999. Agroecological Implications of the System of Rice Intensification (SRI) in Madagascar. *Environment Development and Sustainability* 1:297-313.
82. YANG, C; YANG, L; YANG, Y; OUYANG, Z. 2004. Rice root growth and nutrient uptake as influenced by organic manure in continuously and alternately flooded paddy soils. *Agriculture Water Management* 70:67-81
83. YOSHIDA, S. 1981. *Fundamentals of Rice Crop Science*. The International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines. 269p.

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1: Análisis de variancia del rendimiento de arroz cáscara (toneladas/ha) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	2	0.537	0.268	4.27	0.1017	N.S
Tratamientos	2	8.292	4.146	65.96	0.0009	**
Error	4	0.251	0.063			
Total	8	9.081				
CV (%) =	5.208					
Promedio	4.814					

### Anexo 2: Análisis de variancia del macollamiento a los 49 días de edad en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	2	398.000	199.000	0.12	0.8912	N.S
Tratamientos	2	39624.000	19812.000	11.8	0.0210	*
Error	4	6716.000	1679.000			
Total	8	46738.000				
CV (%) =	16.153					
Promedio	253.667					

**Anexo 3: Análisis de variancia del macollamiento a los 55 días de edad en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	2	2650.889	1325.444	0.25	0.7891	N.S
Tratamientos	2	113820.222	56910.111	10.79	0.0244	*
Error	4	21087.778	5271.944			
Total	8	137558.889				
CV (%) =	17.835					
Promedio	407.111					

**Anexo 4: Análisis de variancia del macollamiento a los 62 días de edad en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	2	1384.667	692.333	0.10	0.9070	N.S
Tratamientos	2	122378.000	61189.000	8.84	0.0340	*
Error	4	27675.333	6918.833			
Total	8	151438.000				
CV (%) =	17.353					
Promedio	479.333					

**Anexo 5: Análisis de variancia del número de granos totales/panícula en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	1	37.50000	37.50000	0.190	0.7062	N.S
Tratamientos	2	777.0000	388.50000	1.960	0.3382	N.S
Error	2	397.00000	198.50000			
Total	5	1211.50000				
CV (%) =	10.397					
Promedio	135.500					

**Anexo 6: Análisis de variancia del peso de 1000 granos (g) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	1	0.03082	0.03082	0.04	0.8670	N.S
Tratamientos	2	1.32363	0.66182	0.770	0.5637	N.S
Error	2	1.71043	0.85522			
Total	5	3.06488				
CV (%) =	3.408					
Promedio	27.132					

**Anexo 7: Análisis de variancia de granos llenos/panícula (%) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	1	2.30640	2.30640	0.60	0.5184	N.S
Tratamientos	2	7.51270	3.75635	0.98	0.5041	N.S
Error	2	7.63690	3.81845			
Total	5	17.45600				
CV (%) =	2.436					
Promedio	80.21					

**Anexo 8: Análisis de variancia de granos vanos/ panícula (%) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	1	2.48327	2.48327	0.65	0.5057	N.S
Tratamientos	2	7.63543	3.81772	0.990	0.5014	N.S
Error	2	7.67843	3.83922			
Total	5	17.79713				
CV (%) =	9.913					
Promedio	19.767					

**Anexo 9: Análisis de variancia de longitud de panícula (cm) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	1	0.00167	0.00167	0.01	0.9701	N.S
Tratamientos	2	1.86333	0.93167	1.000	0.5000	N.S
Error	2	1.86333	0.93167			
Total	5	3.72833				
CV(%) =	4.058					
Promedio	23.783					

**Anexo 10: Análisis de altura de planta (cm) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	1	0.02667	0.02667	0.01	0.9579	N.S
Tratamientos	2	64.11000	32.05500	4.260	0.1901	N.S
Error	2	15.04333	7.52167			
Total	5	79.18000				
CV (%) =	2.936					
Promedio	93.40					

**Anexo 11: Análisis de variancia del índice de cosecha en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	1	0.00002	0.00002	0.01	0.9175	N.S
Tratamientos	2	0.00390	0.00195	1.6	0.3842	N.S
Error	2	0.00243	0.00122			
Total	5	0.00635				
CV (%) =	9.060					
Promedio	0.385					

**Anexo 12: Análisis de variancia de índice de translucencia en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	2	0.008	0.004	2.30	0.2167	N.S
Tratamientos	2	0.006	0.003	1.79	0.2791	N.S
Error	4	0.007	0.002			
Total	8	0.021				
CV (%) =	36.316					
Promedio	0.116					

**Anexo 13: Análisis de variancia de producción de materia seca en inicio de fase reproductiva (g/m<sup>2</sup>) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Ftab	Significación
Bloques	1	4482.667	4482.667	0.56	18.510	N.S
Tratamientos	2	56933.333	28466.667	3.57	19.000	N.S
Error	2	15941.333	7970.667			
Total	5	77357.333				
CV (%) =	15.48					
Promedio	576.667					

**Anexo 14: Análisis de variancia de producción de materia seca en etapa de floración (g/m<sup>2</sup>) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Ftab	Significación
Bloques	1	32266.667	32266.667	37.231	18.510	*
Tratamientos	2	51733.333	25866.667	29.846	19.000	*
Error	2	1733.333	866.667			
Total	5	85733.333				
CV (%) =	3.890					
Promedio	756.667					

**Anexo 15: Análisis de variancia de producción de materia seca en etapa de maduración (g/m<sup>2</sup>) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Ftab	Significación
Bloques	1	14210.667	14210.667	3.27	18.510	N.S
Tratamientos	2	192841.333	96420.667	22.15	19.000	*
Error	2	8705.333	14352.667			
Total	5	215757.333				
CV (%) =	5.330					
Promedio	1237.333					

**Anexo 16: Análisis de variancia de rendimiento de pila (%) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	2	3.920	1.960	0.95	0.4611	N.S
Tratamientos	2	30.847	15.423	7.44	0.0449	*
Error	4	8.293	2.073			
Total	8	43.060				
CV (%) =	2.115					
Promedio	68.067					

**Anexo 17: Análisis de variancia de granos enteros (%) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	2	1.069	0.534	0.53	0.6256	N.S
Tratamientos	2	33.662	16.831	16.65	0.0115	*
Error	4	4.044	1.011			
Total	8	38.776				
CV (%) =	1.796					
Promedio	55.978					

**Anexo 18: Análisis de variancia de granos quebrados (%) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	2	9.016	4.508	3.56	0.1286	N.S
Tratamientos	2	0.202	0.101	0.08	0.9248	N.S
Error	4	5.071	1.268			
Total	8	14.289				
CV (%) =	9.314					
Promedio	12.089					

**Anexo 19: Análisis de variancia de largo de grano (cm) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	1	0.10402	0.10402	1.59	0.3339	N.S
Tratamientos	2	0.15843	0.07922	1.210	0.4515	N.S
Error	2	0.13043	0.06522			
Total	5	0.39288				
CV (%) =	2.620					
Promedio	9.748					

**Anexo 20: Análisis de variancia de ancho de grano (cm) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	1	0.00167	0.00167	14.29	0.0634	N.S
Tratamientos	2	0.00103	0.00052	4.430	0.1842	N.S
Error	2	0.00023	0.00012			
Total	5	0.00293				
CV (%) =	0.429					
Promedio	2.517					

**Anexo 21: Análisis de variancia de espesor de grano (cm) en tres sistemas de transplante manual de arroz. Valle Jequetepeque- 2016**

F. Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	Pr>F	Significación
Bloques	1	0.00167	0.00167	2.70	0.2419	N.S
Tratamientos	2	0.00103	0.00052	0.840	0.5441	N.S
Error	2	0.00123	0.00062			
Total	5	0.00393				
CV (%) =	1.221					
Promedio	2.033					