

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE



**ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA CONTRIBUIR A LA
SUSTENTABILIDAD DEL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.)
EN EL PERÚ**

Presentada por:

ELIZABETH CONSUELO HEROS AGUILAR

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR

Doctoris Philosophiae (Ph.D.)

EN AGRICULTURA SUSTENTABLE

Lima – Perú

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE

**ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA CONTRIBUIR A LA
SUSTENTABILIDAD DEL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.)
EN EL PERÚ**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR
Doctoris Philosophiae (Ph.D.)
EN AGRICULTURA SUSTENTABLE

Presentada por:

ELIZABETH CONSUELO HEROS AGUILAR

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dra. Luz Gómez Pando
PRESIDENTE

Ph.D. Hugo Soplín Villacorta
PATROCINADOR

Ph.D. Julio Alegre Orihuela
MIEMBRO

Dr. Alberto Julca Otiniano
MIEMBRO

Ph.D. Sergio Eduardo Contreras Liza
MIEMBRO EXTERNO

Al Rey de Reyes, quien ha sido, es y será siempre mi ayudador.....

A mi Padre, con todo el amor que no supe ofrecerte cuando estabas conmigo. Estoy segura que estuvierás muy feliz de este logro.

A mi carísima e incondicional madre, que en todo momento nos enseñó a no desmayar.

Para José, con mucho amor, por direccionar mi vida profesional y acompañarme en todos los retos.

A mis hermanos, por estar siempre presente.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria La Molina, por permitirme crecer y desarrollar profesionalmente.

Al Departamento de Fitotecnia, por las facilidades otorgadas en el inicio y culminación del Doctorado.

A todo el Personal del Programa de Investigación en Cereales y Granos Nativos, por su contribución para la culminación del Doctorado.

Al Dr. Hugo Soplín Villacorta, Patrocinador de Tesis, por su valioso asesoramiento y dirección.

A la Profesora Luz Gómez Pando, por ser mi mentora en mi formación profesional.

Al Programa Nacional de Innovación Agraria - PNIA, por el apoyo financiero para la realización de esta investigación.

Al Ing. José Lau Cobián y al Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, por haberme brindado las tierras para la ejecución de la fase experimental.

A todas las personas que ayudaron, directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1	Historia del arroz	3
2.2	Historia del arroz en el Perú	6
2.3	Taxonomía del arroz	9
2.4	Morfología de la planta de arroz	10
2.4.1	Órganos vegetativos	10
2.4.2	Órganos reproductivos	12
2.5	Crecimiento y Desarrollo	14
2.5.1	Fase vegetativa	14
2.5.2.	Fase reproductiva	17
2.5.3	Fase de maduración	21
2.6	Sustentabilidad y Desarrollo	23
2.6.1	Crecimiento y desarrollo económico	23
2.7	Agricultura Sustentable	27
2.8.	Cambio climático	28
2.8.1	¿Qué es el cambio climático?	28
2.8.2	¿Qué es la variabilidad climática?	29
2.8.3	Cambio climático y arroz	29
2.9.	Estadísticas de producción de arroz	30
2.9.1	Estadísticas mundiales de arroz	30
2.9.2	Estadísticas nacionales	31
2.10	Índice de Desarrollo Humano	31
2.11	Migraciones en el Perú	33
2.12	Censo Nacional Agropecuario 2012	34
2.13	Sustentabilidad de los sistemas de producción de arroz	35
2.14	Cultivo de arroz, sistemas actuales de producción	36
2.14.1	Sistema indirecto-Trasplante	36
2.14.2	Sistema de siembra directa	39
2.14.3	Sistema intensivo de cultivar arroz - SICA	42
2.14.4	Sistema aeróbico de producción de arroz	43
2.15	Tecnologías actuales de manejo de agua	44

2.15.1	Técnica de humedecimiento y secado (AWD)	44
2.15.2	Cultivo de suelo saturado	44
2.16	Adaptación del cultivo de arroz al cambio climático a nivel mundial	45
2.16.1	Adopción de la siembra directa	45
2.17	Cultivo de arroz y emisión de gases de efecto de invernadero	47
2.18	Cultivo de arroz y consumo de agua	48
2.19	Cultivo de arroz y manejo de fertilizantes nitrogenados	49
2.19.1	Cantidad de fertilizantes nitrogenados utilizados a nivel mundial	50
2.19.2	Eficiencia de uso de nitrógeno	51
2.19.3	Pérdida de nitrógeno	52
2.20	Calidad en arroz	53
2.20.1	Calidad molinera	55
2.20.2.	Calidad culinaria	56
2.21	Análisis de los agricultores a través del enfoque de tipologías	58
2.21.1	Tipificación de los productores arroceros del Perú	59
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	60
3.1	Evaluación de formas de aplicación y niveles de nitrógeno para la sustentabilidad del cultivo de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) en condiciones del valle Jequetepeque	60
3.1.1	Ubicación del experimento	60
3.1.2.	Características del suelo	61
3.1.3	Características climáticas	62
3.1.4	Materiales y equipos	62
3.1.5	Características del cultivar IR-43	62
3.1.6	Diseño experimental	64
3.1.7	Modelo aditivo lineal	64
3.1.8	Caracterización de los tratamientos	64
3.1.9	Características del campo experimental	65
3.1.10	Manejo agronómico	66
3.1.11	Variables evaluadas	67

3.2	Comparación del sistema de siembra directa y trasplante en el cultivo de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) en condiciones del valle Jequetepeque	74
3.2.1	Ubicación del experimento	74
3.2.2	Características del suelo	74
3.2.3.	Características climáticas	75
3.2.4	Materiales y equipos	76
3.2.5	Diseño experimental	76
3.2.6	Modelo aditivo lineal	76
3.2.7	Caracterización de los tratamientos	77
3.3.8	Características del área experimental	77
3.2.9	Manejo agronómico	78
3.2.10	Cosecha	80
3.2.11	Análisis físicos-químicos	80
3.2.12	Variables evaluadas	80
3.3	Identificación de los cultivares de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.), más adaptados al sistema de siembra de suelo saturado y suelo inundado en condiciones del valle Chancay, Lambayeque	81
3.3.1	Ubicación del experimento	82
3.3.2	Características de clima	82
3.3.3	Características del suelo	83
3.3.4	Materiales y equipos	83
3.3.5	Diseño experimental	84
3.3.6	Modelo aditivo lineal	84
3.3.7	Caracterización de los tratamientos	85
3.3.8	Características del área experimental	86
3.3.9	Manejo agronómico	87
3.3.10	Variables evaluadas	88
3.4	Contexto del sistema de producción de arroz, de los agricultores de la Comisión de Regantes de Ferreñafe	90
3.4.1	Primer taller	93
3.4.2	Segundo taller	93
3.4.3	Gira agronómica en el área experimental de la UNALM	94

3.4.4	Encuesta	94
3.4.5	Entrevistas a los expertos	95
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	97
4.1	Formas de aplicación y niveles de nitrógeno en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.), en condiciones del valle Jequetepeque, La Libertad	97
4.1.1	Rendimiento en arroz cáscara	98
4.1.2	Determinación de biomasa	100
4.1.3	Relación entre materia seca y rendimiento	101
4.1.4	Altura de planta	102
4.1.5	Componentes de rendimiento	103
4.1.6	Índice de cosecha	103
4.1.7	Determinación de la eficiencia de uso de nitrógeno	104
4.1.8	Índice de traslucencia	106
4.1.9	Rendimiento de molinería	107
4.1.10	Contenido de proteínas	107
4.1.11	Calidad culinaria	108
4.1.12	Análisis Económico	109
4.2	Comparación de los sistemas de siembra directa y trasplante en el cultivo de arroz en condiciones del valle Jequetepeque, La Libertad	111
4.2.1	Rendimiento en arroz cáscara	112
4.2.2	Relación entre producción de materia seca y rendimiento en grano	114
4.2.3	Relación entre índice de cosecha y rendimiento en grano	115
4.2.4	Relación entre macollamiento y rendimiento en grano	115
4.2.5	Ciclo de vida	117
4.2.6	Altura de planta	117
4.2.7	Componentes de rendimiento	118
4.2.8	Calidad molinera	118

4.3	Identificación de los cultivares de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) más adaptados al sistema de siembra de suelo saturado y suelo inundado en condiciones del valle Chancay, Lambayeque	119
4.3.1	Rendimiento en arroz cáscara	120
4.3.2	Relación entre producción de materia seca y rendimiento	122
4.3.3	Relación entre índice de cosecha y rendimiento	122
4.3.4	Consumo de agua	123
4.3.5	Correlación entre los diferentes índices de tolerancia a estrés y rendimiento medio de cultivares de arroz en condiciones de suelo saturado y suelo inundado	124
4.3.6	Análisis cluster de los genotipos en en condiciones de suelo saturado y suelo inundado	126
4.3.7	Análisis tridimensional de los genotipos con adaptación a suelo saturado y suelo inundado	127
4.3.8	Calidad molinera	129
4.4	Caracterizar el sistema de producción de arroz, en el área de influencia de la Comisión de Regantes de Ferreñafe del valle Chancay, Lambayeque	130
4.4.1.	Entrevistas a expertos	130
4.4.2	Caracterización de agricultores y sistemas de producción de agricultores pertenecientes a la Comisión de Regantes de Ferreñafe	134
V.	CONCLUSIONES	147
VI.	RECOMENDACIONES	150
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	151
VIII.	ANEXOS	178

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Clasificación del arroz	9
Cuadro 2.	Serie histórica 2008-2017 de superficie cosechada, producción y rendimiento de arroz a nivel mundial (1)	31
Cuadro 3.	Historial de la superficie, producción y rendimiento de arroz en el Perú. Décadas de 1920 a 2010	32
Cuadro 4.	Escala del Índice de Desarrollo Humano-IDH	33
Cuadro 5.	Análisis de suelo del Fundo Luzben, valle Jequetepeque, 2016	61
Cuadro 6.	Datos meteorológicos de temperatura y radiación solar durante la conducción del experimento. Año 2016	61
Cuadro 7.	Características agronómicas del cultivar IR-43	63
Cuadro 8.	Formas de aplicación y niveles de aplicación de N en kg ha ⁻¹	65
Cuadro 9.	Escala para clasificar granos tizosos en base al área afectada	71
Cuadro 10.	Ejemplo para determinar el índice de traslucencia	71
Cuadro 11.	Escala para la evaluación de temperatura de gelatinización a través de la prueba de dispersión alcalina	73
Cuadro 12.	Análisis de Suelo del Fundo Luzben, valle Jequetepeque	75
Cuadro 13.	Datos meteorológicos de temperatura y radiación solar durante la conducción del experimento. Año 2016	75
Cuadro 14.	Información meteorológica reportadas de febrero a mayo, 2017. Estación Experimental Vista Florida, 2017	84
Cuadro 15.	Análisis de suelo del área experimental en la Estación Experimental Vista Florida, Lambayeque	83
Cuadro 16.	Cultivares y líneas promisorias de arroz sembrados en condiciones de suelo inundado y suelo saturado	84
Cuadro 17.	Características de los cultivares comerciales	85
Cuadro 18.	Índices de selección utilizados para identificar los genotipos más adecuados.	89
Cuadro 19.	Análisis de variancia del rendimiento en grano	98
Cuadro 20.	Rendimiento en grano para formas de aplicación y niveles de N	99
Cuadro 21.	Producción de materia seca en el estadio de madurez fisiológica	101
Cuadro 22.	Efecto de las formas de aplicación y niveles de N en los componentes del rendimiento en grano	102

Cuadro 23.	Eficiencia agronómica, eficiencia fisiológica y factor parcial de productividad para formas de aplicación y niveles de nitrógeno *	105
Cuadro 24.	Análisis de variancia de rendimiento de molinería	107
Cuadro 25.	Prueba Duncan de rendimiento de molinería total, porcentaje de grano entero y quebrado, porcentaje de proteína e índice de translucencia	108
Cuadro 26.	Prueba Duncan de las variables de calidad de arroz de tiempo de cocción, volumen de agua, dispersión alcalina e índice de expansión	108
Cuadro 27.	Presupuestos parciales para formas de incorporación y niveles de nitrógeno en Kg ha ⁻¹	110
Cuadro 28.	Dominancia para el tratamiento 50% de incorporación de nitrógeno y 50% al voleo	110
Cuadro 29.	Análisis de variancia del rendimiento en grano de arroz cáscara	113
Cuadro 30.	Rendimiento en grano de arroz cáscara de los sistemas de siembra	113
Cuadro 31.	Días a la maduración, altura de planta e índice de cosecha, en los diferentes sistemas de siembra	117
Cuadro 32.	Rendimiento de molinería (1), granos enteros y quebrados, e índice de translucencia(2).	118
Cuadro 33.	Análisis estadístico de manejo de agua y cultivares de arroz	121
Cuadro 34.	Rendimiento en grano en t ha ⁻¹ de cultivares y líneas promisorias de arroz, bajo dos sistemas de manejo de agua	122
Cuadro 35.	Correlación entre diferentes índices a la reducción de la lámina de agua y el rendimiento medio de cultivares de arroz en condiciones de suelo inundado y suelo saturado	125
Cuadro 36.	Análisis de variancia de porcentaje de granos enteros	129
Cuadro 37.	Prueba de Duncan de rendimiento de molinería	130
Cuadro 38.	Limitantes en el sistema de producción del cultivo de arroz en el valle Chancay, Lambayeque, según análisis de los expertos	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Raíces del arroz	11
Figura 2.	Tallo del arroz	11
Figura 3.	Hoja del arroz	12
Figura 4.	Panícula del arroz y sus partes (lado izq.). Espiguila y sus partes (lado der.)	13
Figura 5.	Flor del arroz y sus partes	14
Figura 6	Partes del arroz en cáscara que se usa como semilla	14
Figura 7.	Semilla de arroz, inicia la germinación (lado izq.). Agronómicamente, la germinación se muestra en la foto b (lado der.)	15
Figura 8.	Emergencia en siembra directa (lado der.) y en almácigo (lado izq.)	16
Figura 9.	Plántulas en estadio de pre-macollamiento	16
Figura 10.	Tallo principal y macollos	17
Figura 11.	Elongación del tallo	18
Figura 12.	Diferenciación de la panícula, agronomicamente conocido como “Punto de algodón”	19
Figura 13.	Desarrollo temprano de la panícula (lado izq.) y desarrollo tardío (lado der.)	19
Figura 14.	Campo en floración	20
Figura 15.	Panícula erecta después del panojamiento (a). Antesis de la espiguillas (b)	20
Figura 16.	Panícula con el tercio superior en arco (a). Grano en estado lechoso (b)	22
Figura 17.	Campo en estadio ceroso, se puede observar el cambio de coloración (a). Grano en estado pastoso (b)	22
Figura 18.	Panículas con granos totalmente maduros (a). Grano maduro (b).	23
Figura 19.	Estadios de crecimiento y desarrollo en cada una de las fases del cultivo (Tomado de: Rice Production Handbook, University of Arkansas, MP192)	25
Figura 20.	Tendencia de las migraciones del área rural. Tomada de Sánchez, 2015	34
Figura 21.	Tipos de manejo de agua en el cultivo de arroz y su influencia en la reducción de la percolación. Tomada de IRRI, 2007	45

Figura 22.	Arroz cáscara o paddy (lado izq.), arroz integral (ubicación central), arroz blanco (lado der.)	54
Figura 23.	Subproductos que se obtienen después del molinado del arroz cáscara. Arrocillo (Lado izq.), Ñelen (central), Polvillo (lado der.)	54
Figura 24.	Grano translucido y diferentes formaciones tizosas que se presentan en granos de arroz pilado	56
Figura 25.	Ubicación del campo experimental	60
Figura 26.	Croquis del experimento	66
Figura 27.	Molino Zaccaria	69
Figura 28.	Arroz cáscara, arroz, integral y arroz pilado	70
Figura 29.	Grano translucido y diferentes formaciones tizosas que se presentan en granos de arroz	71
Figura 30.	Medición de grano crudo y cocido	72
Figura 31.	Evaluación de la dispersión alcalina	73
Figura 32.	Ubicación del campo experimental	75
Figura 33.	Disposición de los tratamientos	78
Figura 34.	Disposición de los tratamientos	82
Figura 35.	Croquis del experimento evaluación de los cultivares en suelo inundado y suelo saturado	86
Figura 36.	Canaleta tipo Parshal	88
Figura 37.	Apertura del taller, por el Jefe (e) de la Estación Experimental Vista Florida	90
Figura 38.	Visita al Presidente de Comisión de Regantes de Ferreñafe	90
Figura 39.	Encuentro con expertos en arroz, que fueron entrevistados para identificar los puntos críticos del actual sistema de producción	91
Figura 40.	Visita a campos de medianos agricultores en el valle Jequetepeque, para conocer el manejo de agua y de fertilizantes nitrogenados (lado izq) y a semillerista de arroz, del valle Chancay	91
Figura 41.	Llenado de la encuesta entre los participantes del taller	91
Figura 42.	Inscripción de asistentes al primer taller (lado izq.) Finalización del Taller (lado der.)	92
Figura 43.	Taller de capacitación y sensibilización en el impacto del cultivo de arroz en las emisiones de gases de efecto invernadero	92

Figura 44.	Agricultores de las dos mesas de trabajo, identificando los problemas en el sistema de siembra en inundación	92
Figura 45.	Gira agronómica para observar el efecto de diferentes niveles de nitrógeno y manejo de agua	93
Figura 46.	Respuestas en grano de las formas y niveles de nitrógeno	100
Figura 47	Producción de materia seca en cuatro estadios de desarrollo de las formas de aplicación de nitrógeno	100
Figura 48.	Relación entre materia seca y rendimiento	102
Figura 49.	Índice de cosecha para tres formas de aplicación y cuatro niveles de nitrógeno	104
Figura 50.	Relación entre rendimiento en grano y materia seca a la maduración por sistemas de siembra	114
Figura 51.	Índice de cosecha por sistema de siembra	115
Figura 52.	Macollos por metro cuadrado al máximo macollamiento, por sistema de siembra	116
Figura 53.	Regresión entre materia seca a la maduración y rendimiento en grano en suelo inundado y suelo saturado	123
Figura 54.	Regresión entre índice de cosecha y rendimiento en grano influenciado por el manejo de agua en suelo inundado y en suelo saturado	123
Figura 55.	Dendograma de análisis cluster de genotipos basado en índices de selección y rendimiento en grano en condiciones de suelo inundado y suelo saturado	126
Figura 56.	Gráfico Biplot de componentes principales para rendimientos de manejo de agua y cultivares	127
Figura 57.	Gráficos tri-dimensionales de potencial de rendimiento de genotipos manejados en condiciones de suelo inundado y suelo saturado de los índices de Productividad media geométrica, Productividad media armónica y Productividad media	128
Figura 58.	Limitaciones y recomendaciones relevantes de las entrevistas a expertos arroceros acerca del sistema actual de producción de arroz	133
Figura 59.	Edad de productores de arroz	134
Figura 60.	Sexo del responsable de la parcela	135

Figura 61.	Lugar de residencia del responsable de la parcela y nivel de educación	136
Figura 62.	Crianza de animales	136
Figura 63.	Diversificación de cultivos	137
Figura 64.	Integración social de los agricultores	138
Figura 65.	Calidad de servicio de salud	138
Figura 66.	Capacitación que reciben los agricultores	139
Figura 67.	Aceptabilidad del sistema de producción	140
Figura 68.	Tipología de los productores por tenencia de la tierra	141
Figura 69.	Productividad del cultivo	141
Figura 70.	Ingreso neto del agricultor por hectárea	142
Figura 71.	Sistema de siembra utilizado	143
Figura 72.	Manejo integrado de plagas	144
Figura 73.	Cantidad de fertilizante aplicado por hectárea	144
Figura 74.	Cantidad de agua aplicada por hectárea	145
Figura 75.	Conocimiento y conciencia ecológica	146

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Encuesta para el Productor Agrícola	178
Anexo 2.	Fotografías	181

LISTA DE ACRÓNIMOS

AMMI	Modelos con Efectos de Interacción Multiplicativo
APEAR	Asociación Peruana de Arroceros
APEMA	Asociación Peruana de Molineros de Arroz
AWD	Alternate Wet and Drought
BARC	Blangadesh Agricultural Research Council
BP	Before present
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
CMCC	Convención Marco de Cambio Climático
EUN	Eficiencia de Uso de Nitrógeno
EA	Eficiencia Agronómica
EF	Eficiencia Fisiológica
FAO	Food and Agriculture Organization
FAOSTAT	Estadísticas de la Food and Agriculture Organization
FPP	Factor Parcial de Productividad
GRADE	Grupo de Análisis para el Desarrollo
GRiPS	Global Rice Research Partnership
IC	Índice de Cosecha
IDH	Índice de Desarrollo Humano
IER	Índice de Estabilidad del Rendimiento
IFA	International Fertilization Association
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INIA	Instituto Nacional de Innovación Agraria
IR	Índice de Rendimiento
IRS	Índice de Resistencia a la Sequía
ISE	Índice de Susceptibilidad al Estrés
IT	Índice de Tolerancia
ITE	Índice de Tolerancia al Estrés
IPCC	International Panel Climate Change
IRRI	International Rice Research Institute
IUCN	Unión Internacional de Conservación Mundial
MA	Media Armónica

MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PMG	Productividad Media Geométrica
PM	Productividad Media
RAE	Rendimiento de Arroz Entero
RM	Rendimiento de Molinería
SAS	Statistical Analysis System
SAFE	Sustainability Assessment of Farming and the Environment
SICA	Sistema Intensivo de Cultivar Arroz
UCS	Union Concern Scientifics
UNALM	Universidad Nacional Agraria La Molina
USDA	United States Department Agriculture
WCED	Comisión Mundial para el Medio Ambiente

RESUMEN

Para desarrollar alternativas tecnológicas, adaptables al cambio climático, que puedan contribuir a la sustentabilidad del cultivo de arroz en los valles Chancay- Lambayeque y Jequetepeque-La Libertad, en el Perú, se realizaron cuatro ensayos. En el primero, empleando el cultivar IR-43, se compararon tres formas de aplicación del nitrógeno: (100% incorporado a la preparación del terreno; 50% incorporado a la preparación del terreno y 50% voleado en lámina de agua al inicio de la diferenciación floral ; 50% voleado a los 15 días después del trasplante y 50% al inicio de la diferenciación floral, de tres dosis de fertilización nitrogenada (120, 240 y 320 kg ha⁻¹), con un testigo, para determinar la eficiencia del uso del nitrógeno. En el segundo se compararon dos sistemas de siembra directa en seco (en hileras y al voléo) y tres sistemas de trasplante (en hileras, al azar y el sistema SICA). En el tercero, se evaluó la respuesta de cuatro cultivares comerciales (IR-43, Tinajones, Mallares y La Puntilla) y cuatro líneas promisorias, bajo dos formas de manejo del agua (suelo inundado y suelo saturado). Finalmente, el cuarto, tuvo como objetivo caracterizar el actual sistema de producción de arroz en el área de influencia de la Comisión de Regantes de Ferreñafe.

Los resultados indican que:

La mejor forma de aplicación del nitrógeno fue la incorporación del 50% a la preparación del terreno, mas voleo del 50% restante, al inicio del primordio floral. Los dos sistemas de siembra directa y el sistema SICA fueron superiores a los sistemas de trasplante en hileras y al azar. No hubo diferencias éntre las dos formas de manejo del agua. En promedio, los cultivares, produjeron 9.4 t ha⁻¹. Para los dos sistemas de manejo del agua , los cultivares que produjeron los mayores rendimientos fueron Mallares y La Puntilla (10.41 y 10.26 t ha⁻¹, respectivamente). Los mejores índices de selección para estrés hídrico fueron: productividad media geométrica, productividad media y media aritmética.

El 79.6% de agricultores, utilizan el sistema indirecto en pozas al batido, con inundación y secas, El control de malezas, insectos y enfermedades, en su mayoría es con productos químicos; el 72.8%, usa altas dosis de nitrógeno (320 a 340 Kg ha⁻¹); el 65% usa 17,000 m³ de agua ha⁻¹ y el 25.2% usa 15,000 m³ ha⁻¹.

Palabras claves: Sustentabilidad, eficiencia de uso de nitrógeno, riego, sistemas de siembra.

ABSTRACT

To develop technological alternatives, adaptable to climate change, which can contribute to the sustainability of rice cultivation in the Chancay-Lambayeque and Jequetepeque-La Libertad valleys, in Peru, four trials were carried out. In the first, using the NIR-43 cultivar, three forms of nitrogen application (100% incorporated during soil preparation; 50% incorporated during soil preparation and 50% broadcasted on sheet water at the beginning of the floral differentiation; 50% broadcasted at 15 days after transplant and 50% at the beginning of the floral differentiation) and three doses of nitrogen fertilization (120, 240 and 320 kg ha⁻¹), plus a check, were compared in terms of nitrogen use efficiency. In the second, two direct dry sowing systems (in rows and broadcasting) and three transplant systems (in rows, at random and the SICA system) were compared. In the third, the responses of four commercial cultivars (IR-43, Tinajones, Mallares and La Puntilla) and four promising lines, under two forms of water management (flooded soil and saturated soil) were evaluated. Finally, the fourth had as main objective to characterize the current rice production system in the area of influence of Ferreñafe Irrigation Commission.

The results indicate that:

The best form of nitrogen application of the nitrogen was the incorporation of 50% at soil preparation plus broadcasting the remaining 50%, at the beginning of the floral primordium. The two direct sowing systems and the SICA system were superior to both row and random transplant systems. There were no differences between the two forms of water management. On average, the cultivars produced 9.4 t ha⁻¹. For the two water management systems, the cultivars that produced the highest yields were Mallares and La Puntilla (10.41 and 10.26 t ha⁻¹, respectively). The best selection indices for water stress were: geometric average productivity, average productivity and arithmetic mean.

The 79.6% of farmers use the indirect system in puddled soil, with flooding and drying cycles. Weeds, insects and diseases control is mostly done with chemical products; 72.8% use high nitrogen levels (320 to 340 Kg ha⁻¹; 65% use 17,000 m³ of water ha⁻¹ and 25.2% use 15,000 m³ ha⁻¹.

Key words: Sustainability, nitrogen use efficiency, irrigation, seeding systems

I. INTRODUCCIÓN

El arroz a nivel mundial, es un alimento de gran importancia, que provee el 21 y 15% de energía y proteína, respectivamente, a más de 3 billones de personas (IRRI, 2007); sin embargo, esto no justifica que la producción se obtenga afectando el medio ambiente, por el alto consumo de agua y de fertilizantes nitrogenados que favorecen las emisiones de gases de efecto invernadero (metano y óxido nitroso) como lo indican Adhya et al. (2014).

La producción mundial de arroz cáscara es de 741 millones de toneladas (Mt) en 163 millones de hectáreas (Mha) con un rendimiento promedio de 4.64 t ha⁻¹ (FAO, 2017). El 75% de la producción de arroz se obtiene en el ecosistema irrigado en 93 Mha (GRiSPS, 2013). De acuerdo a las proyecciones, en el 2050 la población mundial sería 9.6 billones, que representa 34% más que la actual de 7.6 billones. En el año 2050 se debería producir 923 Mt (t) de arroz cáscara para satisfacer los requerimientos mundiales (ONU, 2017).

La mayor producción de arroz en el mundo, se obtiene en condiciones de riego de inundación, por lo cual, las técnicas para reducir el consumo de agua están relacionadas a la interrupción de la inundación. Las técnicas que se han desarrollado son: a) una seca a la mitad del periodo de crecimiento, b) alternancia de inundación y secas durante el crecimiento, c) siembra directa en seco en vez de transplante, e) cultivo de suelo saturado y d) los sistemas aeróbicos.

La búsqueda de la sustentabilidad del cultivo de arroz, debe ser un desafío impostergable para la mayoría de investigadores para mejorar la eficiencia de uso en los insumos que más influyen en la alta productividad, como el agua y fertilizantes nitrogenados. El uso racional de los fertilizantes nitrogenados es un requisito para formular sistemas de producción más eficientes, manteniendo el equilibrio ambiental.

La búsqueda de la sustentabilidad, en realidad es una tarea bastante compleja, debido a que involucra consideraciones en el ámbito biológico, ambiental, económico y socio-cultural. El

trabajo para alcanzar la sustentabilidad en la agricultura, particularmente con agricultores arroceros, requiere cuidado y tecnologías de adaptación hacia realidades locales, sociales, económicas, políticas y ecológicas, que aseguren una producción de arroz sustentable en respuesta al cambio climático que afectaría adversamente la disponibilidad de agua y, por lo tanto, a los sistemas de producción de arroz por inundación.

Estudios realizados por Heiken (2006); Shahid y Behrawan (2008) y Alauddin y Quiggin (2008), señalan que la producción de arroz no es ambientalmente sustentable, pero si socialmente responsable. Sin embargo, como este cultivo es esencial para mantener la seguridad alimentaria de muchos países, lograr la sustentabilidad del cultivo debe ser un objetivo vital en todas las áreas arroceras del mundo (BARC, 2011).

La productividad y sustentabilidad de los sistemas de arroz están amenazados por i) ineficiente uso de los elementos del sistema (fertilizantes, agua, mano de obra) ii) incremento de escasez de los recursos, especialmente agua y mano de obra, iii) cambio climático, iv) crisis emergente de la energía y el incremento de precios de los combustibles, v) el incremento de los costos de producción, vi) cambios socio-económicos como urbanización, migración de la mano de obra a otras actividades fuera de la agricultura y preocupaciones acerca de la relación agricultura-contaminación (Ladha et al., 2009).

Los objetivos principales de la presente investigación fueron:

- Desarrollar alternativas tecnológicas, adaptables al cambio climático, para contribuir a la sustentabilidad de la producción de arroz en los valles Chancay y Jequetepeque, Perú.
- Evaluar formas de aplicación y niveles de nitrógeno en el cultivo de arroz en condiciones del valle Jequetepeque, La Libertad.
- Comparar los sistemas de siembra directa y transplante en el cultivo de arroz en condiciones del valle Jequetepeque, La Libertad.
- Identificar los cultivares de arroz más adaptados al sistema de siembra de suelo saturado y suelo inundado en condiciones del valle Chancay, Lambayeque.
- Caracterizar el sistema de producción de arroz en el área de influencia de la Comisión de Regantes de Ferreñafe del valle Chancay, Lambayeque.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 HISTORIA DEL ARROZ

El género *Oryza*, al cual pertenece el arroz cultivado, probablemente se originó hace 130 millones de años y se dispersó como una gramínea silvestre en el super continente Gondwanaland, que se fragmentó y se convirtió en Asia, África, las Américas, Australia y Antártida (Chang, 1976; Kush, 1997). Hoy, todas las especies del género *Oryza*, están distribuidas en todos los continentes, excepto en la Antártida. Los restos arqueológicos más antiguos del uso de arroz, fueron reportados por Zhao (1998). Estas evidencias fueron encontradas en la parte media y baja del río del valle Yangzi, China.

En otros lugares, como Shangshan y Bashidang, se han ubicado una gran cantidad de restos, algunos de los cuales, tienen una antigüedad de 8 000 AC (Fuller et al., 2007). Los granos de arroz provenientes de campos en la parte baja de valle Yangzi, tienen una antigüedad de 4000 AC, y dan una clara evidencia del cultivo de arroz en esa época (Cao et al., 2006).

El arroz se movilizó del norte a la cuenca del río amarillo en China Central, entre los 2000 a 3000 AC (Crawford et al., 2005), al sur del río Yangzi. Trabajos en Taiwan y Vietnam, reportan los descubrimientos de arroz más tempranos, aproximadamente en el mismo periodo, 2000-2500 AC (Higham y Lu, 1998).

Investigaciones arqueológicas en India, realizadas en el lugar neolítico Lahuradewa, ubicado en el valle Ganges, brindan evidencia que el consumo de arroz se dio desde 5000 a 7000 AC (Fuller et al., 2007).

En los lugares arqueológicos de China, en Huxi, los restos de plantas datan entre 9,000 a 8,000 años antes de Cristo, incluyendo los granos más viejos de *Oryza sativa* recuperados en China. Las espiguillas provenientes de Huxi, incluyendo formas silvestres (desgrane), intermedias y domesticadas (sin desgrane), por la frecuencia de desgrane intermedio y sin desgrane de las espiguillas, indican que la selección sin desgrane fue llevada en Huxi.

Espiguillas del arroz provenientes de lugares, como Kuahuqiao (8000-7700 BP) Tianluoshan (7000–6500 BP), Majiabang (6300–6000 BP), and Liangzhu (5300–4300 BP), indican que el arroz tuvo un continuo proceso de selección para reducir el desgrane y manteniendo las características del arroz japónica, lo que confirma un proceso prolongado de domesticación, llevado a cabo en Huxi (Zheng et al., 2016). El proceso de selección en la especie *Oryza sativa* fue un proceso continuo realizado por el hombre antiguo.

Las especies cultivadas de arroz, se originaron de un ancestro común con genoma AA. Los ancestros perennes y anuales de *Oryza sativa* fueron *O. rufipogon* y *O. nivara* (Khush, 1997).

Las sub especies de *O. sativa*, son Indica y Japónica. La domesticación de estas sub especies, es materia aún de controversia. Según Fuller (2011), la domesticación es un cambio genético, que implica una serie de adaptaciones biológicas de las plantas al ambiente.

En la domesticación de la sub especie Japónica, se ha originado una pérdida severa de variación genética. La sub especie índica es genéticamente más diversa (Second, 1982; Lu et al., 2002; Garris et al., 2005), citados por Gao e Inman (2008). En los estudios con microsatelites, los resultados sugieren que la domesticación completamente independiente de las sub especies Índica y Japónica no han sido expresadas y que hubo un cambio parcial en las poblaciones ancestrales o un flujo de genes entre ellas (Gao e Inman, 2008).

Estudios genéticos, utilizando diferentes metodologías, han identificado estructuras poblacionales profundas en los arroces domesticados. En Índica y en Japónica, se han identificado varios grupos de sub poblaciones (Sweeney y Mc Couch, 2007).

Caracteres, como color del pericarpio, dormancia, desgrane, estructura de la panícula, número de macollos, número de granos por panícula y tamaño de grano, diferencian el arroz domesticado del silvestre.

La sub especie más cultivada es la Índica, que se siembra en las áreas tropicales y sub tropicales. Las áreas más sembradas son las de arroz con pericarpio blanco.

El arroz blanco está controlado por el gen *W*, que es un simple mutante de *Rc*, que confiere el pericarpio blanco. *Oryza sativa*, tiene 97% a 98% de autofecundación, tiene morfología

floral cerrada, granos de polen de vida corta que no se desplazan más de 10 m. Las actividades humanas dispersaron este alelo (Sweeney et al., 2007).

Existen dos tipos de arroz domesticado, *Oryza sativa*, o arroz asiático y *Oryza glaberrima*, arroz africano, ambos con una historia de domesticación común. El género *Oryza* tiene 21 especies silvestres relacionadas a los arroces domesticados (Vaughan et al., 2003). El género está dividido en cuatro complejos de especies: *Oryza sativa*, *Oryza officinalis*, *Oryza ridelyi* y *Oryza granulata*. Se considera que existen cinco o seis especies silvestres: *O. rufipogon*, *O. nivara* (existen reportes que es un ecotipo de *O. rufipogon*), *O. barthii*, *O. longistaminata*, *O. meridionalis* y *O. glumaepatula*, todas diploides. Todos los miembros del género *Oryza* tienen un número cromosómico de 12. El cruzamiento entre especies de un mismo complejo es posible. Sin embargo, es difícil recuperar embriones específicos en cruzamientos provenientes de diferentes complejos (Vaughan et al., 2003).

Existen muchas diferencias obvias entre *O. sativa* y sus especies silvestres (Li et al., 2006). Los típicos arroces silvestres muestran aristas largas y susceptibilidad al desgrane para la dispersión de la semilla, en comparación a los tipos domesticados que tienen aristas cortas y reducido desgrane, lo que favorece un mayor número de granos a la cosecha.

Es posible que el batido de los suelos y el trasplante fueron refinados en la China. Ambas operaciones llegaron a ser partes integrales de la agricultura del arroz y son ampliamente practicados hasta el día de hoy. Con el desarrollo del batido y del trasplante, el arroz llegó a ser realmente domesticado.

El movimiento de arroz, desde el oeste y sur de La India hacia Sri Lanka, fue realizado muy temprano (1000 AC). El arroz pudo haber sido introducido a Grecia y a las áreas vecinas del Mediterráneo por los miembros de la expedición de Alejandro el Grande, cuando retornaban de la India, alrededor de 344-324 AC. A partir del centro de Grecia y Sicilia, el arroz se propagó gradualmente a través del sur de Europa y a unas pocas localidades del norte de África.

El cultivo del arroz, fue introducido tempranamente al nuevo mundo, por los exploradores europeos. Los portugueses lo llevaron al Brasil y los españoles introdujeron su cultivo a algunas localidades en Centro y Sur América.

El primer registro del arroz en Estados Unidos de Norte América, data desde 1685, cuando el cultivo fue producido en las tierras bajas de la costa de Carolina del Sur. Se presume que los esclavos del oeste de África, fueron los que lo llevaron a Carolina del Sur, en la mitad del siglo XVII, la compleja tecnología de producir arroz. Su trabajo luego aseguró la floreciente industria del arroz en el siglo XX, en el valle Sacramento, California. La introducción a California, coincide con el periodo de primer cultivo exitoso en Nueva Gales del Sur en Australia (GRiSP, 2013).

2.2 HISTORIA DEL ARROZ EN EL PERÚ

El arroz en el Perú, fue introducido a fines del siglo XVI, por los españoles y se cultivó en los valles arroceros de la costa sur (Majes, Camaná y Ocoña) en siembra directa (Castillo, 1969). Los cultivares introducidos fueron los que se sembraron en la Península Ibérica, desconociéndose los tipos varietales, que serían similares a los que se sembraban en aquellas épocas, de maduración tardía (180-200 días), de estatura alta (150 cm), susceptibles a la tumbada, al desgrane y con granos pubescentes.

En el siglo XVI, se mencionan como cultivares importantes los cultivares chinos, que tenían mayor rendimiento pero mala calidad de grano (Montero, 1938). A mediados del siglo XX, se introdujeron cultivares precoces (120-125 días) de Estados Unidos, de buena calidad de grano, como Blue Rose y Vialone.

Hasta 1927, en que se creó la Estación Agronómica de Lambayeque, la introducción de cultivares era realizada por los agricultores. Desde ese año, las importaciones se oficializaron y el estado peruano introdujo material genético del arroz, especialmente de India y Malasia (Castillo, 1969).

En la evolución del mejoramiento del material genético, se pasó de los cultivares semi tardíos a tardíos con 200 o más días de maduración, que tuvieron mayor rendimiento y se pasó de 2.5 t a 5 t ha⁻¹, destacando el cultivar Minagra, que se cultivo por más de quince años (1945 a 1960), por su tolerancia a sales y alta productividad.

El primer cultivar desarrollado en el Perú, fue Minabir 2, derivado del cruzamiento de Minagra x Birmania y se sembró desde 1951, con mayor productividad (5.5 t ha⁻¹) y mejor tipo y calidad de grano que Minagra, con una maduración de 220 a 240 días.

Para el mejoramiento de la calidad molinera, el Banco de Fomento Agropecuario, importó en 1965, cultivares del Surinam, como Apura, Magali y otros que eran de grano largo, traslucientes, con rendimientos de 5 a 5.5 t ha⁻¹. Se dejaron de cultivar, porque presentaron enmarronamiento foliar, similar a los síntomas de Xanthomonas. Estudios realizados para identificar al agente causal, descartaron la bacteriosis, pero la alarma que causó, desanimó a los agricultores a continuar sembrándolos.

En la campaña agrícola 1966-1967, se introdujeron del International Rice Research Institute (IRRI) de las Filipinas, las primeras variedades semi-enanas, destacando IR-8 e IR-5, promocionándose IR-8, por el menor periodo de maduración (150-160 días) y mayor rendimiento (10 t ha⁻¹). El primer cultivar enano desarrollado en el Perú, fue Inti, con similar potencial de rendimiento, pero de mejor calidad molinera con mayor rendimiento de grano entero y menor porcentaje de granos opacos. A la fecha, se cultivan variedades enanas desarrolladas por el Programa de Investigaciones en Arroz del Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, como Tinajones, Mallares, La Puntilla, con potenciales de rendimiento similares a IR-43 (10-12 t ha⁻¹) desarrollado por el IRRI.

El sistema de siembra, desde la introducción del cultivo de arroz hasta 1933, fue la siembra directa en seco o en húmedo, inicialmente al voleo y después a máquina. Los implementos de siembra eran imperfectos, que no permitían nivelaciones adecuadas y las áreas de siembra eran pequeñas. Con la introducción del trasplante, en la campaña 1933-1934 (La vida agrícola, 1936), estos problemas fueron solucionados parcialmente. Los rendimientos mejoraron, y las malezas fueron mejor controladas, por el batido de los suelos y la inundación temprana del cultivo.

La introducción del herbicida pos emergente propanil para el control de malezas en 1966, (contribuyó a mejorar la rentabilidad, porque se incrementaron los rendimientos y los deshierbos manuales se redujeron considerablemente.

La fertilización de los cultivares tradicionales de alta estatura, sobre 1.60 m, se realizaba con bajos niveles de 60 a 100 Kg N ha⁻¹. Se utilizaba el guano de islas y sulfato de amonio. Con la introducción de los cultivares semi-enanos, los niveles de nitrógeno, se incrementaron hasta 320 Kg N ha⁻¹ y se incrementó el uso de urea y de sulfato de amonio.

En selva alta, el cultivo de arroz, se realizó inicialmente en siembra directa y luego en el sistema de trasplante, que permitió sembrar en suelos poco nivelados con el uso de plántulas de mayor tamaño (hasta 0.40 m). Por las condiciones de altas temperaturas los cultivares tardíos, como Radín Chino con 220 a 240 días de maduración, tuvieron alta aceptación por los agricultores por sus rendimientos (5 t ha^{-1}) y ausencia de envanamiento por efecto de bajas temperaturas, que ocurría en los valles de la costa.

La producción de arroz y sus rendimientos han estado en continuo crecimiento. En los últimos 15 años (2001-2015), la producción creció 3.1%, debido al crecimiento de área (2.0%). Los rendimientos, crecieron en este periodo 1.1% (MINAGRI, 2017).

El potencial climático para producción de arroz en el Perú, es alto. Se estima en 18 t ha^{-1} para las condiciones de costa y 16 t ha^{-1} para selva alta, con un índice de cosecha de 50%. Actualmente los rendimientos promedios para los valles de la costa están en 8.9 t ha^{-1} y 6.8 t ha^{-1} para selva alta, existiendo un amplio margen para alcanzar, con aplicación de mejores tecnologías de producción y mejores cultivares con resistencia a estreses bióticos.

La producción de la campaña agrícola 2015, fue de 3.13 Mt en 396,770 ha. El valor bruto de la producción alcanzó S/ 2 555,400, que represento el 8.1% del valor bruto de la producción agropecuaria y el 13.4% del valor bruto de la producción agrícola. Los rendimientos más altos se obtienen en los valles de la costa, luego están las áreas de riego de selva alta y los rendimientos más bajos se obtienen en las áreas de secano de selva baja. El mayor rendimiento se obtiene en Arequipa con un promedio de 13 t ha^{-1} , luego está Ancash (11.8 t ha^{-1}), La Libertad (10.6 t ha^{-1}), y Piura (8.7 t ha^{-1}).

Las regiones que más contribuyen a la producción nacional son San Martín con 21.6%, Piura con 16.1% y Lambayeque con 14.1%. En América Latina, en el año 2014, el Perú, fue el segundo país productor de arroz con 3 Mt, después de Brasil y su rendimiento alcanzó 7.7 t ha^{-1} , superior al promedio regional que fue de 5 t ha^{-1} (Rice Today, 2015).

Las posibilidades de aumento de la productividad y producción son muy altas, por la disponibilidad de tierras y agua en selva, que permitiría aportar arroz al mercado mundial, contribuyendo a aliviar las demandas futuras de arroz a nivel internacional. La adaptación de los sistemas de producción al cambio climático está relacionado al uso del agua de riego.

El manejo actual de inundación continua, el sistema de trasplante, el uso de cultivares semi tardíos (140-160 días), contribuyen a incrementar los volúmenes de agua, bajando la productividad.

Los aspectos negativos del actual sistema de manejo del cultivo de arroz en el Perú son los siguientes: a) en la actualidad se aplican volúmenes de 12,000 a 20,000 m³ ha⁻¹, que causan la elevación de la napa freática en la parte baja de los valles costeros, y contribuyen a la salinización de los suelos, que es acentuada por la inoperancia de los sistemas de drenaje; b) en el sistema de trasplante, el batido de los suelos, rompe la estructura de los suelos impactando negativamente en su conservación; c) la emisión de gases invernadero, como metano, se incrementa por el sistema de riego de inundación y los altos niveles de nitrógeno que aplican los agricultores (220 a 360 Kg ha⁻¹); d) la elevación de la temperatura, está contribuyendo al acortamiento de los ciclos de vida de los insectos dañinos, y al mayor número de generaciones por año, incrementado la incidencia de enfermedades como Hoja blanca y fuertes daños de *Hydrellia wirthii*, en los estado juveniles de la planta; e) la presencia de grandes precipitaciones ha originado cambios en las épocas de siembra, presencia de nuevos patógenos como *Burkholderia glumae* y reducción de los rendimientos en los valles de la costa norte (Tumbes y Piura) por el impacto en los procesos fisiológicos relacionados al rendimiento.

2.3 TAXONOMÍA DEL ARROZ

De acuerdo a lo reportado por gramene.org, la clasificación del arroz se menciona en el

Cuadro 1:

Cuadro 1. Clasificación del arroz

Reino	Plantae	Planta
Sub reino	Trachebionta	Planta vascular
Superdivisión	Espermatofita	Planta con semilla
División	Magnoliophyta	Planta con flores
Clase	Liliopsida	Monocotiledonea
Sub clase	Commelinidae	
Orden	Cyperales	
Familia	Poaceae	Familia Graminea
Género	Oryza L.	Arroz

NRCS, 2018

La base de datos de plantas y al sistema integrado de información taxonómica indica que hay 7 especies de arroz aceptadas.

Especie: *Oryza barthii* - Barth's rice

Especie: *Oryza glaberrima* - African rice

Especie: *Oryza latifoliano* - broadleaf rice

Especie: *Oryza longistaminata* - longstamen rice

Especie: *Oryza punctata* - red rice

Especie: *Oryza rufipogon* - brownbeard rice

Especie: *Oryza sativa* – rice

2.4 MORFOLOGÍA DE LA PLANTA DE ARROZ

El arroz cultivado, es considerado como una gramínea anual semi-acuática; sin embargo, en los trópicos puede continuar produciendo nuevos tallos a partir de los nudos, después de la cosecha. A la maduración, la planta de arroz tiene un tallo principal y varios tallos que se producen de los nudos basales del tallo principal y de los macollos que han ido apareciendo, después que cada uno de ellos alcanza en promedio de cuatro a cinco hojas, momento en que se activan las yemas ubicadas en los nudos basales de los tallos. Estos tallos, sí son productivos a la maduración, producen panículas. La altura de la planta, varía según el cultivar y el ambiente. Las estadios de crecimiento de la planta de arroz se han clasificado en tres fases, vegetativa, reproductiva y de maduración. Para una descripción ordenada de la morfología, esta se ha dividido en órganos vegetativos y órganos reproductivos.

2.4.1 Órganos vegetativos, están constituidos por la raíz, tallo, hojas.

- **La Raíz** (Yoshida, 1981), el sistema radicular tiene dos tipos principales de raíces, las seminales que tienen un corto tiempo de vida después de la germinación y son reemplazadas por las raíces adventicias o secundarias. El desarrollo de las raíces secundarias se da a partir de los nudos de la corona, ubicados en los nudos que se encuentran debajo de la superficie del suelo (**Figura 1**). En condiciones de secano las raíces alcanzan mayores profundidades (1m o más) en comparación con el agroecosistema irrigado (0.30-0.40 m).



Figura 1. Raíces del arroz

- **El Tallo**, en el estadio juvenil, la plántula es herbacea. Cuando se acerca a la fase reproductiva, el tallo se lignifica y se forma por la alternancia de nudos y entrenudos. En cada nudo de un tallo, potencialmente se puede formar una hoja, macollo y raíces **(Figura 2)**.

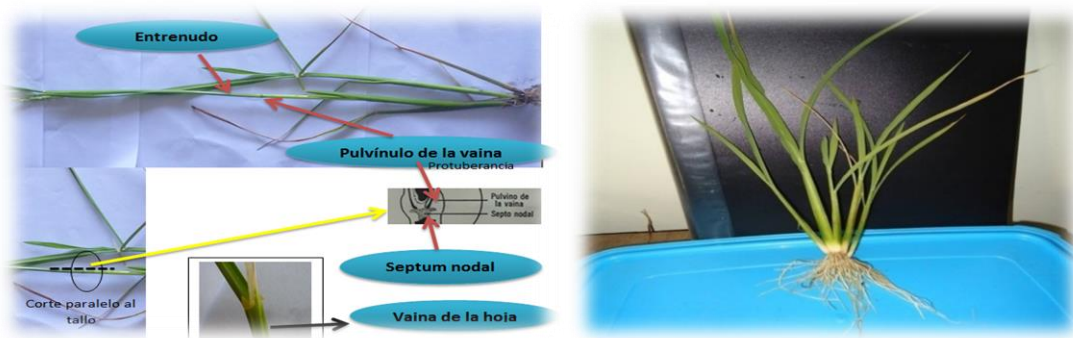


Figura 2. Tallo del arroz

El tallo también está formado por el septum nodal, ubicado en la parte interna del nudo que separa dos entrenudos adyacentes; el pulvínulo de la vaina, a manera de una protuberancia que aparece en el tallo encima del punto del unión de la vaina con el tallo y está cubierto por la vaina de la hoja. La longitud de los entrenudos varía, los basales generalmente no desarrollan y están apilados unos sobre otros. Los entrenudos de la base suelen ser más cortos y gruesos, lo cual favorece la resistencia a la tumbada (Chandraratna, 1964).

Las hojas se desarrollan en forma alterna. Cuando la planta tiene entre 4 a 5 hojas se activa la yema ubicada en la primer hoja verdadera y se forma un macollo; este mismo

modelo lo siguen los macollos. Existen macollos primarios, que nacen del tallo principal; macollos secundarios que se desarrollan a partir del macollo primario y así sucesivamente. El conjunto de macollos y tallo principal forman la planta. Existen cultivares de arroz altamente macolladores, adaptados al sistema indirecto o trasplante y poco macolladores que se utilizan para siembra directa.

- **Hojas**, las hojas se desarrollan en forma alterna a lo largo del tallo a partir de los nudos. La primera hoja se denomina prófalo y es una hoja incompleta, por no tener lámina y sólo vaina, es una bráctea aquillada. El conteo de la hojas, hasta la aparición de la hoja bandera se realiza de abajo hacia arriba. Una vez que aparece la hoja bandera, el conteo se realiza de arriba hacia abajo y se indica como primera hoja a la hoja bandera (Yoshida, 1981).

Una hoja tiene las siguientes partes, vaina, lámina, cuello, nervadura central, aurículas y lígula (**Figura 3**).

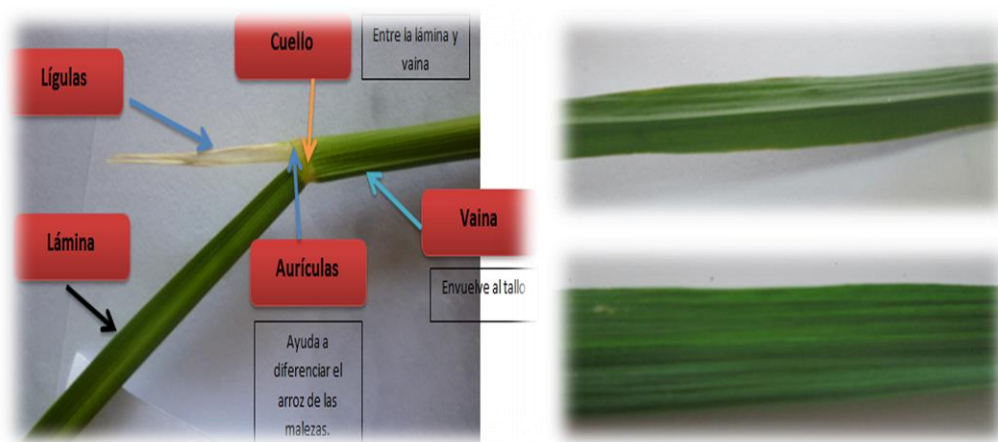


Figura 3. Hoja del arroz

2.4.2 Órganos reproductivos, están constituidos por las flores que se encuentran en la inflorescencia denominada panícula. La panícula está ubicada sobre el nudo ciliar que se encuentra debajo del último entrenudo denominado pedúnculo.

- **La panícula**, formada por el eje principal o axis. En este eje descansan las ramificaciones primarias que pueden aparecer en forma individual o por pares y estas

dan origen a las ramificaciones secundarias (GRiPS, 2013). También se presentan protuberancias en la base del raquis denominadas pulvínulos paniculares (**Figura 4**).

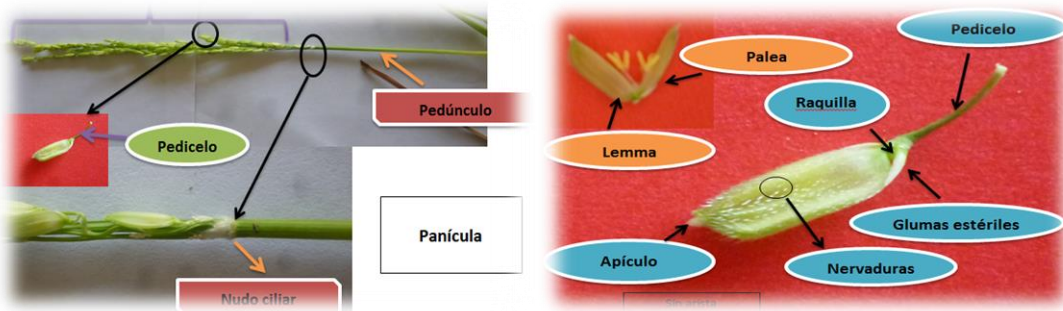


Figura 4. Panícula del arroz y sus partes (lado izq.). Espiguilla y sus partes (lado der.)

En el nudo ciliar no se desarrollan hojas, pero sí podrían originarse ramificaciones de la panícula. Este nudo se utiliza como un punto para medir la longitud de la panícula. Las panículas pueden clasificarse en abiertas, compactas e intermedias, según el ángulo que formen las ramificaciones al salir del eje de la panícula. Tanto el peso como el número de espiguillas por panícula varían según el cultivar.

La panícula se mantiene erecta durante la floración, pero luego se dobla debido al peso de los granos maduros. La espiguilla es la unidad básica de la inflorescencia y está unida a las ramificaciones por el pedicelo. Teóricamente la espiguilla del género *Oryza* se compone de tres flores, pero solo una se desarrolla.

- **La espiguilla**, consta de dos lemmas estériles, la raquilla y la flor o flósculo. La flor está formada por: La lemma, la palea, lodículos, estambres, filamentos, anteras, pístilo, ovario, estilo y estigma (**Figura 5**).
- **El fruto**, es un cariósipide, está formado por el embrión, el endospermo y el complejo pericarpio-testa que lo envuelve. La superficie está formada por capas delgadas (i. pericarpio, ii. tegumentos y iii. capa de aleurona, de tejido diferenciado que envuelven al embrión y al endospermo. La palea, la lemma y la raquilla son las cáscaras del grano de arroz. El peso de un grano de arroz con cero de humedad varía de 10 a 45 miligramos. La longitud, ancho y espesor varían entre cultivares. El peso promedio de las cáscaras representa aproximadamente el 20% del peso total del grano (**Figura 6**).

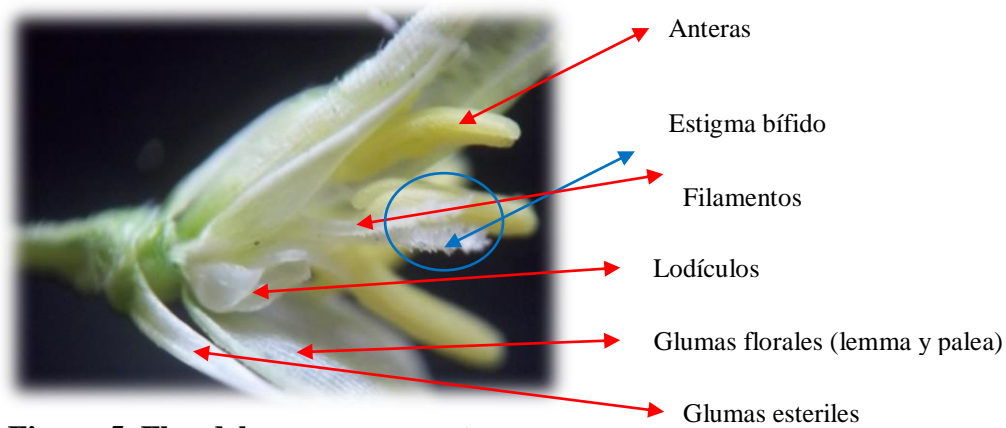


Figura 5. Flor del arroz y sus partes

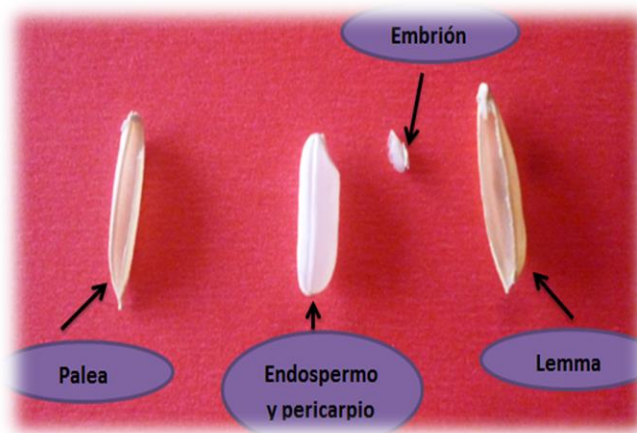


Figura 6. Partes del arroz en cáscara que se usa como semilla

2.5 CRECIMIENTO Y DESARROLLO

El ciclo de vida de una planta de arroz es de tres a seis meses, dependiendo del cultivar y del ambiente en el cual se desarrolla. En este tiempo la planta completa tres distintas fases, vegetativa, reproductiva y de maduración las cuales se podrán observar más adelante en la **Figura 19**.

2.5.1 Fase vegetativa

Se caracteriza por una emergencia gradual de hojas, un activo macollamiento e incremento de la altura de la planta. La duración de esta fase determina a su vez la duración de crecimiento de los cultivares. Algunos son muy precoces y tienen una corta fase vegetativa, mientras otros tiene ambas fases (vegetativa y reproductiva) de corta duración.

Estadios que se presentan en la fase vegetativa (Yoshida, 1981; GRiPS, 2013; Rice production handbook, 2013).

a. Estadio de germinación

Se inicia cuando la semilla absorbe adecuada cantidad de agua y es expuesta a una temperatura en un rango de 10-40 °C. El proceso de germinación se sub divide en imbibición, activación y pos germinación. Al final del estado de activación la punta del coleóptilo rompe la lemma y a este momento se le denomina germinación (**Figura 7**). En condiciones de oscuridad emerge la coleorriza, envoltura que cubre la la radícula o raíces primarias embrionicas, elonga ligeramente y emerge a través de la lemma, permitiendo que la radícula emerja a través de la coleorriza y la planta se ancle en el suelo.

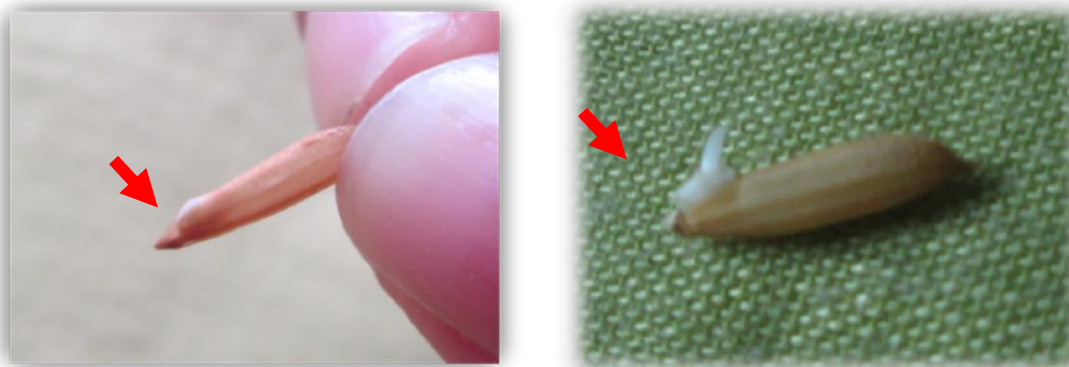


Figura 7. Semilla de arroz, inicia la germinación (lado izq.). Agronómicamente, la germinación se muestra en la foto b (lado der.)

El coleóptilo o primera hoja modificada, que esta sobre el mesocotilo se alarga. En condiciones aeróbicas la radícula emerge antes que el coleóptilo. Cuando la semilla se encuentra sumergida en agua o con reducido oxígeno, el coleóptilo emerge antes que la radícula. La germinación ocurre a los dos días cuando la temperatura está entre 33 y 46 °C. Por debajo de esta temperatura, la germinación requiere más tiempo. El óptimo de temperatura es de 41°C. El crecimiento, es un sistema gradual, en el que se presentan los sub estadios S0 (semilla seca embebida), S1(emergencia de coleóptilo), S2 (emergencia de radícula) y S3 (emergencia del prófalo a través del coleóptilo).

b. Estadio de emergencia

Es cuando el tallo emerge la superficie del suelo o de lámina de agua (**Figura 8**). En siembra directa, ocurre cuando el primer entrenudo (mesocotilo) empuja la punta del coleóptilo (epiblasto o primera vaina de la hoja) a través de la superficie del suelo. La longitud del mesocotilo, varía con el cultivar y la profundidad de siembra. El mesocotilo sólo se desarrolla en la oscuridad y no cuando se distribuye la semilla en suelo con lámina de agua.



Figura 8. Emergencia en siembra directa (lado der.) y en almácigo (lado izq.)

c. Estadio de premacollamiento

Comienza después de la emergencia y dura hasta cuando la planta tiene 5 hojas, justo antes de que aparezca el primer macollo. El periodo desde que aparece la primera a la cuarta hoja requiere aproximadamente de 15 a 25 días. Durante este tiempo, las raíces seminales promueven el desarrollo y aparecen las primeras hojas (**Figura 9**).



Figura 9. Plántulas en estadio de pre-macollamiento

d. Estadio de macollamiento

Generalmente cuando se observa la quinta hoja, se puede ver el primer macollo, que aparece a partir de la yema axilar de la primera hoja verdadera, del tallo, que es completa por poseer lámina y vaina. El macollamiento continúa cuando la sexta hoja emerge y se observa también la emergencia del segundo macollo, que proviene de la yema de la tercera hoja. El macollamiento es continuo (**Figura 10**) de una manera sincronica, con un patrón de crecimiento $(n-3)$, debido a que cuando aparece la quinta hoja se activa la yema ubicada en el segundo nudo.



Figura 10. Tallo principal y macollos

e. Estadio de máximo macollamiento

En el que el macollamiento incrementa, siguiendo una curva sigmoideal hasta que se alcanza el máximo macollamiento. En este momento el tallo principal es difícil de diferenciar de los macollos.

2.5.2. Fase reproductiva

Se caracteriza por la elongación del tallo y una disminución del número de macollos, el embuchamiento, emergencia de la hoja bandera y floración. Tiene una duración de aproximadamente unos 30 días en la mayoría de los cultivares. Esta relacionada con el alargamiento de los entrenudos y varía ligeramente con el cultivar y las condiciones climáticas (Yoshida, 1981; GRiPS, 2013; Rice production handbook, 2013). Durante la fase reproductiva, ocurren los siguientes estadios:

a. Inicio de la panícula

Es el momento en que comienza la formación de la panícula en el nudo superior del tallo. La panícula no es visible a simple vista. Se relaciona cuando se forma un anillo verde (green ring), como una delgada banda verde visible justo debajo de nudo superior y representa el verdadero inicio de la elongación de los entrenudos y esto es evidente solamente un par de días. Para el caso de cultivares tardíos (superior a 140 días de maduración), el inicio del primordio floral, puede ocurrir durante la última parte del estadio de macollamiento. Para los cultivares precoces, la elongación del tallo y el inicio del primordio floral pueden ocurrir simultáneamente (**Figura 11**).



Figura 11. Elongación del tallo

b. Elongación de los entrenudos

Comienza cerca del inicio de crecimiento de la panícula y continua hasta que la planta alcanza su máxima altura. Los cinco entrenudos superiores pueden desarrollar. Los entrenudos del tallo pueden ser distinguidos de los entrenudos de la raíz por el color verde de la pared del tallo.

c. Diferenciación de la panícula

Esta relacionado estrechamente con el alargamiento de entrenudos. En este estadio el entrenudo superior que porta a la panícula tienen un crecimiento equivalente a 0,056 a 1,13 cm, por un periodo de 20 a 30 días. La panícula tiene un tamaño de 1 a 2 mm en longitud y

las ramificaciones de la panícula son visibles (**Figura 12**). En este estadio el ambiente puede tener un mayor efecto en el desarrollo de la planta.



Figura 12. Diferenciación de la panícula, agrónomicamente conocido como “Punto de algodón”

d. Estado de bota, huso, embuchamiento

Es el periodo caracterizado por el hinchamiento de la vaina de la hoja bandera, causado por el incremento del tamaño de la panícula. El estadio de bota tardío, ocurre cuando la hoja bandera se ha desplegado completamente; aquí ocurre la meiosis de los granos de polen. Algún estrés de tipo ambiental puede influir reduciendo el rendimiento. Este estadio ocurre seis días antes que se presente la floración (**Figura 13**).



Figura 13. Desarrollo temprano de la panícula (lado izq.) y desarrollo tardío (lado der.)

e. Floración

Se inicia cuando la panícula emerge de la vaina de la hoja bandera. El último entrenudo (pedúnculo) desarrolla rápidamente y empuja a la panícula fuera (**Figura 14**). La floración

La antesis comienza en el tercio superior de la panícula, luego sigue el tercio medio y finalmente el tercio inferior. La floración ocurre cerca de los 25 días después del inicio del primordio floral (“punto de algodón”), dependiendo de la variedad. Durante este estadio, la planta es más sensible a estreses como sequía y temperaturas extremas.

Los granos de polen son viables aproximadamente cinco minutos después de la liberación de la antera, mientras que el estigma puede ser fertilizado de tres a siete días. El arroz se autopoliniza, es una planta autógama; generalmente se poliniza antes que la palea y lemma se abran para liberar el polen al ambiente. La fertilización del ovario por el grano de polen se realiza entre cinco a seis horas después de la polinización, luego de lo cual en el ovario comienza a desarrollarse el grano de arroz.

La antesis comienza en el tercio superior de la panícula y continúa hacia la parte media y baja. Se inicia en las ramificaciones superiores como fueron emergiendo cuando salieron del estadio de bota y continúa hacia la parte basal de la panícula. La duración de la antesis en toda la panícula es, generalmente, de cuatro a siete días. Aquí se define el número de granos llenos por panícula.

2.5.3 Fase de maduración

El llenado de grano, sigue a la fertilización del ovario y se caracteriza por la acumulación del almidón en el grano. Durante este periodo, el grano incrementa en tamaño y peso, debido a que el almidón y azúcares son traslocados a partir de los tallos y vainas de las hojas donde fueron acumulados. Los cambios de color del grano varían del verde al dorado.

A la maduración, la planta comienza a senescer. La intensidad de la luz es muy importante durante este periodo, considerando que el 60% de los carbohidratos utilizados en el llenado de los granos son fotosintetizados en esta etapa. Este periodo también es afectado por la temperatura. En Perú, la mayoría de los granos maduran en 30-35 días; sin embargo, existen variaciones supeditadas a las condiciones climáticas de cada localidad.

El componente final de peso de grano se determina en esta periodo. A pesar que el carácter peso de grano es una variable, relativamente estable para cada cultivar, también es influenciado por el ambiente. Altas temperaturas pueden reducir el periodo de llenado de grano y afectar su peso. Temperaturas bajas tienden a alargar este periodo de llenado del

grano y a la fase de maduración (Yoshida, 1981; GRiPS, 2013; Rice production handbook, 2013). Los estadios que se presentan en esta fase de maduración son los siguientes:

a. Estadio 7 grano lechoso

Se caracteriza por la acumulación de almidón en los granos, que comienzan a llenarse con un líquido blanquecino parecido a la leche (**Figura 16b**). El tercio superior de la panícula se dobla (**Figura 16a**). La panícula y las tres hojas superiores mantienen el color verde.

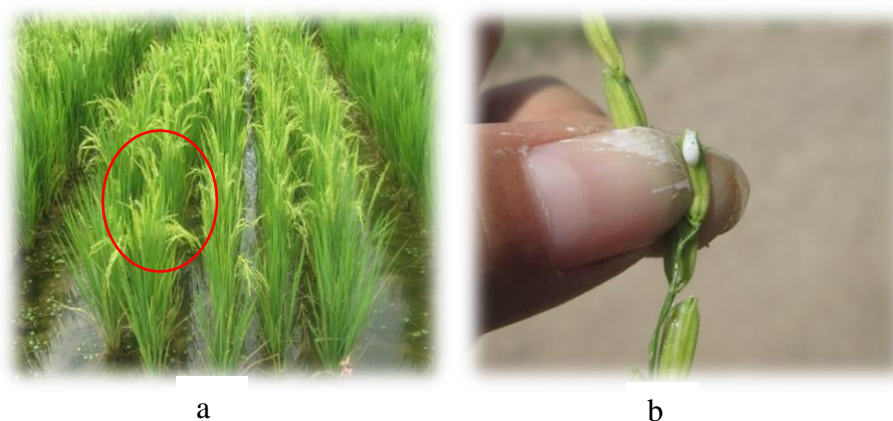


Figura 16. Panícula con el tercio superior en arco (a). Grano en estado lechoso (b)

b. Estadio 8 grano pastoso

La porción lechosa del grano se torna pastosa (**Figura 17 b**). Los granos se tornan amarillos y el campo en general luce amarillo. Las dos hojas superiores comienzan a secarse (**Figura 17 a**). El contenido de humedad en el grano está aún sobre el 22%.



Figura 17. Campo en estadio ceroso, se puede observar el cambio de coloración (a). Grano en estado pastoso (b)

c. Estadio 9 grano maduro

El grano está completamente desarrollado, maduro, vitreo y amarillo. En algunos cultivares, una gran porción de las hojas superiores, están secas y las panículas se inclinan (**Figura 18a**). En este estado el grano tiene aproximadamente 20 a 22% de humedad. En la **Figura 18b**, puede observarse el grano maduro descascarado.



Figura 31. Panículas con granos totalmente maduros (a). Grano maduro (b)

En la **Figura 19**, se indican las fases de crecimiento y desarrollo en el cultivo de arroz.

2.6 SUSTENTABILIDAD Y DESARROLLO

2.6.1 Crecimiento y desarrollo económico

Crecimiento económico es la medida de los bienes y servicios producidos por una nación y el desarrollo económico es la mejora en el nivel de vida de una población (Pettinger, 2011). El crecimiento implica incremento de tamaño, por acumulación de materiales por predominio del cambio cuantitativo, mientras que desarrollo es la expansión de potencialidades, donde predomina el cambio cualitativo.

El concepto de desarrollo sostenible, aparece por primera vez, en el documento oficial de la Unidad de Conservación Mundial (IUCN *et al.*, 1980) y consistía en “*el mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales y sistemas de apoyo a la vida, la preservación de la diversidad genética y la utilización sostenible de las especies y los ecosistemas*”. Este concepto, se centraba en los conceptos de capital natural crítico y diversidad biológica y considerando que la sustentabilidad, se basaba solamente en la dimensión ambiental y obviando la dimensión socio-económica.

El proceso de concientización, se presenta en la década de 1960, en relación a los límites del crecimiento económico, ya que se presentaba una correlación inversa entre el progreso económico y la destrucción de la naturaleza, afectando la provisión de bienes y servicios, ya que la naturaleza no aseguraba el futuro exitoso de estas actividades productivas y de la calidad de vida.

Meadows et al. (1972) señalan en su libro (Los Límites del Crecimiento) que la explosión de crecimiento de la población puede sobrepasar la capacidad de producción de alimentos. La declaración de Cocoyoc (1974) refuerza esta idea, acerca de la necesidad de respetar los límites internos para satisfacer las necesidades humanas, e incide en la importancia de respetar los límites externos de la carga de la tierra. No sólo debía explotarse el capital natural, sino considerar que este era un recurso limitado y no ilimitado, como muchos concebían o pretendían creer, para el logro de su desarrollo económico.

También Meadows et al. (2004) en el libro “Más Allá de los Límites de Crecimiento”, concluye que la humanidad ya había superado la capacidad de carga del planeta para mantener a la población. Finalmente en el 2004, Meadows et al. (2004), insiste en señalar que no puede existir un crecimiento poblacional, económico e industrial ilimitado en un planeta de recursos limitados.

La década de los 70 representó el reconocimiento de la interdependencia existente entre economía y medio ambiente, como la referencia principal para el desarrollo sustentable y el establecimiento de políticas (Meadows et al., 1972; Cole et al., 1973).

Después, el concepto fue ampliado en el informe “*Nuestro futuro común*”, elaborado por la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y Desarrollo (WCED, 1987) o Comisión Brundtland, señalando que el desarrollo sustentable: “Es aquel que satisface las necesidades de las presentes generaciones sin comprometer la posibilidad de las futuras para satisfacer sus propias necesidades”. Este reporte, causó un impacto mundial y, fue el punto de inflexión para que los países recién considerarán que estaban destruyendo el ambiente tras el logro del desarrollo que buscaban. Sin embargo, este desarrollo no impactaba a los sectores de la población más pobres, sino que continuaban en la misma condición de pobreza y vulnerabilidad.

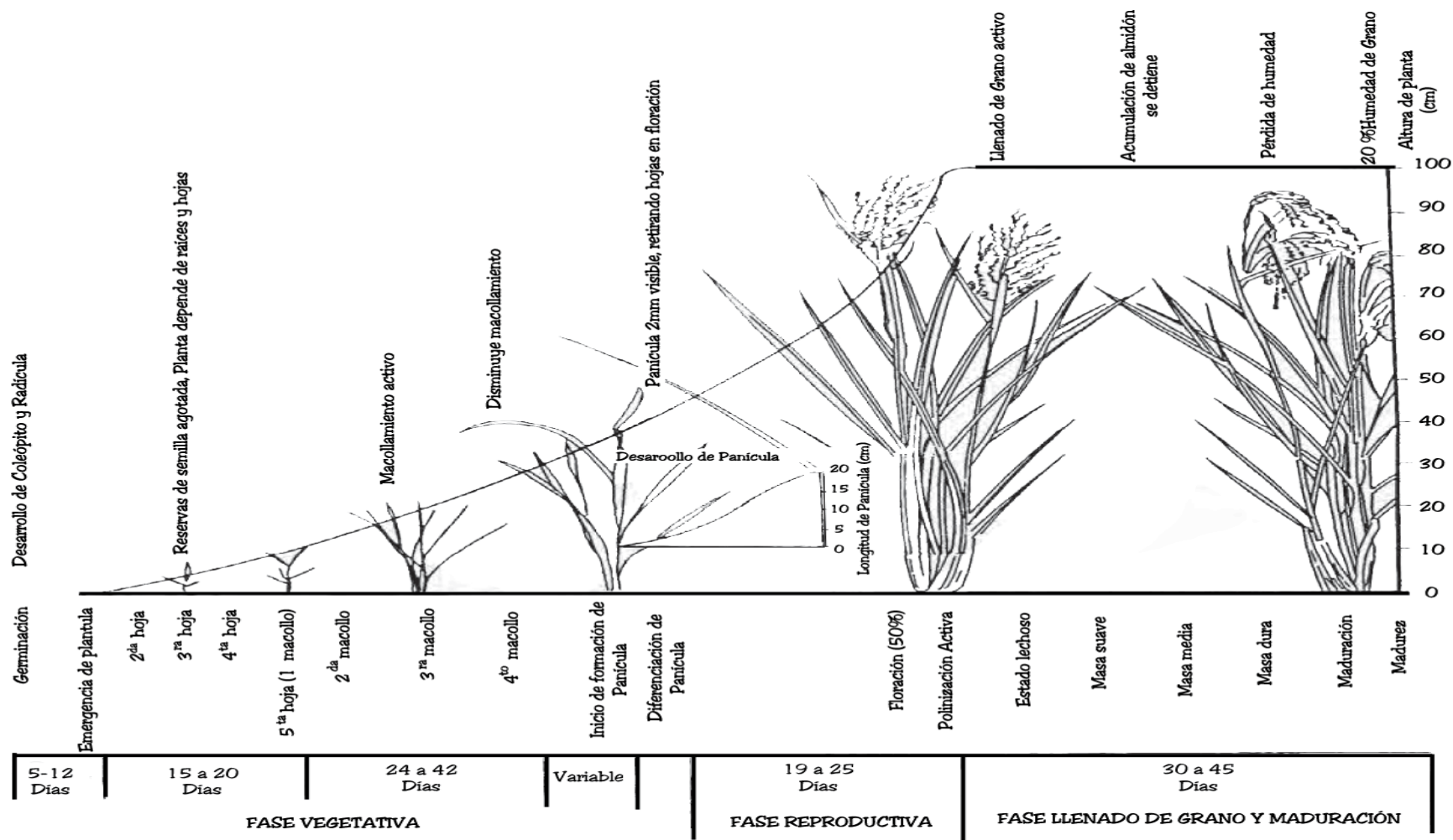


Figura 19. Estadios de crecimiento y desarrollo en cada una de las fases del cultivo

Tomado de: Rice Production Handbook, University of Arkansas, MP192

Goodland y Ledec (1986), definen al desarrollo sustentable como un patrón social, estructural y transformaciones económicas, que optimizan lo económico y otros beneficios sociales, disponibles en el presente, sin afectar el posible potencial para beneficios similares en el futuro.

Ante el patrón de producción-consumo, que había afectado la estabilidad del ambiente, la conferencia de Río (1992), buscó revertir esta situación, en beneficio de la humanidad, y se promueve la agenda 21, que permitiría sentar las bases de los principios de la sustentabilidad (Leff, 2008).

También en la Cumbre de Río, se reconoce la necesidad de construir indicadores, para evaluar el logro del desarrollo, pero con sustentabilidad. Con esta decisión se sentaron las bases para que se tomaran decisiones en los diferentes niveles y así favorecer a autoordenar la sustentabilidad de los sistemas integrados del ambiente y el desarrollo.

Este concepto de desarrollo sustentable, prioriza al ser humano y lo coloca como el centro, con el fin de mejorar la calidad de vida del mismo, en función a la eficiencia productiva en armonía con el ambiente. El modelo de desarrollo, se enfoca en incrementar la cantidad de bienes y servicios y que estos estén disponibles equitativamente, con el objetivo de eliminar las barreras sociales de desigualdad y la pobreza, considerando al medio ambiente (citado de Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2006).

Con esta iniciativa se pretende considerar la dimensión ambiental en los procesos económicos y sociales, con la finalidad de sensibilizar el uso sustentable de los recursos naturales, contribuir a reducir la pobreza, eliminar la desigualdad social a través de la creación de capacidades y desarrollo y adopción de tecnologías, favorecer el apoyo para el desarrollo económico e incentivar el acceso a mercados internacionales, fomentando la cooperación regional.

Los enfoques que se priorizan son los holísticos e integrales, con el objetivo que el desarrollo sustentable, oriente a los seres humanos a convivir, respetando a la naturaleza y haciendo esfuerzos para restaurar los ecosistemas afectados en la naturaleza (ONU, 2012).

Para el logro de este objetivo, y como parte de la agenda de desarrollo pos 2015, consideran a la economía verde como una de las alternativas para un desarrollo sustentable y la involucración de los actores hacedores de políticas públicas, para que formulen un marco institucional, que permita una actuación acorde a los presentes y futuros desafíos, para el logro del desarrollo sustentable en las diferentes escalas, desde la global y local y hacer que los objetivos de desarrollo sustentable sean una realidad en cada país.

Además, se requieren acciones integradas e impostergables, desde el nivel local y nacional hasta el nivel regional y global, incluyendo a todos los actores sociales, para que las actividades económicas que realicen, se concreten en prácticas que respeten el medio ambiente en la escala correcta reconociendo las dimensiones del desarrollo sustentable.

Finalmente, todos debemos involucrarnos en el logro del desarrollo sustentable, países gobiernos locales, regionales, inversionistas y todas las organizaciones civiles, para alcanzar el desarrollo económico que permita el fin de la pobreza extrema, la inclusión social, la sustentabilidad ambiental y la gobernanza.

2.7 AGRICULTURA SUSTENTABLE

La conceptualización del desarrollo sustentable, generó un proceso de sensibilización en cada una de las actividades productivas para el logro del desarrollo, considerando el ambiente, como respuesta a las críticas ambientales, sociales y económicas a la forma convencional o industrial de agricultura que se venía llevando a cabo. Tenía como objetivo mantener o aumentar los niveles de producción agrícola, con un uso adecuado de los recursos naturales y sociales para la obtención del producto comercial. No sólo considera la dimensión ambiental, sino que incorpora lo socio-cultural y económico. Lo más trascendente es que involucra al ser humano, los agricultores, que representan el sector empobrecido, para que alcancen el desarrollo y tengan la posibilidad de salir de las condiciones paupérrimas en las que viven (Rosset, 1998; Rosset y Altieri, 1998).

Según la FAO, 1992, la agricultura sustentable *“Es el manejo y conservación de los recursos naturales y la orientación de cambios tecnológicos e institucionales de manera de asegurar la satisfacción de las necesidades humanas en forma continuada para las generaciones presentes y futuras. Esta forma de agricultura conserva al suelo, el agua y los recursos*

genéticos tanto animales como vegetales; no degrada el medio ambiente, es técnicamente apropiada, económicamente viable y socialmente aceptable”.

El concepto de agricultura sostenible de Lewandowski et al. (1999), adoptada por el marco Sustainable Assessment of Farming and Environmental -SAFE (Sauvernier et al., 2006; Van Cauwenbergh et al., 2007), indican que es *“La gestión y la utilización de los ecosistemas agrarios de una manera que se mantenga su diversidad biológica, productividad, capacidad de regeneración, vitalidad y capacidad de funcionamiento, de modo que se pueda cumplir hoy y en el futuro, importantes funciones ecológicas, económicas y sociales a nivel local, nacional y mundial, sin con ello dañar otros ecosistemas”.*

Altieri (1999), señaló que la agricultura sustentable es aquella que *“Intenta proporcionar rendimientos sostenidos a largo plazo, mediante el uso de tecnología y prácticas de manejo que mejoren la eficiencia biológica del sistema” (...)* *“Es aquella agricultura que busca una distribución justa y equitativa de los costos y beneficios asociados con la producción agrícola; se preocupa por el rescate crítico de las prácticas de manejo utilizadas por diferentes etnias y culturas, y busca reducir las desigualdades actuales en el acceso a recursos productivos; intenta así mismo desarrollar tecnologías y sistemas de manejo adaptados a la diversidad de condiciones ecológicas, sociales y económicas locales; finalmente la agricultura sustentable trata de ser rentable económicamente, sin dejarse llevar por una lógica económica de corto plazo”.*

2.8. CAMBIO CLIMÁTICO

2.8.1 ¿Qué es el cambio climático?

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), en su Artículo 1, define cambio climático como: *“un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima, observada durante períodos de tiempo comparables”.* La CMCC distingue entre “cambio climático” atribuido a actividades humanas que alteran la composición atmosférica y “variabilidad climática” atribuida a causas naturales (IPCC, 2014).

El cambio climático es uno de los mayores desafíos globales de la 21^{ava} centuria. Los efectos adversos del impacto del cambio climático, han afectado a todos los países, especialmente a los países en desarrollo, en los que se han presentado sequías persistentes, y eventos climáticos extremos, como la elevación del nivel del mar, erosión de la costa y acidificación del mar, afectando la seguridad alimentaria, agua, energía y salud, afectando a las poblaciones más vulnerables y los esfuerzos para erradicar la pobreza y lograr el desarrollo sustentable.

2.8.2 ¿Qué es la variabilidad climática?

La variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las *escalas temporales y espaciales*, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede originar de procesos naturales internos dentro del *sistema climático* (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos externos *antropogénicos* (variabilidad externa) (IPCC, 2014).

Los estudios realizados sobre la evolución de los ecosistemas del planeta, coinciden en señalar que, a lo largo del paso de la humanidad, el hombre y el desarrollo industrial han contribuido al deterioro mediambiental y sobre todo al cambio climático.

2.8.3 Cambio climático y arroz

El crecimiento sustentable de la producción de arroz a nivel mundial, es una necesidad para fortalecer la seguridad alimentaria, mantener la salud humana, y mantener el sustento de millones de pequeños agricultores. Uno de los más serios desafíos para lograr el crecimiento sostenible en la producción de arroz es el que impone el cambio climático (Wassmann y Dobermann, 2007).

Investigaciones realizadas por Deepak et al. (2014), señalan que la variabilidad climática, explica la tercera parte de la variabilidad del rendimiento de los cultivos. Sin embargo, en países como Japón y Corea, la variabilidad climática fue más importante, ya que influyó en un 79% y 47% respectivamente, en la variabilidad del rendimiento. En países como India, China, Indonesia, Tailandia, Brasil, Camboya, Perú y España, la variabilidad del rendimiento fue afectada en un 25% al 38% por la variabilidad climática. Es importante

entender la vinculación que existe entre el clima y el rendimiento del cultivo a lo largo del tiempo y también para preservar el futuro de la seguridad alimentaria.

La productividad del arroz y la sustentabilidad son amenazadas por factores bióticos y abióticos y los efectos de estos estreses, pueden ser dramáticamente agravados por el cambio climático. Estudios de modelación han anticipado cambios en la temperatura y CO₂ y que tendrían efectos negativos en la producción (Erda et al., 2005). Incrementos en la temperatura, acortarían el ciclo de vida y conducirían a la reducción de los rendimientos, contrario al incremento del CO₂ que lo favorecería. Contribuye a esta situación la reducción del agua que en combinación con altas temperaturas, limitarían la producción de arroz (Ainsworth, 2008).

El cultivo de arroz, afecta principalmente al ambiente por la liberación de gases y componentes que son activos en la atmósfera y por cambios en la composición química del agua que fluye a través de los campos de arroz.

2.9. ESTADÍSTICAS DE PRODUCCIÓN DE ARROZ

2.9.1 Estadísticas mundiales de arroz

El arroz, trigo y maíz son los tres principales cultivos alimenticios a nivel mundial. Estos de manera conjunta, suplen directamente más del 42% de todas las calorías consumidas por la población mundial. El trigo lidera en área cosechada 220 millones (ha) en el año 2014, seguidos por el maíz y el arroz, con 185 y 163 millones de ha (FAOSTAT, 2018).

La serie histórica del 2008 al 2017 (**Cuadro 2**), indica que la producción de arroz ha ido en incremento año en año, a pesar que en algunos años se observan contracciones en la superficie cosechada, posiblemente debido a los efectos del cambio climático (tifones, inundaciones, sequías, temperaturas altas), que afectaron la superficie sembrada y la productividad del cultivo, además de los factores bióticos como plagas y enfermedades que se están incrementando por las altas dosis de nitrógeno que se están usando.

Cuadro 2. Serie histórica 2008-2017 de superficie cosechada, producción y rendimiento de arroz a nivel mundial ⁽¹⁾

Año	Superficie cosechada Millones ha⁻¹	Producción Millones TM arroz cáscara	Producción Millones TM arroz pilado	Rendimiento t ha⁻¹
2008	154.976	643.562	424.751	4.15
2009	158.488	669.535	441.667	4.23
2010	155.764	656.192	433.087	4.21
2011	158.229	672.069	443.565	4.25
2012	160.432	697.163	460.128	4.35
2013	158.834	704.584	465.025	4.44
2014	161.605	713.292	470.773	4.41
2015	160.928	713.491	470.904	4.43
2016	159.167	703.840	464.534	4.42
2017	161.346	716.251	472.726	4.44

Fuente: USDA, 2018

En relación a la producción mundial se puede observar que del año 2008 al año 2017, hubo un incremento de producción del 11.2%. La mayoría del incremento de la producción de arroz fue debido al mayor rendimiento en el cultivo de arroz, que presentó una tasa de incremento del 0.69% anual. Del año 2008 al año 2017, la productividad anual por hectárea a nivel mundial, ha aumentado en 29 Kg, mientras que el área cosechada tuvo un crecimiento de 0.41%. En la mayoría de los años se han presentado incrementos del rendimiento a excepción de algunos, en los que se han habido reducciones por efecto del cambio climático.

2.9.2 Estadísticas nacionales

Estadísticas nacionales de superficie, producción y rendimiento del arroz

Las estadísticas, muestran el comportamiento de las variables a lo largo de las décadas, desde 1920 al 2010 (**Cuadro 3**), en el que se puede apreciar el incremento del área y la producción a lo largo de todas las décadas. En relación al rendimiento se observa que desde la década de los 60 se dan los mayores incrementos.

2.10 . ÍNDICE DE DESARROLLO HUMANO

El Programa de las Naciones Unidas (PNUP, 2016), indica que el Índice de Desarrollo Humano (IDH), el Perú obtuvo 0.74. Este valor es una medida de síntesis, que analiza el progreso en tres dimensiones básicas del desarrollo humano: una vida larga y saludable, el acceso y el nivel de conocimiento, y un nivel de vida digno.

Cuadro 3. Historial de la superficie, producción y rendimiento de arroz en el Perú. Decadas de 1920 a 2010.

Decadas	Superficie has (miles)	Producción TM (miles)	Rendimiento t ha⁻¹
1920	32,300	57,300	1.75
1930	47,000	95,200	2.02
1940	52,800	151,600	2.88
1950	61,600	293,300	3.85
1960	87,700	355,900	4.00
1970	127,500	536,700	4.21
1980	188,600	896,000	4.71
1990	216,140	1,229,000	5.61
2000	332,800	2,307,000	6.90
2010	386,300	2,932,000	7.60

Cuadro elaborado con información estadística de 1920 a 1949, tomada del libro del Programa Nacional de arroz 1969. MINAGRI, 2018. Desde 1950 a la fecha.

De acuerdo a las Naciones Unidas, se conceptualiza a cada una de estas dimensiones de la siguiente manera:

- La vida larga y saludable, se mide por la esperanza de vida al nacer.
- El nivel de conocimientos, se mide a través de los años promedio de escolaridad de la población adulta (número promedio de años de escolaridad, que recibe durante su vida una persona de 25 años o más).
- Acceso al conocimiento, se mide a través de los años esperados de escolaridad para los niños y niñas en edad escolar (número total de años de escolaridad que puede preverse para un niño o niña en edad escolar, si se mantienen durante toda su vida, los patrones de las tasas de matrícula por edad).
- El nivel de vida, se mide a través del ingreso nacional bruto (INB) *per cápita*, convertido a dólares internacionales del 2011, usando las tasas de paridad del poder adquisitivo (PPA).

El valor del IDH de Perú correspondiente al año 2015 fue de 0.740, ubicando al país en la categoría desarrollo humano alto y en el puesto 87 de 188 países y territorios y ocupa el mismo puesto en la clasificación que Tailandia. Sin embargo, se encuentra por debajo de la media del grupo de países con desarrollo humano alto (0.746) y por debajo de la media de los países de Latinoamérica y el Caribe (0.751). Este índice se ajusta en base a la desigualdad-D, ya que el IDH, es un promedio y oculta la desigualdad de la distribución del desarrollo humano entre la población a nivel nacional. Este indicador se utiliza a partir del

2010, en el IDH. El IDH-D, que tiene en cuenta la desigualdad en las tres dimensiones del IDH al “descontar” al valor medio, reclasifica al Perú con un IDH de 0.580, debido a la desigualdad en la distribución de los índices, en cada dimensión del IDH.

La escala del IDH (**Cuadro 4**), nos indica que en el Perú, el progreso está en un nivel medio, por tener un valor de 0.58, sin embargo muy cercano a la categoría baja que equivale a 0.50, lo que indica que aún hay mucho que hacer, para lograr el desarrollo sustentable de todos los peruanos y sobre todo en el sector rural. El Instituto Nacional de Estadística señala que el 2017, la pobreza monetaria (personas que residen en hogares cuyo gasto *per cápita* es insuficiente para adquirir una canasta básica de alimentos y no alimentos (vivienda, vestido, educación, salud, transporte, etc.) en el sector rural fue, 44. 4%, y la pobreza urbana tuvo un valor de 15.1% (INEI, 2018).

Cuadro 4. Escala del Índice de Desarrollo Humano-IDH

Alto	+ de 0.800
Medio	de 0.500 a 0.799
Bajo	- de 0.500

Fuente: PNUD (2011)

Este índice de desarrollo humano repercute en las migraciones de la población rural hacia las principales urbes, sobre todo a la capital. La falta de oportunidades en las zonas rurales, la mejora de la calidad de vida y los altos índices de inseguridad que existe en el país favorece el fenómeno de la migración hacia las capitales. Se puede observar en la **Figura 20**, como a través de las diferentes décadas, los niveles de migración tienen una tendencia creciente y el despoblamiento de las áreas rurales es una realidad. Los jóvenes no están dispuestos a realizar actividades, que no les conduzca a su desarrollo.

2.11. MIGRACIONES EN EL PERÚ

El proceso migratorio en el Perú se acentuó en el último medio siglo. Actualmente tres cuartas partes de la población, viven en las ciudades, donde encuentran nuevas oportunidades de desarrollo en diferentes sectores como, industria, comercio y servicios. La población migrante proviene de las áreas rurales, villorrios y centros poblados. Los pobladores, principalmente provienen de los andes y se trasladan a ciudades de la costa y de

la selva. Lima, la capital ha sido la ciudad que más migrantes ha recibido y ahora, es una mega ciudad con más de 9 millones de habitantes.

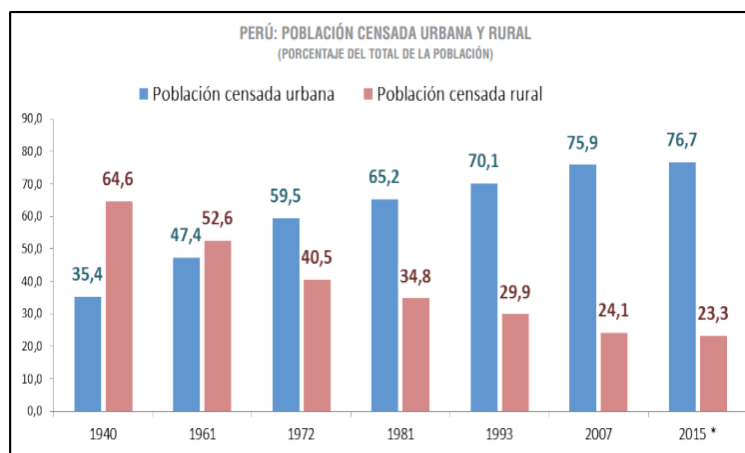


Figura 20. Tendencia de las migraciones del área rural.

En el año 2015, ya existían en el país más de 93 ciudades con mas de 20 mil y más habitantes, resultado de las migraciones internas, que buscaron el desarrollo económico y que se ubican allí por el crecimiento económico de las mismas, debido a la actividad empresarial y de medianos y pequeños negocios.

En la **Figura 20** se pudo observar la tendencia creciente de la migración de los pobladores rurales y el despoblamiento de las áreas rurales, lo que está repercutiendo en la disponibilidad de mano de obra (Sánchez, 2015).

El despoblamiento de las área rurales, se estimuló desde hace más de medio siglo, por la depresión en la agricultura, que era y es la primordial actividad económica, lo que originó y actualmente promueve las migraciones desde las zonas rurales, sobrepoblando las ciudades en busca del desarrollo económico, que no les asegura el permanecer en las zonas rurales. A pesar de todas las limitaciones, existen ejemplos de vida de migrantes, que gracias a su esfuerzo han logrado el éxito y eso los motiva a encontrar mejores oportunidades para sus generaciones presentes y futuras.

2.12 CENSO NACIONAL AGROPECUARIO 2012

El censo agropecuario (INEI, 2012), indica que existen 38,7 millones de ha que equivale al 30% del territorio nacional, y presenta un 9,5% más, en relación al año 1994. La superficie

agrícola dedicada a la siembra de productos agrarios fue de 7.1 millones de ha, 30% más que hace veinte años. En este incremento se han favorecido cultivos (papa, café, cacao, arroz) característicos de la agricultura familiar. De acuerdo a las cifras del INEI, existen 2 261 000 productores agropecuarios, el 80% de esta cifra corresponde a pequeños agricultores con menos de cinco ha.

2.13 SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE ARROZ

EL arroz juega un rol crítico en relación a la seguridad alimentaria y nutricional y es sustento de 144 millones de pequeños agricultores en países en desarrollo. El arroz es un alimento básico para más de 3.5 billones de personas y provee el 19% de dieta energética mundial (GRiSP, 2013).

La agricultura es una invención humana, que ha tenido cambios en sus diferentes etapas de evolución, sobre todo, cuando se convirtió en una actividad económica en la que sus prácticas han causado significativas consecuencias ecológicas, afectando áreas de bosques, favoreciendo emisiones de gases de tipo invernadero por el uso de fertilizantes, usando combustibles para la maquinaria y crecimiento excesivo de algas debido a las altas dosis de nutrientes que se percolan al acuífero. Definitivamente, este panorama debe mejorar y la única forma es desarrollando innovaciones tecnológicas que reduzcan el impacto negativo ambiental de la agricultura.

Los productores de arroz se encuentran entre los más vulnerables al cambio climático, por sus impactos, como incremento del nivel del mar, salinidad, incremento de la temperatura, sequía e inundaciones.

La sustentabilidad del cultivo de arroz se ha constituido actualmente en uno de los principales objetivos a nivel mundial. La búsqueda de la sustentabilidad en el cultivo del arroz por países y regiones desarrolladas, no sólo se basa en su importancia como principal alimento de la mayoría de la población mundial, sino también por la seguridad alimentaria, alivio de la pobreza, y el empleo rural, del que depende básicamente su producción (Hossain, 1998; Roy et al., 2014).

2.14 CULTIVO DE ARROZ, SISTEMAS ACTUALES DE PRODUCCIÓN

En el cultivo de arroz hay dos grandes sistemas de siembra: la siembra directa y el trasplante. Estos sistemas difieren, en que, en el trasplante, el arroz en sus etapas juveniles se desarrolla en pozas pequeñas (almácigos o semilleros), en altas densidades de siembra y luego las plántulas son llevadas a campo definitivo. En la siembra directa, las semillas son colocadas directamente en el suelo.

Indudablemente, la siembra directa fue la forma más antigua de sembrar arroz, tanto en seco como en suelos húmedos del Asia Tropical. A mediados del siglo VI (530-550) ya se practicaba el trasplante en China, y en Japón (Nagai, 1959). En el Perú el arroz se cultiva mayormente al trasplante y en siembra directa en seco y en pozas al batido (selva alta).

A continuación se describen las principales prácticas del cultivo del arroz en el Perú.

2.14.1 Sistema indirecto-Trasplante

Es el sistema de siembra dominante, del arroz irrigado en el Perú. Se practica en todos los valles arroceros de la costa y en la selva alta, cubriendo más del 90% de las áreas arroceras de riego. Este sistema permite: el mejor aprovechamiento del agua de riego, de los ríos costeros de régimen eventual, al inicio de las siembras; incorporar suelos salinos; el mejor establecimiento y densidad de poblaciones al plantar “lechuguinos” (plántulas desarrolladas en el almácigo) de 0.20 -0.25 m de altura, corrigiendo las deficiencias de nivelación de los suelos y un control más eficiente de malezas. Este sistema de cultivar el arroz contempla tres etapas:

- Siembra y crecimiento en almácigos
- Extracción de las plántulas y su acondicionamiento para el trasplante
- El trasplante

a. Fase de almácigo

- **Siembra de almácigos**

El método de siembra de almácigos más difundido en el Perú es la siembra en pozas al batido que se practica en la costa y selva. Excepcionalmente se practica la siembra en suelo seco. En ambos métodos, los suelos deben estar bien nivelados y mullidos, condición que se obtiene después de varias labores: aradura, pases cruzados de rastras, pases de rotavator.

- **Preparación de la semilla**

La semilla, pasa por una fase de remojo y abrigo para acelerar la germinación. En el remojo de la semilla, se eleva el contenido de agua a 25-35% en las primera 18 horas. Aunque la duración de esta fase, es independiente de la temperatura, la absorción sí esta influenciada, por lo que, a mayor temperatura mayor absorción de agua en menor tiempo. A 30°C por 54 horas se absorbe casi 55% de agua (Yoshida, 1981).

- **Distribución de la semilla en las pozas de almácigo**

Para distribuir la semilla, el agua debe estar en reposo y sin turbidez, para observar la distribución en el suelo. El operador desde los bordos va lanzando la semilla al suelo, de manera uniforme, hasta cubrir toda la superficie del suelo de la poza de almácigo.

- **Control de malezas**

A los cuatro o seis días después de la distribución de la semilla, se aplican herbicidas pre-emergentes (bentocarbo), en lámina delgada de agua, para el control de malezas. Los almácigos deben mantenerse siempre libres de malezas.

- **Establecimiento de la lámina de riego**

Cuando las plántulas tienen una altura de ± 10 cm, se instala una lámina permanente de agua en el almácigo (inundación permanente).

- **Densidad y época de siembra**

La preparación de los suelos influye en la uniformidad de la población. Las densidades de siembra varían principalmente por la temperatura, (a mayor temperatura menor densidad de siembra), además de la calidad de la semilla, tipo y preparación de suelos. La densidad de siembra varía desde 150 g m⁻² (Tumbes) a 300 g m⁻² (Arequipa). Una densidad adecuada, debe permitir un rendimiento de 20 a 25 has de transplante por una hectárea de almácigo. Cuando el manejo no es óptimo los rendimientos son inferiores.

- **Fertilización**

Después de doce o quince días del voleo de la semilla, los almácigos deben ser fertilizados. Comúnmente se aplica nitrógeno en dosis, que varían de 150 a 200 Kg N ha⁻¹.

b. Fase de trasplante

La preparación del suelo para el trasplante, implica una serie de operaciones mecanizadas como aradura, pases cruzados de rastra pesada (discos de 30”), nivelación con rufas o nivelación laser (lo más recomendable), rehabilitación de canales, drenes y bordos, etc.

En costa y en selva alta, el batido de las pozas, se realiza en forma mecanizada, con tractores batidores. Los pequeños productores usan yuntas. Consiste en modificar la estructura del suelo, para favorecer una mayor capacidad de retención del agua, debido a que se reduce la pérdida de agua por percolación.

- **Edad de plántula**

La edad óptima, está determinada por varios factores: varietales, climáticos, ambientales, socio-económicos, etc. En el Perú, la edad óptima de plántula varía desde los 20 a 45 días, dependiendo del ambiente en que se siembre y el manejo agronómico.

- **Extracción de plántulas del almácigo**

Consiste en extraer las plántulas del suelo, cogiéndolas de los tallos y hojas, en manojos; lavar las raíces y amarrarlas en atados, para ser conducidas al área de trasplante. Cuando el almácigo ha sido bien manejado, la rotura de las plantas es mínima, pero cuando ha tenido deficiencias de agua, la rotura puede ser muy alta, bajando el rendimiento del almácigo.

- **Ejecución del trasplante**

Consiste en introducir al suelo (barro), manojos de cuatro a seis plántulas, presionando las raíces con los dedos. A este manajo trasplantado corrientemente se le denomina “golpe”¹. El nivel del agua es de 0.10 a 0.15 m, que se mantiene hasta finalizar el trasplante.

- **Densidad del trasplante**

El tipo varietal determina principalmente la densidad de los golpes. Para las variedades semi-enanas macolladoras (IR-43), la densidad de golpes, varía de 16 a 25 por m². Las densidades más utilizadas en forma comercial son: 0.20 x 0.20 m, 0.25 x 0.25 y 0.20 x 0.25 m, de distanciamiento entre golpes.

¹ Golpe: Unidad fisiológica de rendimiento en el cultivo de arroz. Conjunto de plántulas que se colocan indistintamente en el suelo, manteniendo un distanciamiento similar entre los diferentes golpes.

- **Manejo de herbicidas**

A los cuatro a cinco días del primer ingreso del agua en las áreas de trasplante, se aplican herbicidas pre-emergentes (butachlor) para el control de malezas gramíneas y dicotiledóneas. Aplicaciones focales de Basagran + 2,4-D, se practican en las zonas fuertemente infestadas de ciperáceas después del macollaje. También se emplea propanil en gramíneas de 2-3 hojas. Los deshierbos a mano se practican antes de la floración.

- **Manejo de fertilizantes y riego**

En los primeros días después del trasplante, las pozas se mantienen con riegos intermitentes para favorecer el enraizamiento de las plántulas. Después del trasplante, el área debe mantenerse con lámina estática de agua (0.05-0.10 m).

El enraizamiento se observa a partir del sexto día del trasplante, con el cambio de coloración de las hojas. A los diez a doce días, se puede observar en el campo un cambio de coloración de pajizo a verde (las plantas han asimilado el nitrógeno del suelo). Durante el trasplante, hay una ruptura de las actividades fisiológicas de las plantas, en especial en la absorción de nutrientes. Estos efectos se atenúan con los trasplantes inmediatos y rápidos después de la extracción de las plántulas, y aplicando 40 Kg N ha⁻¹ antes del transplante.

La fertilización se realiza con lámina estática de agua, aplicando nitrógeno, fósforo y potasio. La fuente nitrogenada más común es la urea y el sulfato de amonio. Las respuestas a las aplicaciones de nitrógeno, son muy significativas. Las más efectivas son las fraccionadas, realizándose la primera aplicación (50% de la dosis) a los quince a veinte días después del trasplante para activar el macollamiento. El área foliar se incrementa y la actividad fotosintética por efecto de la radiación solar aumenta, determinando mayor producción de materia seca, favoreciendo el rendimiento en grano. La segunda dosis (50%) se aplica al inicio de la fase reproductiva (punto de algodón). Cuando las condiciones de crecimiento de las plantas es desuniforme, se hace una aplicación intermedia (desmanche) con 40 Kg N ha⁻¹, para corregir alguna deficiencia de nitrógeno en el campo.

2.14.2 Sistema de siembra directa

La siembra directa, consiste en colocar la semilla en el campo en el que permanecerá el cultivo, hasta que se realiza la cosecha. Esta siembra requiere una preparación de suelo más refinada que el trasplante. Se debe realizar un buen mullimiento y nivelación del suelo. La

nivelación laser, ha permitido superar los problemas de desnivelación que afectaban la uniformidad de la siembra y el manejo del agua con relación al trasplante. Demanda menos mano de obra y permite alcanzar más temprano la maduración, que el trasplante. En este método las plántulas no pasan por un periodo de estrés, ya que no son separadas del suelo. Sin embargo tiene mayor competencia por malezas. Dependiendo de la preparación de suelos, se pueden practicar tres formas. Siembra directa en suelo seco, siembra directa en suelo húmedo y siembra directa en suelo batido.

- **Preparación de los suelos**

Es idéntica a la que se practica en el trasplante y comprende varias operaciones como eliminación de malezas, preparación del suelo (pases de rastras cruzadas, nivelación, etc). En la sistematización temporal, la preparación y nivelación se realiza en todo el campo y, después de sembrado a máquina, se trazan los canales y se realiza la bordeadura (valle del Chira). No se ejecutan en el campo grandes movimientos de tierra, sino más bien emparejaduras. El tamaño del área de siembra, está determinado por la pendiente de los suelos. El suelo debe quedar bien mullido y la profundidad de labranza no debe ser menor de 0.20 m (usar rastras con discos de 30”), para favorecer la germinación, el enraizamiento y el crecimiento de las plántulas.

- **Densidad de siembra**

Es variable y depende del tipo de siembra y la calidad de semilla. Con sembradora se puede usar 60-80 Kg ha⁻¹ de semilla de alta germinación (90-95%), para obtener una población uniforme y una buena densidad de plántulas. Al voleo manual, se emplea una densidad de 100 a 120 Kg ha⁻¹ y con voleo mecanizado, 30-40 Kg de semilla germinanda en pozas al batido (selva).

a. Siembra directa en seco

- **Manejo del agua**

Después de la siembra en seco, el campo se riega, con bajo volumen de agua para evitar el arrastre de la semilla. Se mantiene inundado por 48 horas o más, según las condiciones térmicas y tipo de suelo. A los seis días, se observa la emergencia de las plántulas. Si la humedad no es suficiente, y no permite la emergencia de las plántulas, se aplica un riego muy ligero. Cuando la percolación es lenta, a los cuatro a cinco días del riego, se eliminan los excedentes de agua libre que permanecen en las partes bajas (desniveles).

- **Manejo de herbicidas**

En los seis primeros días del primer riego, se aplican los herbicidas pre-emergentes, para que las plántulas emerjan libres de malezas. La presencia de malezas es la mayor limitación en la siembra directa. El arroz germina simultáneamente con las malezas, con una fuerte competencia por agua y nutrientes. La solución es aplicar herbicidas pre-emergentes. Los cultivares semienanos, no tienen habilidad competitiva, para dominar las malezas.

A los quince a veinte días, se controlan los focos de malezas con herbicidas post-emergentes (propaniles, bispirivac sodio, etc.).

Los suelos para siembra directa, no deben tener altos contenidos de sales y la disponibilidad de agua debe estar asegurada, para los continuos riegos ligeros, que deben realizarse los primeros 30 días después de la siembra.

Este tipo de siembra en seco se puede realizar a máquina, al voleo en forma manual o con voleadora mecánica.

b. Siembra directa en suelo húmedo

Para las siembras en húmedo, las pozas ya niveladas se inundan y cuando el suelo esté a punto se pasa la rastra. En el suelo mullido se siembra a máquina o a voleo (parcelas pequeñas). Para apisonar la semilla se pasa una rastra de rodillos. En áreas con altas temperaturas, no se recomienda esta práctica, por la pérdida rápida de humedad por evaporación, secándose rápidamente la capa superficial del suelo. La densidad de siembra utilizada a máquina varía de 60-80 Kg ha⁻¹ de semilla de alta germinación (90-95%), para obtener una emergencia uniforme y una buena densidad de plántulas. Al voleo manual se siembra 100 a 120 Kg ha⁻¹.

c. Siembra directa en suelo batido

El área de siembra se prepara en forma similar a la preparación del almácigo. La nivelación se realiza bajo agua con yuntas, o tractores batidores. Este método es más usado en la selva alta irrigada, donde por efecto de las lluvias, no se pueden preparar los suelos en seco. La semilla germinada se distribuye en toda el área en forma manual o con voleadoras.

- **Control de malezas**

Los herbicidas pre-emergentes se aplican después del batido y se drenan las pozas 48 horas después. Se aplica un riego ligero y se volea la semilla germinada, en densidades de 40 - 60 Kg ha⁻¹ (cultivares macolladores).

Los riegos son ligeros hasta los 30 días. Después, se inundan las pozas para las aplicaciones de fertilizantes, en dosis que varían de 150 - 200 Kg N ha⁻¹, en forma fraccionada, similar al trasplante. (50% al macollaje y 50% al punto de algodón). En selva alta en los suelos nuevos las aplicaciones de nitrógeno son bajas (100 Kg N ha⁻¹).

En siembra directa, debido a la poca profundidad de enraizamiento de las plántulas, los macollos se desarrollan en los nudos más bajos del tallo principal, teniéndose en los estados tempranos mayor número de macollos que, en presencia de altas aplicaciones de nitrógeno, determinarían gran producción de materia seca en detrimento del rendimiento en grano. En consecuencia, la densidad de siembra, las condiciones climáticas, el manejo de nitrógeno, preparación de suelo, cultivar y calidad de semillas, etc, son elementos que deben tomarse en consideración, para asegurar un número adecuado de panículas m⁻² y un número alto de granos llenos/panoja (90-95% de granos llenos), para altos rendimientos (10-12 t ha⁻¹). Altas densidades de siembra (80-100 Kg ha⁻¹) en cultivares macolladores, determinan bajos rendimientos, porque baja el índice de cosecha.

En las siembra directas, las plántulas no sufren la ruptura de raíces, como en el caso de trasplante. Esta ruptura retrasa el desarrollo y crecimiento y, en consecuencia, el período de desarrollo vegetativo es de siete a diez días más corto que en trasplante.

Los rendimientos obtenidos son similares a los obtenidos por trasplante, lo que indica que todas las variedades que se cultivan al trasplante, pueden ser sembrarse en siembra directa; pero no todas las variedades que se adaptan a la siembra directa, pueden trasplantarse.

2.14.3 Sistema intensivo de cultivar arroz - SICA

La tecnología del sistema intensivo de cultivar arroz, fue desarrollada en 1983 por el sacerdote Jesuita Francés Henri de Laulaine, quien por más de 30 años, trabajó con agricultores en Madagascar (Laulanié, 1993; citado por Dhital, 2011). Es una siembra indirecta (trasplante), en el que se modifican una serie de componentes del sistema

convencional como la edad de plántula de ocho a quince días (estadio de dos hojas), espaciamientos amplios (0.50 x 0.50 m), un mínimo de tres deshierbos manuales después del trasplante, incorporación de materia orgánica, para suplir la demanda de nutrientes, drenaje intermitente que favorezca la aereación del suelo durante la fase vegetativa (Stoop et al., 2002).

Los excepcionalmente altos rendimientos reportados de 15-23 t ha⁻¹ (Rafaralahy, 2002; Anitha y Chellappan, 2011), generó discrepancias en la comunidad científica ya que era más alto que el potencial de rendimiento de los cultivares más rendidores (10-12 t ha⁻¹). Científicos criticaron el SICA, señalando que sólo tenía un pequeño potencial para mejorar la producción de arroz (Dobermann, 2004; Sheeji et al., 2004; Sinclair y Cassman, 2004; Sheehy et al., 2005). Estas controversias aún continúan, en artículos a favor del sistema (Uphoff et al., 2015) y los críticos (Latif et al., 2005; McDonald et al., 2006).

Investigaciones realizadas en Bangladesh (Latif et al., 2005), para determinar los componentes que caracterizan este sistema de producir arroz, dieron como resultado que en relación al distanciamiento entre golpes, 0.25 x 0.15 m, tuvo un rendimiento de 7.53 t ha⁻¹ y el distanciamiento de 0.40 x 0.40 m se obtuvo 5.10 t ha⁻¹. En campos de agricultores se compararon las prácticas de manejo recomendadas, versus las que sugiere el SICA. Los resultados indican que estas practicas fueron significativamente mejores que las del SICA, con mayor rendimiento, menor costo y mayor rentabilidad. Los rendimientos fueron de 6.88 para los que siguieron las practicas de manejo recomendadas y 5.05 t ha⁻¹ para el SICA.

2.14.4 Sistema aeróbico de producción de arroz

El arroz aeróbico es un sistema de producción que se maneja con riegos similares a los aplicados al maíz y trigo. En este sistema, se utilizan cultivares de arroz adaptados al manejo aeróbico. Estos cultivares son sembrados en suelos bien drenados, en suelos no batidos y no saturados sin lámina de agua. Los rendimientos no van más allá de 4 a 6 t ha⁻¹ (GRiSP, 2013).

Alcanzar altos rendimientos bajo condiciones de suelo aeróbico, requiere que los cultivares de arroz combinen características de tolerancia a sequía, provenientes de materiales genéticos de arroz de secano, con las de los cultivares con característica de alto rendimiento en ambientes inundados (Lafitte et al., 2002). Este sistema se esta desarrollando, como una respuesta al eminente problema de escasez de agua.

El potencial de ahorro de agua, está alrededor del 30 a 50%, cuando se compara arroz aeróbico con el de arroz con inundación continua, especialmente en suelos en los que la tasa de percolación y filtración es alta (Bouman y Tuong, 2001).

Estudios previos en Japón, Filipinas y Brasil, han mostrado disminución en el rendimiento en condiciones de monocultivo continuo, en el sistema de producción aeróbico, aunque las causas y los procesos fisiológicos responsables, aún no son bien conocidos. Los estudios reportan a los patógenos del suelo, como posibles causantes de la disminución del rendimiento (Grazzi et al., 2009; Nishizawa et al., 1971; George et al., 2002; Pinheiro et al., 2006), o sustancias tóxicas provenientes de residuos de raíces (Nishio y Kusano, 1975).

2.15 TECNOLOGÍAS ACTUALES DE MANEJO DE AGUA

Diferentes estrategias para el ahorro de agua, han sido desarrolladas en los últimos años, para incrementar la productividad y reducir las pérdidas en los sistemas de producción de arroz. El manejo de arroz en el ecosistema inundado demanda gran consumo de agua, en la preparación del suelo y el establecimiento de la lámina de agua después del trasplante, por periodos largos; en consecuencia, las pérdidas por filtración, percolación, y transpiración y evaporación son mayores (Bouman y Tuong, 2001). La búsqueda de la reducción del consumo de agua, contribuyó al desarrollo de alternativas de manejo de agua que se diseñaron para minimizar las pérdidas de los campos de arroz, tales como el cultivo en suelo saturado, alternancia de humedecimiento y secado del suelo (Peng et al., 2006).

Las técnicas que más destacan son: el sistema aeróbico de arroz, alternar el humedecimiento y secado del suelo y el cultivo de suelo saturado.

2.15.1 Técnica de humedecimiento y secado (AWD)

Por su sigla en inglés. En esta técnica, el campo se alterna con inundaciones y secas hasta un contenido de ~ 15 kPa por un cierto periodo, que depende del tipo de suelo y condiciones climáticas antes de aplicar la siguiente inundación (Bouman y Tuong, 2001; Belder et al., 2004).

2.15.2 Cultivo de suelo saturado

Es la técnica que consiste en mantener el suelo saturado, con un nivel de agua que está en o sobre la superficie del suelo (máximo 1 cm), por lo que requiere riegos ligeros y frecuentes.

Esta práctica reduce la presión hidrostática, la filtración y la percolación del suelo (Borrel et al., 1997). EL potencial del suelo es de 0 Kp , cuando el suelo está saturado. El agua es retenida por poros grandes, donde las moléculas no están fuertemente unidas por los sólidos del suelo y por lo tanto son capaces de moverse fácilmente alrededor de las raíces. Estudios realizados por Bouman y Tuong (2001); Bates et al. (2008) y Escassinas y Zamora (2011) demuestran que el cultivo de suelo saturado no sólo permitiría ahorrar el agua, sino también mantiene e incluso incrementa los rendimientos.

En la **Figura 21**, se puede observar la influencia del tipo de manejo de agua y su influencia en una mayor, o menor reducción del consumo de agua.

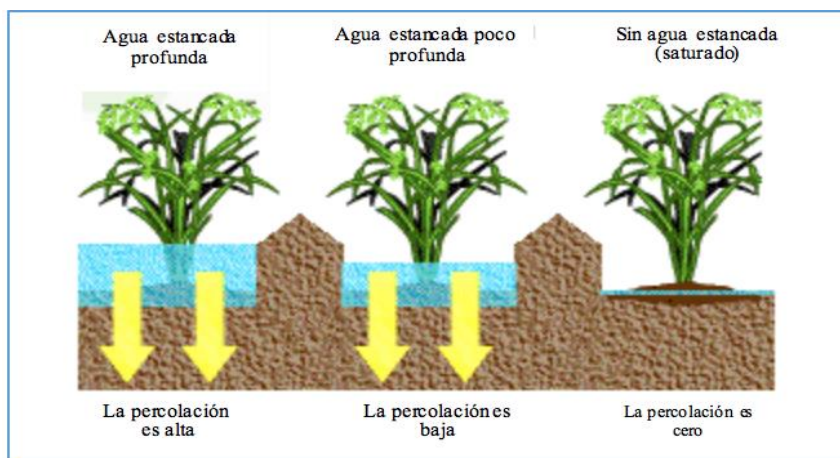


Figura 21. Tipos de manejo de agua en el cultivo de arroz y su influencia en la reducción de la percolación.

Fuente: IRRI (2007)

2.16 ADAPTACIÓN DEL CULTIVO DE ARROZ AL CAMBIO CLIMÁTICO A NIVEL MUNDIAL

Los sistemas de siembra influyen en el consumo de agua y en el rendimiento. La sustentabilidad de los ecosistemas y la habilidad para incrementar producción, reduciendo el consumo de agua y jornales son las mejores opciones para el cultivo de arroz (Pathak et al., 2011; Azmin y Baxi, 2006).

2.16.1 Adopción de la siembra directa

El arroz ha estado creciendo en el Asia desde hace más de 6000 años. A los inicios del cultivo del arroz en diferentes partes del mundo, los agricultores practicaban la siembra directa, distribuyendo la semilla directamente sobre el suelo seco o en suelo inundado. Sin embargo,

se pasó de forma muy rápida, de la siembra directa al trasplante, porque el batido asegura un adecuado número de plantas, buena retención de agua y menos problemas de malezas (Pathak et al., 2011).

En el Asia la siembra directa, se está incrementando por su mayor rentabilidad, por el alza creciente de los costos de producción en trasplante y la escasez de mano de obra. El uso de cultivares precoces, de alto vigor inicial y tolerancia a sequía, están estimulando su expansión (Balasubramanian y Hill, 2002).

En la siembra directa en suelo seco, se elimina el batido, que destruye la estructura del suelo, ocasionando la acumulación de elementos finos (arcilla) en la superficie, compactando los suelos, dificultando así su uso después de la cosecha de arroz, para siembras de leguminosas (frijol, soya) y otros cereales (maíz, sorgo). Además, tiene un mayor retorno económico, es más rápida y fácil de realizar, menor periodo de crecimiento (7 a 10 días), menor demanda de mano de obra y menor consumo de agua (Bushan et al., 2007).

En los Estados Unidos se practica la siembra en suelo seco, donde las áreas permanecen sin riego aproximadamente un mes (Pittelkow, 2014). Esta práctica resulta en una reducción de 16% al 54% de emisiones de metano; sin embargo, hasta la fecha no se tiene claro, cuáles son los mecanismos de reducción (Tabuchi, 1985). La siembra en seco, está asociada a la mecanización de la siembra y es ampliamente practicada en la producción a gran escala en los Estados Unidos. Esta práctica esta adoptándose en pequeña escala, en la producción de arroz en el nor oeste de India (Ladha et al., 2009).

El sistema al trasplante demanda mucha agua, excesivo uso de mano de obra para las labores de almácigo y trasplante. La mayor preparación de tierras y el batido de los suelos limitan el uso del transplante. Son necesarios mejores sistemas de producción, compatibles con la sustentabilidad de los ecosistemas (Pathat et al., 2011). La siembra directa requiere menos agua para el establecimiento del cultivo que el batido (Cabangon et al., 2002; Sudhir-Yadav et al., 2014).

El trasplante demanda que se mantenga una lámina de agua estática en el cultivo. Estudios en Filipinas, indicaron que la siembra directa en barro con agua continua tuvo rendimientos más altos que el trasplante convencional en 3% a 17%, respectivamente, requiriendo 19%

menos de volumen de agua. Para el caso de siembra directa en seco, se ha reportado un ahorro de 33% a 55%, sembrando en suelo no batido, con el suelo cerca de la saturación o capacidad de campo, comparado con la inundación continua (Bushan et al., 2007).

Los desafíos son conservar el ambiente, eliminar el batido de los suelos, mejorar los niveles de fertilidad, evitar la salinización y la acumulación de sulfatos. Cambiar del sistema de trasplante a la siembra directa en el Perú, es una opción viable, que mejoraría la competitividad del cultivo, incrementando la rentabilidad, que beneficiaría a los pequeños agricultores, el sector más pobre del país. La siembra directa, es una alternativa posible al trasplante, por tener un buen potencial para mitigar y adaptar al cultivo de arroz al cambio climático. Sistemas de producción sustentables de arroz, aportarían alimentación segura, sana y de alta calidad con menor impacto ambiental negativo por menor consumo de agua, fertilizantes nitrogenados y agroquímicos.

2.17 CULTIVO DE ARROZ Y EMISIÓN DE GASES DE EFECTO DE INVERNADERO

El cultivo de arroz es uno de los principales productores de gases de efecto de invernadero en el sector agrícola, por lo que es imprescindible reconsiderar su manejo para mejorar las tecnologías de producción y aproximarlos hacia la sustentabilidad, en cuanto a manejo de agua, manejo de fertilizantes, sistemas de siembra u otra alternativa, para mejorar el sistema irrigado, en el que se utiliza grandes volúmenes de agua, sin medir la producción de metano que a nivel mundial contribuye con el 18% de emisiones (Yusuf et al., 2012).

El cambio climático, también incrementaría la temperatura y los rendimientos en grano por hectárea, disminuirían. Las eficiencias de uso de nitrógeno y de agua en el futuro, serían menores de mantenerse las tecnologías actuales de producir arroz. En el sistema de riego, se generan altas emisiones de metano, que se incrementan con el uso de altos niveles de nitrógeno (Adhya et al., 2014). La producción de arroz emite 500 millones t de gases invernadero en equivalente a CO₂ y representa el 10% de la emisión total agrícola. Estudios realizados, reportan una mayor producción de metano en el sistema de trasplante (2.91 Mg ha⁻¹) versus 1.9 Mg ha⁻¹ que se produce en siembra directa (Pathak et al., 2011).

2.18 CULTIVO DE ARROZ Y CONSUMO DE AGUA

El agua es esencial para el crecimiento y rendimiento en el arroz, pero si se mantienen por muchos años los riegos de inundación permanente, el panorama es crítico, por la escasez de agua. Según O'Toole (2004), los países arroceros del Asia, no pueden continuar con riegos de inundación, por los déficit de lluvias y los impactos de sequía, que son dramáticos.

El cambio climático, coloca al cultivo de arroz en una posición vulnerable, debido a la futura escasez de agua que se puede presentar. Siendo un alimento base de la canasta familiar, es impostergable realizar investigaciones que permitan reducir el consumo de agua y mejorar la huella hídrica del cultivo, mejorando su eficiencia, con la finalidad de producir más kg de arroz cáscara por metro cúbico de agua. GRiSP (2013), reporta un rango de 0.6 a 1.6 kg y un promedio de 1.1 kg de arroz cáscara por m^{-3} . En el Perú, se tiene una eficiencia baja del agua de 0.6 a 0.7 $kg\ m^{-3}$ de agua.

Varios científicos, han estimado que, el año 2025, 15 a 20 millones de has de los ecosistemas de riego, tendrían problemas en diferentes niveles de escasez de agua (IRRI, 2013). Para solucionarlos, se han desarrollado estrategias y tecnologías y mejorar el manejo de agua y estimular rendimientos. El Irrigated Rice Research Consortium, desarrolló la tecnología de humedecimiento y secado (AWD), con lo cual el consumo de agua podría ser reducido hasta en un 30%, sin afectar rendimientos (Bouman et al., 2007).

El arroz es uno de los cultivos que más se ha beneficiado con la infraestructura de riego, recibiendo aproximadamente el 34-43 % de agua de regadío global (Bouman et al., 2006). Las nuevas tecnologías de manejo de agua, han sido consecuencia de efectos combinados de cultivares precoces, manejo de riego con humedecimiento y secado y sistemas aeróbicos de producción, como en China, donde varios millones de hectáreas se siembran con este sistema. La opción tecnológica más común en el Asia, es el de humedecimiento y secado, pero muy poca información se tiene sobre la interacción con niveles de N y cultivares (Zhang et al., 2012). El consumo de agua puede reducirse, sin afectar la productividad obtenida en suelos irrigados, a través de los riegos frecuentes, manteniendo la zona radicular en condición de suelo saturado y capacidad de campo (Sudhir-Yadav et al., 2012).

Los resultados recientes en China, indican que el manejo "aeróbico" del arroz, requiere 50% menos de agua que los sistemas de inundación continuo (470 a 650 mm), sin afectar la

productividad (64-88%) (Bouman et al., 2002). Cultivares adaptados a estos sistemas de riego se han desarrollado en China (Bouman et al., 2007). Varios países en Asia, como Bangladesh, India, Vietnam, Pakistan y otros, están aplicando esta estrategia de menor consumo de agua.

2.19 CULTIVO DE ARROZ Y MANEJO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS

El nitrógeno es el insumo más importante que limita la productividad del arroz. El principal rol del N, es incrementar los procesos fotosintéticos, que están en relación con el rendimiento en grano (Fageria, 2007). El N incrementa el número de panículas y peso de grano. Con relación a manejo de agua, con la inundación y seca, se crean las condiciones ideales para la desnitrificación. La colocación profunda del N, reduciría las pérdidas por desnitrificación en campos inundados (Fageria et al., 2011).

La dosis de nitrógeno depende del tipo de suelo, cultivar, clima, método de aplicación y el tipo de fertilizante. Sin embargo, lo más importante es considerar que el suministro del nitrógeno esté basado en el requerimiento fisiológico. El nitrógeno es el elemento que más influye en el rendimiento del cultivo, en la mayoría de suelos que se dedican al cultivo de arroz en el Perú.

La escasez de nitrógeno en las plantas de arroz, influye en la reducción del crecimiento y en el menor aprovechamiento de la radiación, por la reducción de la clorofila, reduciendo el rendimiento. El nitrógeno forma parte de las proteínas, vitaminas y sistemas enzimáticos, además de proveer alimentación a buena parte de la flora microbiana del suelo (Darwich, 2005).

La mayoría de nitrógeno, se encuentra en la materia orgánica. En los suelos cultivados, el contenido de nitrógeno puede variar entre 0.03-0.35%. De ese contenido, el 1 al 5% es inorgánico y en condiciones de ser aprovechado por la planta.

Las plantas absorben el nitrógeno en forma de amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-). Para que el nitrógeno orgánico se convierta en NH_4^+ y NO_3^- , se necesita la acción de la microflora del suelo (hongos y bacterias). El nitrógeno, en el suelo está sometido a un gran número de procesos de pérdidas, volatilización del nitrógeno amoniacal (NH_3), desnitrificación, inmovilización biológica, fijación por minerales arcillosos, lixiviación y escorrentía. Las

pérdidas por percolación son generalmente menores, a excepción de suelos de textura arenosa. Esto explica la baja eficiencia de uso del nitrógeno en los cultivos, por patrones inapropiados de fertilización y excesivo uso de nitrógeno, que favorecen la pérdida del mismo (Liu et al., 2016).

La fuente de amoníaco, es el amonio en el suelo, que se puede formar por descomposición de los materiales orgánicos en el suelo, o ser derivado de ciertos fertilizantes (urea, sulfato de amonio, amonioanhidro, fosfato diamónico), siendo la urea la fuente nitrogenada más económica a disposición de los agricultores.

2.19.1 Cantidad de fertilizantes nitrogenados utilizados a nivel mundial

El uso de los fertilizantes a nivel mundial, se ha incrementado en más de cinco veces en los últimos 50 años (IFA, 2014), como consecuencia de la expansión del área irrigada, el mayor requerimiento de fertilizantes, el uso de nuevos cultivares, y la adopción de mejores prácticas agronómicas, que han favorecido el incremento del rendimiento. La producción agrícola ha crecido 2.5 a 3 veces más en comparación a los inicios de la década de 1960s (FAO, 2011).

Las estadísticas mundiales del 2010, indican que la producción de arroz utiliza el 15% del fertilizante nitrogenado (16 Mt) a nivel global y emplea el 13% de P (5Mt) y también 13% del potasio que representa 3.8 Mt (Heffer, 2013). Como insumo el N, representa aproximadamente entre el 15 a 30% del costo de producción, en los sistemas de producción irrigado en el Asia (Moya et al., 2004; Pampolino et al., 2007). Se estima que, mejorar la eficiencia en 1%, ayudaría a ahorrar \$1.1 billones, anualmente. Reducir la pérdida de nitrógeno, ayudaría a disminuir la contaminación ambiental y bajar los costos de producción. Estas acciones deberán complementarse con el desarrollo de cultivares con alta eficiencia de uso de nitrógeno (Vijayalaksmi et al., 2013).

Se requieren mejores prácticas para mayor eficiencia de uso de nitrógeno, que incluyen: aplicar nutrientes de acuerdo a la necesidad de la planta, colocar el fertilizante correctamente para maximizar su disponibilidad y en la cantidad adecuada que optimice el crecimiento y finalmente, utilizar la fuente más adecuada. Esto se resumiría en cuatro principios básicos en un programa de fertilización: Adecuada fuente, dosis, época y lugar (IFA, 2009). Se han recomendado medidas para reducir los niveles de nitrógeno y mejorar la eficiencia como: la aplicación de nitrógeno en estados tardíos de crecimiento, como al inicio de la floración

(Peng et al., 2010), ajustar el nivel de nitrógeno basado en la lectura del contenido de clorofila (Hu et al., 2007), aplicación de fertilizantes de liberación controlada (Yang et al., 2012), usar inhibidores de la ureasa (Rogers et al., 2015), sembrar variedades altamente eficientes en el uso de nitrógeno (Zhu et al., 2016) y también se considera el uso combinado de fertilizantes orgánicos e inorgánicos (Wen et al., 2016).

2.19.2 Eficiencia de uso de nitrógeno

El uso eficiente de los niveles de nitrógeno y de las aplicaciones de fertilizantes, son importantes para incrementar la productividad y mantener la sustentabilidad del ambiente. La eficiencia de uso de nitrógeno, de acuerdo al International Plant Nutrition Institute, “*Es la ganancia en producción de grano por unidad de nutriente aplicado*” (Dobermann, 2007). Además señala, que la eficiencia puede lograrse en los cultivos de alta productividad con el uso de buenas prácticas de manejo. Vijayalakshmi et al. (2013), indican que la eficiencia de uso ha sido definida como el rendimiento en grano por unidad de nitrógeno disponible en el suelo.

Según The Crop Science Society of America (1992) citado por Fageria et al. (2008) “*La eficiencia de uso de nitrógeno es la relación de lo que sale del sistema de producción, (rendimiento económico) y lo que ingresó (fertilizante)*”. También la eficiencia de uso de nitrógeno puede ser dividida en dos partes, eficiencia de asimilación y eficiencia de utilización (Bi et al., 2009).

Han et al. (2015); McAllister et al. (2012), citados por Gómez et al. (2017), señalan a los cultivos eficientes en el uso de nitrógeno, como aquellos que pueden más eficientemente, absorber, utilizar y removilizar el nitrógeno disponible.

Fixen et al. (2005) indican que la eficiencia es un concepto para evaluar el sistema de producción de un cultivo y está influenciado por el manejo del fertilizante, así como las relaciones de suelo y el manejo de agua-planta. También reportan que la eficiencia de N-P-K en cereales mayores, es de 40 a 65% del N aplicado por año, de 30% a 50% para el K y de 15 a 25% en el caso del P, que muestra el valor más bajo. Además, reportan la importancia del balance nutricional para mejorar la eficiencia de nutrientes. Una fertilización adecuada de N-P-K, incrementa la recuperación en 54%, comparado con el 21% cuando se aplica sólo N, de acuerdo a estudios realizados en China, India y Estados Unidos.

El manejo de un nutriente en forma sustentable, debe asegurar eficiencia y efectividad que permita obtener ganancias y beneficios económicos y sociales, además de reducir el impacto negativo al ambiente, de las actividades agrícolas, que en su mayoría se relacionan con el excesivo uso de fertilizantes nitrogenados.

Existen dos principales estados de crecimiento para el uso del nitrógeno en el ciclo de vida de la planta de arroz. El primero se presenta en la fase vegetativa, en la que la asimilación de nitrógeno es predominante. El segundo se presenta en la fase reproductiva, en la que ambas, asimilación y removilización de nutrientes, son importantes (Hirel et al., 2007).

2.19.3 Perdida de nitrógeno

Estudios realizados por Liu et al. (2016), reportan que la forma en que se aplica el fertilizante nitrogenado y el tipo de suelo, afecta la distribución espacial y la absorción de nitrógeno en la planta.

Zhang et al. (2011) citado por Liu et al. (2016); señalan que la traslocación del nitrógeno, cuando se utiliza sulfato de amonio ocurre principalmente de 5 a 10 cm del suelo, cuando el nivel del nitrógeno fue tres veces más de lo necesario. En relación a la movilidad del fertilizante, esta es mayor en suelos arenosos que en los suelos limosos. Las pérdidas en suelos arenosos, por lixiviación y por escorrentía llegan a ser considerable. Beek et al. (2009), muestran resultados obtenidos en pastizales en los que se alcanzó una pérdida por lixiviación de $73 \text{ Kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ versus $15 \text{ Kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, en suelos arcillosos.

Gran parte del N aplicado, en inundación se pierde como gas a la atmósfera. Por lo general $1/3$ del N aplicado en los campos irrigados del Asia, se pierde a las dos semanas hacia la atmósfera y $1/3$ del N permanece en suelo (Buresh, 2007).

En relación a la influencia del N, en la determinación del rendimiento, los cultivares Indica, semi-enanos, pueden mostrar un mejor índice de cosecha. El número de granos muestra relación lineal con la cantidad de N aplicado (Makuno, 2011).

De acuerdo a lo señalado por Ladha et al. (2005) y Roberts (2008), la pérdida de N puede ser de 70% a 80% en condiciones de secano y de 60% a 70% en condiciones irrigadas cuando

no existe un manejo apropiado del N. En el Perú, el N aplicado como urea o sulfato de amonio, tiene una recuperación de 35-40% (Rámirez y Sánchez, 1971).

Las pérdidas de nitrógeno a partir del batido y suelo inundado son grandes y pueden llegar hasta el 60%, debido a la volatilización del amonio en condiciones de suelo inundado (De Datta, 1986; Xing y Zhu, 2000). También es frecuente la desnitrificación y puede llegar a generar pérdidas en suelo batido e inundado en un rango que puede llegar hasta el 46% del fertilizante aplicado y depende del tipo de fertilizante aplicado y el método de establecimiento del cultivo (Buresh y De Datta, 1990).

El mejoramiento de la eficiencia de uso de nitrógeno y agua, son los grandes retos de las investigaciones actuales, que han sido considerados en diferentes publicaciones como temas críticos y desafiantes (Thompson, 2012). La disminución de la fertilidad de los suelos ha planteado preocupación sobre la sostenibilidad de la productividad agrícola y ha creado incertidumbre sobre la capacidad de la agricultura, para alimentar a una población mundial en crecimiento (Gruhn et al., 2000).

2.20 CALIDAD EN ARROZ

El grano de arroz, está compuesto por la lemma y la palea (las cáscaras, que forman la cavidad donde desarrolla el endosperma y el embrión. En el interior de las cáscaras se ubican las capas que envuelven el endosperma: pericarpio, tegumento y capa de aleurona.

Los científicos en arroz, han clasificado la calidad del grano como: calidad molinera, calidad culinaria, aspectos nutricionales y apariencia (He et al., 1999). Se reconoce como un arroz de alta calidad, al conjunto de granos de arroz pilados con homogeneidad de tamaño, forma, color y translucencia, y ceñidos a los estándares de calidad indicados en las normas de comercialización. Es importante para desarrollar este punto considerar los siguientes estados del grano (**Figura 22**).

- **Arroz cáscara:** Arroz sin procesar con sus cáscaras (lemma y palea); también es conocido como arroz paddy.
- **Arroz integral:** Es el arroz que se obtiene cuando se han removido las cáscaras. También se le llama arroz moreno.

- **Arroz pulido:** Es el arroz que se obtiene una vez que el arroz integral ha sido pulado para remover el embrión y una cantidad específica de capas externas (pericarpio, tegumento y aleurona).
- **Arroz entero:** Aquellos granos de arroz que después del pulido, tienen al menos $\frac{3}{4}$ de longitud del grano original.
- **Arroz quebrado:** Aquellos granos de arroz que después de pulidos, tienen menos de $\frac{1}{4}$ de longitud del grano original.



Figura 22. Arroz cáscara o paddy (lado izq.), arroz integral (ubicación central), arroz blanco (lado der.)

En el proceso de molinería del arroz, también se obtienen sub productos (**Figura 23**):

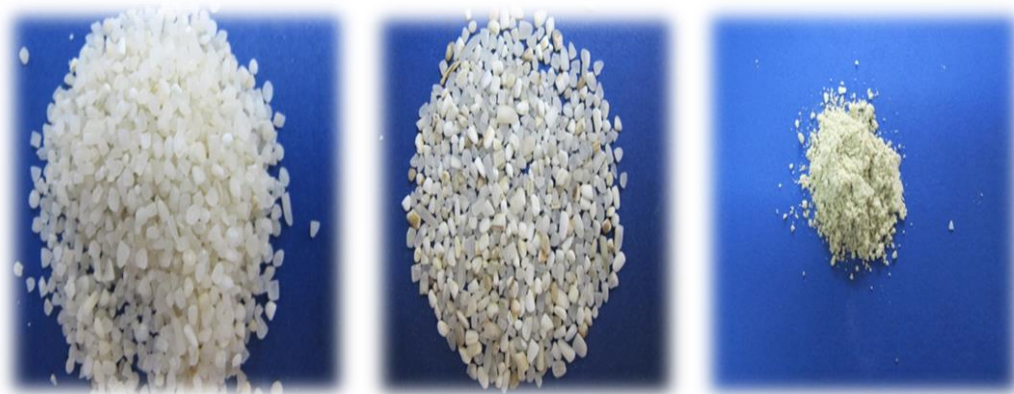


Figura 23. Subproductos que se obtienen después del molinado del arroz cáscara. Arrocillo (Lado izq.), Ñelen (central), Polvillo (lado der.)

- **Arrocillo:** Sub-producto conformado por fragmentos de granos pilados de arroz, son inferiores a 1/4 del tamaño del arroz.
- **Ñelen:** Está conformado por fragmentos de granos de arroz pilado de 1 a 2 mm de tamaño.
- **Polvillo:** Conformado por el pericarpio, tegumentos y capa de aleurona de los granos de arroz, que se eliminan en el pilado.

2.20.1 Calidad molinera

La calidad molinera del arroz está determinada por el rendimiento y apariencia del arroz después del proceso de pilado. El primer paso del pilado, consiste en retirar la lemma y la patea y se obtiene el arroz integral. Después es pulido y se eliminan las primeras capas (pericarpio, tegumento y capa de aleurona). Este pulido es mediante fricción o abrasión. Las fuerzas que actúan sobre la superficie del grano, generan tensiones que pueden provocar la rotura del grano, produciendo granos enteros y quebrados.

El rendimiento de pilado es el rendimiento en arroz pilado (arroz blanco) obtenido del arroz cáscara o paddy, referido como el rendimiento total (incluye granos enteros y quebrados). El rendimiento de molinería se calcula de la siguiente manera:

$$RM = \frac{\text{Peso del arroz pilado}}{\text{Peso del arroz cáscara}} \times 100$$

El arroz entero comprende los granos de arroz pilado que tienen al menos $\frac{3}{4}$ de longitud del grano original y es referido como grano entero.

El rendimiento de arroz entero (RAE), es el porcentaje de peso del arroz cáscara del que se obtiene el arroz entero.

$$RAE = \frac{\text{Peso del arroz pilado entero}}{\text{Peso del arroz cáscara}} \times 100$$

- **Factores que afectan la calidad molinera**

La mayor o menor susceptibilidad al quebrado, depende de la resistencia del grano al proceso de pilado. Los factores que afectan a esta resistencia son factores genéticos, el tipo de grano, los largos y delgados quiebran más que los granos medianos; los cultivares tizosos quiebran más que los traslucidos. Ataques de enfermedades (*Pyricularia grisea*, *Rhizoctonia solani*) insectos (*Tibraca* sp. *Oebalus* sp.), etc.

Otro factor, es el contenido de humedad de grano a la cosecha, que varía por su ubicación en la panícula. En la panícula pueden existir granos sobremaduros, maduros e inmaduros, dependiendo de la ubicación del grano en la panícula y en la ramificación. Los granos inmaduros o verdes suelen tener una humedad mayor a 22% versus los maduros que se encuentran por debajo de 16%. Los granos inmaduros son débiles y a menudo se quiebran durante el molinado. También existen fisuras, que se generan por la absorción de humedad durante las noches y secado de los granos, en el día.

Las formaciones tizosas están determinadas por características genéticas del cultivar, las temperaturas nocturnas altas, que las incrementan, y la tumbada de las plantas a la floración (**Figura 24**).

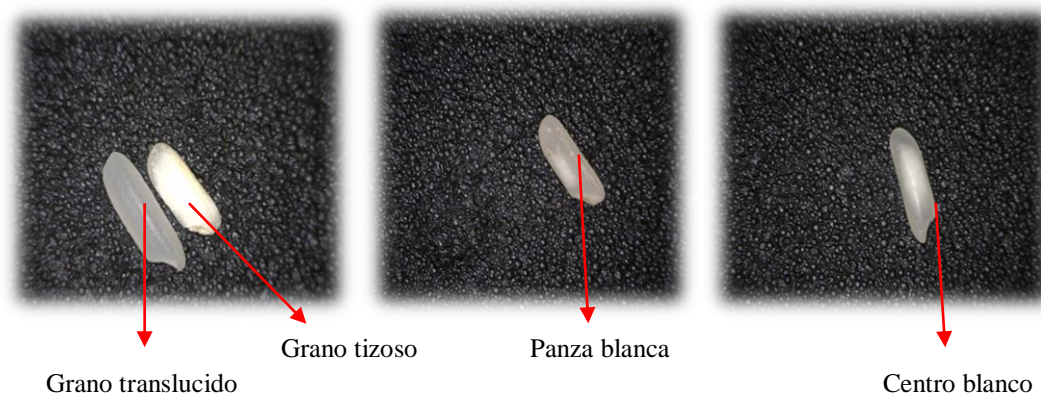


Figura 24. Grano translucido y diferentes formaciones tizosas que se presentan en granos de arroz pilado

2.20.2. Calidad culinaria

La calidad culinaria se refiere al comportamiento del arroz después de la cocción. Esta valoración no es única, sino depende del hábito cultural dentro de las regiones de cada país

y entre los diferentes países. Atributos deseables en la cultura occidental son indeseables para la cultura oriental. Los parámetros de evaluación de la calidad culinaria están relacionados con la composición del almidón y con parámetros bio-químicos como: contenido de amilosa, temperatura de gelatinización, crecimiento del grano y aroma.

Los atributos reconocidos en la cultura occidental se refieren a los arroces graneados secos, de textura suave, con mayor absorción de agua, blancura y tolerancia a la sobre cocción. La cocina oriental reconoce a los arroces pegajosos, con brillo y blancura.

a. Contenido de amilosa

El almidón del endosperma del arroz, está formado por dos fracciones, amilosa y amilopectina. La relación entre ambas determina propiedades del arroz, durante y después la cocción. De acuerdo a lo señalado por Kumar y Khush (1987), el porcentaje de amilosa, se puede clasificar en: Arroces de alto contenido de amilosa (>25%), intermedio (20-25%), bajo (10-19%), muy bajo (3-9%) y glutinosos (0-2%). Los de alto contenido se caracterizan por permanecer secos y sueltos después de la cocción, absorben mayor cantidad de agua y tienen un mayor volumen después de la cocción, pero la desventaja es que, al enfriarse, se endurecen. Se prefieren en occidente, porque no se desintegran a pesar del exceso de cocción.

b. Temperatura de gelatinización

Es una propiedad física del almidón y es el rango en que los gránulos de almidón se hinchan irreversiblemente en agua caliente. La temperatura del ambiente durante la maduración del grano, influye en esta característica. Este indicador de calidad, es económicamente importante porque influye en un menor tiempo de cocción y en un mayor ahorro de energía (Fitzgerald et al., 2009 b) Ambientes con alta temperatura, favorecen a un comportamiento del almidón con alta temperatura de gelatinización. Los cultivares de arroz pueden tener baja (55-69°C), intermedia (70-74 °C) o alta (75-79 °C) temperatura de gelatinización (Jennings et al., 1979; Juliano y Pascual, 1980; Juliano, 2002; Walters et al., 2006).

c. Consistencia del gel

Permite establecer diferencias entre cultivares con un mismo contenido de amilosa.

d. Crecimiento de grano

Algunos cultivares aumentan más en tamaño que otros, en la cocción. El crecimiento en longitud es una característica deseable en arroces de calidad.

e. Aroma

Es una característica de los arroces tipo Basmati de la India y Pakistan, Khao Dawk Mali de Tailandia, Azucena y Milflor de Filipinas, Duklhablog de Bangladesh. Está determinado por el contenido de 2 acetyl-1 pirrolina, que desprende aroma durante la cocción. En el Perú los cultivares que se siembran no son aromáticos.

2.21 ANÁLISIS DE LOS AGRICULTORES A TRAVÉS DEL ENFOQUE DE TIPOLOGÍAS

La pequeña y mediana agricultura nacional es variable y se desenvuelve en contextos muy diversos y con diferente grado de articulación con el mercado (GRADE, 2015), por lo que es imprescindible conocer la diversidad existente entre los agricultores, para promover la formulación de políticas de estado que favorezcan el desarrollo y propuestas tecnológicas que favorezcan sistemas de producción amigables con el ambiente, tomando en cuenta las diferencias en las características físicas, socioeconómicas y tecnológicas y, de esta manera, contribuir a la sustentabilidad del cultivo de arroz.

El análisis de los agricultores utilizando el enfoque de tipologías, ayuda a identificar las diferencias de tipo social y productiva en el campo para definir estrategias *sui generis* de inserción al proceso productivo, para cada grupo diferenciado, considerando sus potencialidades. Los diferentes estudios concluyen que los agricultores son altamente heterogeneos y es necesario buscar propuestas y soluciones adecuadas para cada una de las categorías de agricultores (Defumier, 1990; GRADE, 2015). La tipificación es una herramienta metodológica, capaz de visibilizar la diversidad existente, en un sistema de producción (Escobar y Berdegú, 1990).

Berdegú (1991), indicó, que es un error establecer estrategias de desarrollo bajo la concepción de la homogeneidad del campesinado. La realidad que se observa en el campo es la diversidad, por lo que es necesario tipificarla para visualizar, analizar y comprender la agricultura que se desarrolla en una zona en especial.

La tipificación, también nos aproximaría a identificar la posibilidad de adopción de las tecnologías que se proponen y al tipo de agricultor que sería más propenso a la adopción. La adopción de una nueva tecnología, puede variar por los ingresos económicos, debido a las diferencias en las características socio-económicas (Milan et al., 2006). Se han desarrollado

tecnologías con un gran potencial y no son aceptadas, sobretodo por pequeños agricultores, debido a que las tecnologías propuestas no se ajustaban al sistema heterogéneo que existe en los pequeños agricultores (Goswani et al., 2014).

Esa variabilidad inherente en los pequeños agricultores, influye en su respuesta a las varias tecnologías que principalmente mejorarían la productividad de su predio y el manejo de los recursos naturales (Lal et al., 2001; Emtage y Suh, 2005).

2.21.1 Tipificación de los productores arroceros del Perú

De acuerdo al estudio de tipificación realizado en la costa norte, por Gorriti (2003), refiere que el cultivo de arroz es muy importante y presenta una rentabilidad promedio alta, sin embargo presenta resultados negativos en los agricultores que desarrollan una tecnología baja. Para el caso de la productividad del agua, la tecnología alta suele ser más eficiente en el uso y se presenta una diferencia entre ambas tecnologías de 5000 m³ por ha.

El Censo Nacional Agrario (INEI, 2012), indica que existen 70,377 productores arroceros en el Perú, cifra muy por debajo a lo señalado por la Asociación Peruana de Productores de arroz (APEAR) y la Asociación Peruana de Molineros Arroceros (APEMA) que señala que son 140,000 y 150,000, respectivamente. El 80% de estos productores son pequeños agricultores, que se dedican a la agricultura familiar, con un acceso limitado al crédito formal por su escasa economía o por estar descapitalizados. Para iniciar la siembra de arroz, tienen que acceder a que los molineros les habiliten con insumos para la campaña, los mismos que se entregan con la condición que la cosecha sea procesada en su molino.

Estos pequeños agricultores presentan una gran heterogeneidad en las tecnologías y formas de producción, debido a las diferencias que existen en aspectos socio-económicos, acceso a tecnologías y el ambiente.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 EVALUACIÓN DE FORMAS DE APLICACIÓN Y NIVELES DE NITRÓGENO PARA LA SUSTENTABILIDAD DEL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) EN CONDICIONES DEL VALLE JEQUETEPEQUE

En este experimento se estudiaron tres formas de aplicación de fertilizantes (incorporada al suelo vs la aplicación sobre lámina de agua, que es la más generalizada en el cultivo de arroz) y cuatro niveles de N (0, 120, 240 y 320 Kg N ha⁻¹), usando como fuente nitrogenada urea y como cultivar IR-43.

3.1.1 Ubicación del experimento

La Investigación se realizó en el valle Jequetepeque, en la Región La Libertad, provincia de Pacasmayo, distrito de San José, durante la campaña 2015-2016. Su ubicación geográfica es, 07° 20' 58" de latitud Sur y 79° 27' 26" de longitud Oeste, a una altura de 106 metros sobre el nivel del mar. La ubicación del campo experimental se indica en la **Figura 25**.

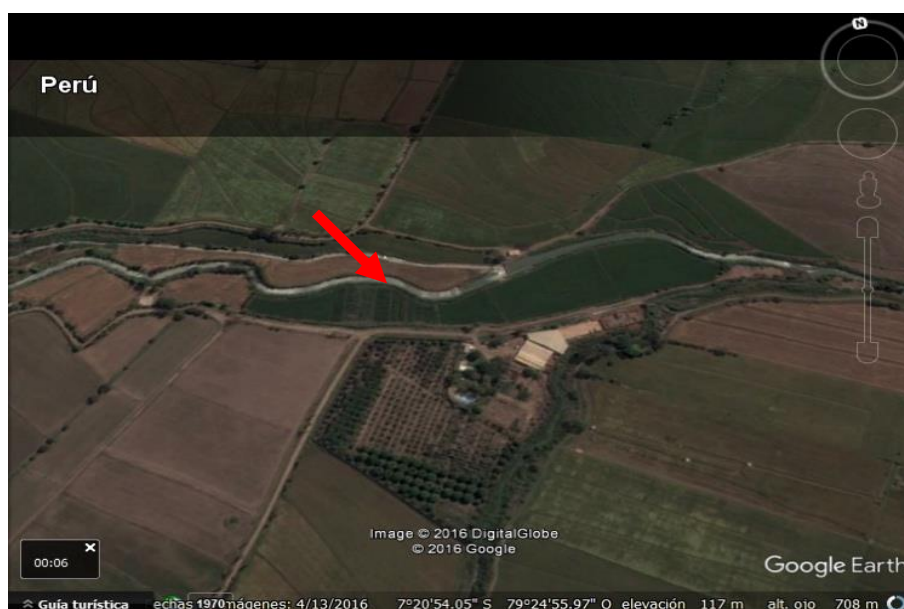


Figura 25. Ubicación del campo experimental.

3.1.2 Características del suelo

Se presentan en el **Cuadro 5**. La textura del suelo es franca, con un contenido bajo de materia orgánica (1.06%), característico de los suelos de la costa. El pH es ligeramente ácido a neutro, lo que permite inferir que existe una adecuada disponibilidad de macronutrientes para la planta. En relación al contenido de fósforo, se observa una disponibilidad alta en el suelo (24.6 ppm), y potasio tiene una disponibilidad media (141 ppm).

Cuadro 5. Análisis de suelo del Fundo Luzben, valle Jequetepeque, 2016

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

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

Análisis realizado en el Laboratorio de Análisis de suelos, agua y plantas. UNALM (2016)

3.1.3 Características climáticas

En el **Cuadro 6**, se muestran los datos de temperatura y radiación solar, durante la conducción del experimento.

Cuadro 6. Datos meteorológicos de temperatura y radiación solar durante la conducción del experimento. Año 2016

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

Fuente: Fundo Agrícola Cerro Prieto (2016).

La información meteorológica fue obtenida de los registros de la Estación meteorológica del Fundo Agrícola Cerro Prieto, ubicada a 39 km del área experimental. La temperatura máxima fue 31.6°C y se presentó en el mes de marzo y la temperatura mínima fue 16.4°C, en el mes de junio. Los mayores valores de radiación acumulada se observaron en los meses de marzo y abril, 27 389 Watts m⁻² por mes y 25 694 Watts m⁻² por mes, respectivamente.

3.1.4 Materiales y equipos

Materiales:

- Semillas del cultivar IR-43
- Centímetro, wincha, bolsas de plástico, bolsa de papel, cordeles marcados, libreta de campo, etiquetas de campo, mantas de polipropileno, sacos de polipropileno, fertilizantes, herbicidas, pesticidas.

Equipos:

- Implementos: arado, rastra, rufa de 12”, paletas batidoras, paletas niveladoras , mochila de fumigación , hoces, lampa, machetes, determinador de humedad, balanza, estufa, vernier, molino de prueba para molinería de arroz, marca Zaccaria, cámara fotográfica.

Maquinaria:

- Tractor

3.1.5 Características del cultivar IR-43

El cultivar utilizado fue IR-43, desarrollado por el International Rice Research Institute (IRRI) de las Filipinas, introducido en el año 1992, por la Compañía Arrocería del Sur. Este material genético, está adaptado a las condiciones de la costa peruana y puede ser sembrado en siembra directa e indirecta (trasplante). Este cultivar es el más sembrado en los valles de la costa, desde Tumbes, Chira, Chancay, Jequetepeque, Santa y los valles de Camaná y Majes en Arequipa.

Es un cultivar semienano, con buen potencial de rendimiento (10-12.5 t ha⁻¹). El rendimiento de molinería es de 70% con 55 a 60% de grano enteros; sin embargo cuando la temperatura es alta en la fase de maduración, se incrementa el porcentaje de granos quebrados. Tiene

demanda por los molineros, por adaptarse al proceso de envejecimiento² y por su aceptación por los consumidores, siendo suave al enfriarse, después de cocido.

La desventaja del cultivar IR-43, es la susceptibilidad a insectos y enfermedades, que afectan la productividad del cultivo. Entre las plagas más importantes se pueden mencionar a mosca minadora (*Hydrellia wirthii*), lombriz roja (*Chironomus xanthis*). En relación a las enfermedades, en las últimas campañas IR-43 ha sido severamente afectado por el virus de la hoja blanca (VHB) que es transmitido por el insecto vector *Tagosodes orizicolus*, y por el “Quemado” causado por *Pyricularia grisea*, la pudrición al tallo (*Nakataea sigmoideum*) y la pudrición a la vaina (*Tanatephorus cucumeris*).

En el **Cuadro 7** se pueden observar características propias del cultivar.

Cuadro 7. Características agronómicas del cultivar IR-43

Rendimiento potencial (t ha ⁻¹)	10- 12.5
Altura de planta (cm)	85-104
Días a la maduración de grano	149-150
Tamaño de la panícula (cm)	21.7-23.0
Número de granos llenos panícula ⁻¹	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
<i>Pyricularia grisea</i>	Susceptible
<i>Tagosodes orizicolus</i>	Susceptible
<i>Hydrellia wirthii</i>	Susceptible

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

² El envejecimiento es un proceso complicado que involucra cambios en las propiedades físicas y químicas del grano de arroz. El almidón, proteínas y lípidos son los principales componentes y estos afectan la calidad culinaria y palatabilidad. En general estos componentes no cambian durante este proceso, pero sí ocurren cambios estructurales. Estos cambios afectan la pegajosidad del grano, las propiedades del gel, sabor y textura del grano cocinado.

3.1.6 Diseño experimental

Se empleó un diseño de parcelas divididas en bloques randomizados con tres repeticiones. En parcelas se ubicaron las formas de aplicación: voleo e incorporación y en sub-parcelas, los niveles de N.

3.1.7 Modelo aditivo lineal

$$Y_{ijk} = u + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + E_{ik} + E_{ijk}$$

$$i = 1, 2, 3 \quad j = 1, 2, 3, 4 \quad k = 1, 2, 3,$$

Donde:

Y_{ijk} = Es el valor observado con el i -ésimo nivel del factor A, j -ésimo nivel del factor B, k -ésima repetición.

u = Es el efecto de la media general.

α_i = Es el efecto del i -ésimo nivel del factor A.

β_j = Es el efecto del j -ésimo nivel del factor B.

γ_k = Es el efecto del k -ésimo bloque.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Es el efecto de la interacción en el i -ésimo nivel del factor A, j -ésimo nivel del factor B.

E_{ik} = Es el efecto del error experimental del factor A, $E_{(a)}$.

E_{ijk} = Es el efecto del error experimental en el i -ésimo nivel del factor A, j -ésimo nivel del factor B, k -ésima repetición, $E_{(b)}$.

Los análisis estadísticos fueron analizados con el Programa Statical Analisis System (SAS). Se usó la prueba de significación Duncan al 0.05%.

3.1.8 Caracterización de los tratamientos

- **Forma 1** (incorporación del 100 % de la dosis de N a la preparación del suelo).
- **Forma 2** (incorporación del 50% de la dosis de N a la preparación de los suelos y el 50% restante voleado en lámina de agua al inicio del primordio floral)
- **Forma 3** (voleo del 50% de la dosis a los 15 días después del transplante y el 50% restante al inicio del primordio floral. El voleo de la urea en los dos momentos se realizó con lámina de agua, como se hace en forma tradicional en los campos de agricultores.

En el **Cuadro 8**, se indica el fraccionamiento de los niveles de N por tratamiento y en la **Figura 26** se observa del croquis de campo.

La incorporación del fertilizante nitrogenado (urea 46% N), se realizó entre 0.10 a 0.15 m de profundidad en suelo seco, en hileras colocándose la urea en el fondo, que luego fueron cubiertas con tierra.

Cuadro 8. Formas de aplicación y niveles de aplicación de N en Kg ha⁻¹

Formas	Niveles de Nitrógeno Kg ha ⁻¹			
	N1=0	N2=120	N3=240	N4=320
F1 Incorporado 100% (I 100 PS)	0	120	240	320
F2 Incorporado 50% al suelo + voleo del 50% restante al inicio del primordio floral ,IPF (I 50 PS + V 50 IPF)	0	60	120	160
	0	60	120	160
F3 50% al voleo a los 15 días después del trasplante + 50% al inicio del primordio floral-IPF (V 50 15 DDT+ V 50 IPF)	0	60	120	160
	0	60	120	160

Las dimensiones por sub-parcela fueron de 3 x 5 m., como se puede observar en el croquis de campo en la Figura 26.

3.1.9 Características del campo experimental

1. Diseño	D.B.C.A con arreglo en parcelas divididas
2. Tratamientos	12
3. Número de repeticiones	3
4. Número de parcelas/ repetición	3
5. Número de sub parcelas por parcela	4
5. Área total de la sub-parcela (5x3 m)	15 m ²
6. Área total de parcela (15 x 4)	60 m ²
7. Área total de la repetición	180 m ²
8. Área total del experimento (22.50 x 43.50 m)	934 m ²

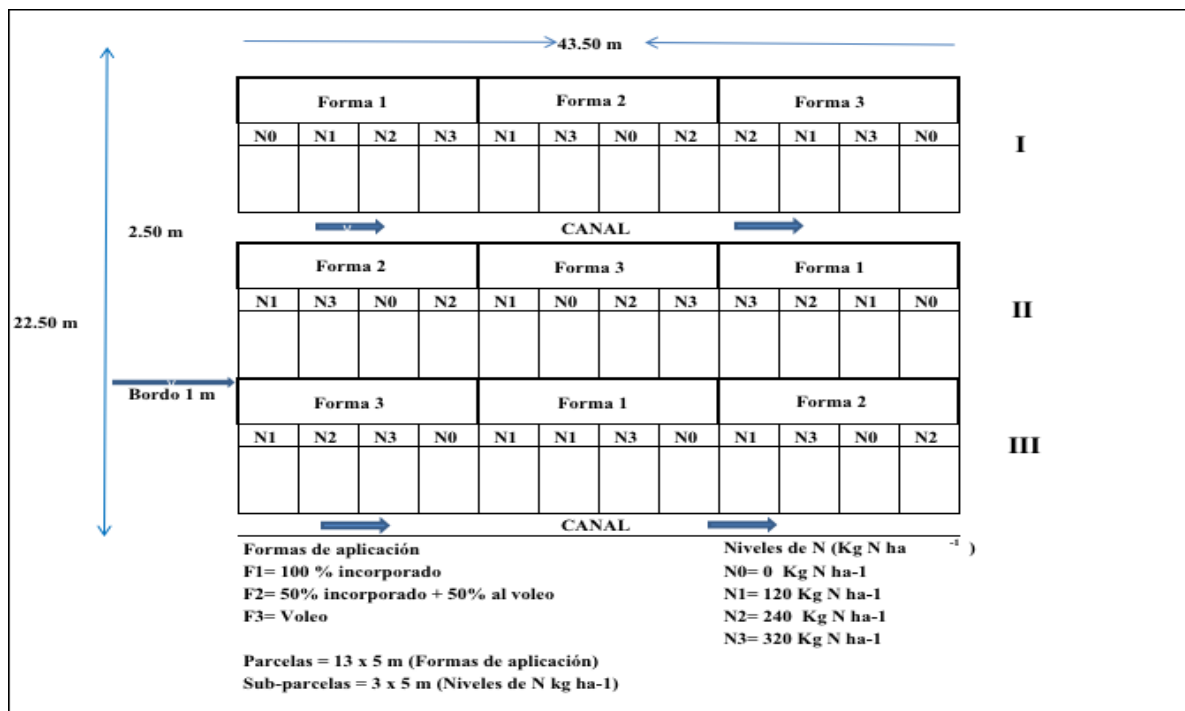


Figura 26. Croquis del experimento

3.1.10 Manejo agronómico

Las aplicaciones de N incorporado, se realizaron en suelo seco, en hileras a 0.25 m de separación. La urea se aplicó en el fondo de la hilera y se cubrió con tierra en forma manual. Las aplicaciones de fósforo y potasio, con dosis de 80 kg de K_2O ha⁻¹ y 80 kg de P_2O_5 ha⁻¹, fueron realizadas en suelo seco, antes del rayado, voleado en la superficie de cada sub-parcela y cubierto con 5 a 10 cm de suelo mullido con pala. Después de la aplicación de los fertilizantes, cada sub-parcela fue inundada, luego se realizó el trasplante, sin batir el suelo.

El sistema de siembra fue el trasplante, con plántulas de 30 días de edad, colocando 4 a 5 plántulas por golpe a 0.25 m de distanciamiento entre golpes, en hileras de 5 m. La densidad fue de 16 golpes por m². Los riegos fueron de inundación continua y se llevó a cabo en forma independiente por cada sub parcela.

a. Control de malezas

Se realizó con herbicidas pre emergentes en almácigo (bentiocarbo 6 g m⁻² del producto comercial Saturn 5G) y 3 l ha⁻¹ de Butaclhor, producto comercial Machete, aplicado entre uno a cinco días después del trasplante.

b. Cosecha

La cosecha se realizó de manera individual por sub-parcela en un área de 8 m² netos, en forma manual, cuando los granos tuvieron entre 16% a 17% de humedad. Los rendimientos fueron ajustados a 14% de humedad.

Las muestras para determinaciones de materia seca se tomaron en las hileras de los contornos, de las sub-parcelas.

3.1.11 Variables evaluadas

Durante el crecimiento y desarrollo de las plantas, se realizaron las siguientes evaluaciones:

a. Determinación de biomasa

Se realizó 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 en estufa a 70°C hasta peso constante.

b. Altura de planta

Se evaluó en cinco puntos por sub parcela en dos repeticiones.

c. Índice de cosecha

Se determinó en cuatro golpes competitivos a la maduración. Se separó el grano de la paja y ambos se secaron a estufa a 70°C a peso constante. No se incluyó las raíces.

d. Rendimiento

Se obtuvo en un área neta de 8 m² por sub parcela y fue ajustado al 14% de humedad.

e. Componentes de rendimiento

Número de panículas por metro cuadrado. Antes de la cosecha, se determinó el número de panículas en 16 golpes al azar por sub parcela.

Número de granos por panícula. Se tomó 10 panículas al azar de cada sub parcela y se determinó el número de granos totales.

Peso de 1000 granos. Se tomaron 1000 granos llenos al azar por cada tratamiento y se pesaron en una balanza analítica.

f. Análisis de proteínas en los granos

Se determinó el contenido de nitrógeno en los granos pilados (sin cáscara), en el Laboratorio de suelo de la UNALM. El porcentaje de nitrógeno se multiplicó por el factor 6.25, para determinar la proteína (Método de Kjeldhal).

g. Cálculos de la eficiencia de uso de nitrógeno – EUN

La eficiencia de uso de nitrógeno es la medida de la ganancia en producción de grano, por unidad de nutriente aplicado (Dobermann, 2007).

Eficiencia agronómica – EA. Son los kg de aumento en la producción en grano por Kg de nitrógeno aplicado. La fórmula usada fue:

Eficiencia agronómica:	$\frac{\text{Rdto (nivel de N)} - \text{Rdto (nivel 0 de N)}}{\text{Nivel de Nitrógeno aplicado}}$
-------------------------------	--

Eficiencia fisiológica – EF. Son los Kg de aumento de la producción por Kg de aumento en la absorción de nitrógeno. La fórmula usada fue:

Eficiencia fisiológica:	$\frac{\text{Rdto (nivel de N)} - \text{Rdto (nivel 0 de N)}}{\text{N absorbido (nivel de N)} - \text{N absorbido (nivel 0 de N)}}$
--------------------------------	---

Factor parcial de productividad – FPP. Se define como el rendimiento del cultivo por nivel de fertilizante aplicado. La fórmula usada fue:

Factor parcial de productividad:	$\frac{\text{Rdto (nivel de N)}}{\text{Nivel de N aplicado}}$
---	---

h. Calidad molinera

Se determinó en base al rendimiento de granos (enteros y quebrados) después del proceso de pilado. El primer paso de la molinería, consiste en retirar la lemma y la patea y se obtiene el arroz integral. Después es pulido eliminándose las primeras capas (pericarpio, tegumento y capa de aleurona). Este pulido es mediante fricción o abrasión. Las fuerzas que actúan sobre la superficie del grano generan tensiones que ocasionan la rotura del grano, obteniéndose granos enteros y quebrados.

Para realizar esta evaluación, se utilizó un molino de prueba Zaccaria (**Figura 27**), en un proceso sistematizado. Las muestras de 100 g de arroz cáscara, se colocaron en la tolva de alimentación. Esta muestra pasó a la descascaradora por 15" y luego a la pulidora (60"). Los granos pulidos se clasifican en el cilindro de alveolos, que separa granos enteros y quebrados. Finalmente se pesan los granos enteros y quebrados y se obtiene el rendimiento de molinería total.



Figura 27. Molino Zaccaria

El rendimiento de molinería se expresa en porcentaje, relacionando el rendimiento en arroz molinado (arroz blanco) obtenido del arroz cáscara o paddy (**Figura 28**) y a menudo referido como el rendimiento total (incluye granos enteros y quebrados). El rendimiento de molinería se calcula de la siguiente manera:

$$RM(\%) = \frac{\text{Peso del arroz pilado}}{\text{Peso del arroz cáscara}} \times 100$$

El arroz entero comprende los granos de arroz pilados que tienen no menos de $\frac{3}{4}$ de longitud del grano original y a menudo es referido como grano entero.

El rendimiento de arroz entero (RAE), es el porcentaje de peso del arroz cáscara del que se obtiene el arroz entero.

$$RAE (\%) = \frac{\text{Peso del arroz pilado entero}}{\text{Peso del arroz cáscara}} \times 100$$



Figura 248. Arroz cáscara, arroz, integral y arroz pilado

- **Apariencia del grano**

La apariencia del grano está determinada por la opacidad del endosperma, que está en función de la cantidad de formaciones tizosas, como panza blanca, dorso blanco, centro blanco y la condición del hoyo (cavidad que deja el embrión cuando se pule el grano) (**Figura 38**). Los granulos de almidón en las áreas tizosas son menos compactas que las translúcidas y los granos con estas formaciones son más propensos a quebrarse durante el proceso de pilado.

- **Índice de traslucencia**

Es una prueba que se realizó con la finalidad de evaluar la cristalinidad de los granos en el lote de arroz molido. Un valor igual o menor a 0.7, nos indica una apariencia excelente. Las formaciones tizosas, reciben diferentes nombres (**Figura 29**).

Para determinar este índice, se tomaron 20 granos al azar y se clasificaron de acuerdo a la escala que se indica en el **Cuadro 9**. Una vez clasificados, se anotó el número de granos que correspondía a cada una de las formaciones opacas (**Cuadro 10**).

Después se multiplicó el valor de la escala que tuvo la formación tizosa, por el número de granos que tuvieron esa formación tizosa y se consigna el valor. Se sumaron los productos y se obtuvo el promedio (en función al total de granos evaluados, para el ejemplo: 20). Cuanto más bajo es el valor más trasluciente es la muestra evaluada (Un valor igual o menor a 0.7, nos indica una apariencia excelente). El promedio nos indica el índice de formaciones opacas. Esta evaluación se realizó en 4 repeticiones. La presencia de formaciones tizosas son favorecidas por las temperaturas nocturnas altas, elevadas dosis de nitrógeno, etc.

Cuadro 9. Escala para clasificar granos tizosos en base al área afectada

Escala	Clasificación del grano en base al tipo de formación tizosa
0	Grano Translucido
1	Grano con mancha difusa
2	Grano con dorso blanco
3	Grano con centro blanco
4	Grano con panza blanca
5	Grano completamente tizoso

Fuente: CIAT, 1983

Cuadro 10. Ejemplo para determinar el índice de traslucencia

Cultivar	Escala						Suma	Promedio
	0	1	2	3	4	5		
IR-43	0	1	2	3	4	5		
Nº de granos	9	0	0	3	2	6		
Multiplicar	0*9	0*1	0*2	3*3	4*8	6*5	71/20	3.55

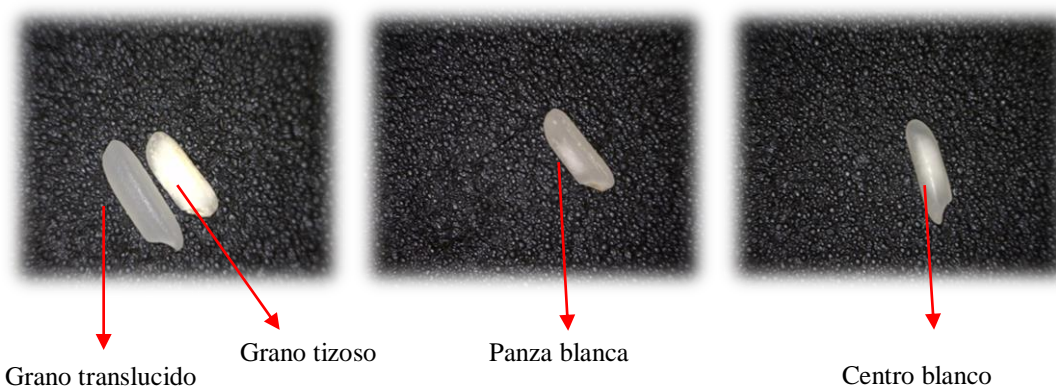


Figura 29. Grano translucido y diferentes formaciones tizosas que se presentan en granos de arroz

i. Calidad culinaria

La calidad culinaria se refiere al comportamiento del arroz después de la cocción. Esta valoración depende del hábito cultural de las regiones de cada país y entre los diferentes países.

a. Prueba de cocción

Para realizarla se utilizó una olla arrocera. Se midió una taza de arroz y se utilizó el mismo volumen de agua. Se colocó la taza de agua a la olla arrocera y se esperó que hierva. Se vertió el arroz y se movió con una cuchara y se tapó la olla. A los 15 minutos se observó la cantidad de agua y el estado de cocción del grano de arroz. Las adiciones de agua se midieron y registraron para tener el consumo total.

b. Evaluación de alargamiento del grano

Después de la cocción algunos cultivares pueden presentar alargamiento de los granos durante la cocción. Se midió la longitud de 10 granos de arroz pilado, y después de la cocción se midieron 10 granos (**Figura 30**). La diferencia de tamaño dividido entre el tamaño del grano crudo, indica el grado de expansión del grano. Se expresó en porcentaje.



Figura 30. Medición de grano crudo y cocido

c. Prueba de dispersión alcalina

La prueba de dispersión alcalina permite estimar la temperatura de gelatinización. Se colocaron 10 granos enteros de arroz pulido en una placa petri pequeña (**Figura 31**) con 10 ml de solución de KOH al 1.7%, la cual se dejó en reposo por 23 horas en horno a 30°C. Los granos con temperatura de gelatinización baja se disuelven completamente, los de clase intermedia se disuelven parcialmente y los de alta no son afectados por el álcali. Esta dispersión se determinó en base a una escala de 1 a 7 (**Cuadro 11**).

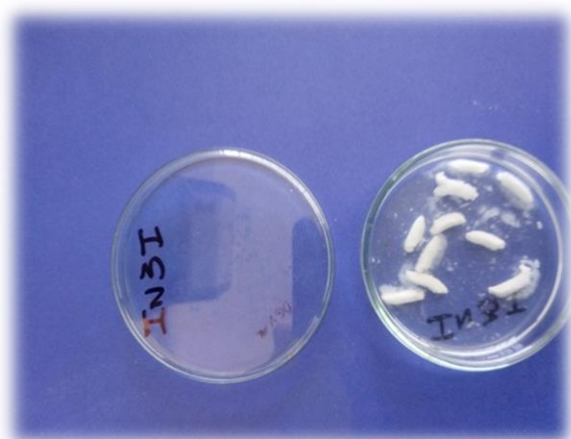


Figura 31. Evaluación de la dispersión alcalina

Cuadro 11. Escala para la evaluación de temperatura de gelatinización a través de la prueba de dispersión alcalina

Escala	Descripción	Grado de dispersión alcalina	Temperatura de gelatinización
Grado 1	Grano inalterado	Baja	Alta
Grado 2	Grano hinchado		
Grado 3	Grano hinchado con fisuras leves	Baja-intermedia	Alta-intermedia
Grado 4	Grano un poco agrietado, con un halo blancuzco alrededor		
Grado 5	Grano totalmente abierto, en ocasiones formando una gran masa	Intermedia	Intermedia
Grado 6	Grano totalmente abierto, en ocasiones formando una gran masa	Alta-intermedia	Baja-intermedia
Grado 7	Grano totalmente desintegrado	Alta	Baja

Fuente: CIAT (1983)

j. Análisis económico a través de metodología de presupuesto parciales

El análisis económico a través de presupuestos parciales, tiene como base la diferencia entre ingresos y costos variables para hallar las diferencias entre ingresos y costos variables y poder reconocer la diferencia de un tratamiento y otro en un mismo experimento. Esta metodología, tiene la virtud de requerir información básica y obtener conclusiones importantes (Perrin et al., 1976; Calvo y Siman, 1993). La metodología de presupuesto parcial propuesta por el CIMMYT (1988) se utiliza para analizar económicamente los resultados experimentales agrícolas. Según esta metodología los rendimientos se deben reducir al 5%, porque son más altos que los obtenidos por los agricultores.

Para determinar el ingreso bruto se multiplicó el rendimiento obtenido en cada tratamiento por el precio de arroz cáscara, que en esta ocasión fue de S/ 1300 por tonelada de arroz cáscara. Los costos variables fueron los gastos realizados en la adquisición de urea y su aplicación en el campo. El precio de kilogramo de nitrógeno fue de S/ 3.91 y el valor del jornal fue de S/ 50 soles. Los beneficios netos se determinaron, sustrayendo los costos variables de los gastos netos.

Análisis de Dominancia: Para llevar a cabo la dominancia, los tratamientos se ordenan de menor a mayor rendimiento. Se concluye que un tratamiento es dominado, cuando al pasar de un tratamiento a otro, no incrementa los beneficios netos. Es no dominado, sí al pasar de un tratamiento a otro los beneficios aumentan.

3.2 COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA Y TRASPLANTE EN EL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) EN CONDICIONES DEL VALLE JEQUETEPEQUE

Se evaluó el sistema de siembra directa vs el sistema de trasplante, en las condiciones de riego de la costa norte (valle Jequetepeque), con el cultivar más sembrado (IR-43) para determinar las potencialidades de la siembra directa.

3.2.1 Ubicación del experimento

La investigación se realizó en el Fundo Luzben, valle Jequetepeque, Región La Libertad, provincia de Pacasmayo, distrito de San José, durante la campaña 2015-2016. La ubicación geográfica, del fundo es 07° 20' 58" de latitud Sur y 79° 27' 26" de longitud Oeste, a una altura de 106 metros sobre el nivel del mar. La ubicación del campo experimental se indica en la **Figura 32**.

3.2.2 Características del suelo

En el **Cuadro 12**, se presenta el análisis del suelo del área en que se ejecutó el experimento. La textura del suelo fue franca, con un contenido bajo de materia orgánica (1.06%), característico de los suelos de la Costa. El pH es ligeramente ácido a neutro lo que permite inferir que existe una adecuada disponibilidad de macronutrientes para la planta. En relación al contenido de fósforo, se observa una disponibilidad alta en el suelo (24.6 ppm), y disponibilidad media (141 ppm) de potasio.



Figura 32. Ubicación del campo experimental

Cuadro 12. Análisis de Suelo del Fundo Luzben, valle Jequetepeque

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

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

Análisis realizado en el Laboratorio de Análisis de suelos, agua y plantas. UNALM (2016)

3.2.3 Características climáticas

En el **Cuadro 13**, se muestran los datos de temperatura y radiación solar durante la conducción del experimento.

Cuadro 13. Datos meteorológicos de temperatura y radiación solar durante la conducción del experimento. Año 2016

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

Fuente: Fundo Agrícola Cerro Prieto (2016).

La información meteorológica fue obtenida de los registros de la Estación meteorológica del Fundo Agrícola Cerro Prieto, ubicada a 39 km del área experimental.

La temperatura máxima fue 31.6°C y se presentó en el mes de marzo, y la temperatura mínima 16.4°C, en el mes de junio. Los mayores valores de radiación acumulada se observaron en los meses de marzo y abril (27 389 Watts m² y 25 694 Watts m²).

3.2.4 Materiales y equipos

Materiales:

- Semilla de cultivar IR-43, centímetro, wincha, bolsas de plástico, bolsa de papel, cordeles marcados, libreta de campo, etiquetas de campo, mantas de polipropileno, sacos de polipropileno, fertilizantes, herbicidas
- Pesticidas

Equipos:

- Implementos: arado, rastra, rufa de 12", paletas batidoras, paletas niveladora, mochila de fumigación, hoces, lampa, machetes, determinador de humedad, balanza, estufa, vernier, molino de prueba para molinería de arroz marca Zaccaria, cámara fotográfica.

Maquinaria:

- Tractor

3.2.5 Diseño experimental

Se empleó un diseño en bloques completos al azar, con tres repeticiones y cinco tratamientos. Las parcelas tuvieron una dimensión de 6x6m (36 m²). El cultivar sembrado fue, IR-43.

3.2.6 Modelo aditivo lineal

El modelo aditivo lineal fue el siguiente:

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

$$i = 1,2,3,4,5. \quad j = 1,2,3.$$

Donde:

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

μ : Es el efecto de la media general.

α_i : Es el efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j : Es el efecto del j -ésimo bloque.

ϵ_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).

3.2.7 Caracterización de los tratamientos

Se compararon dos sistemas de siembra directa en seco en dos modalidades: en hileras (T1) a 0.25 m de separación (simulando a las máquinas sembradoras) y siembra al voleo (T2) que usan los pequeños agricultores, y tres sistemas de trasplante, también en tres modalidades: en hileras a 0.25 m de separación (T3), al azar, de uso dominante en las áreas arroceras (T4) y el sistema intensivo de cultivar arroz – SICA (T5), usado por pequeños agricultores en Madagascar.

El área individual por parcela fue 36 m² (6m x 6 m) y el área neta de cosecha 25 m² (5 m x 5 m). La distribución de los tratamientos se indica en la **Figura 33**.

3.3.8 Características del área experimental

1. Diseño	D.B.C.A
2.Tratamientos (parcelas)	5
3. Número de repeticiones	3
4. Área total de parcela (6m x 6m)	36 m ²
5.Area neta por parcela(5m x 5m)	25 m ²
6. Área neta del experimento	540 m ²
7. Área total del experimento (25m x 47.50 m)	1188m ²

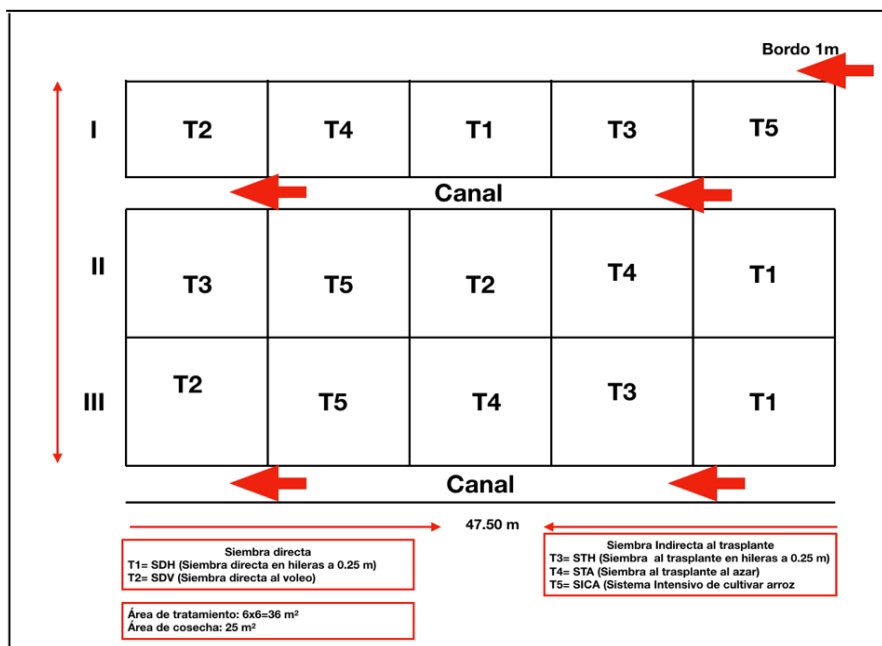


Figura 33. Disposición de los tratamientos

3.2.9 Manejo agronómico

a. Siembra directa

- **Preparación de suelo y siembra**

El suelo se preparó con arado de discos, rastra y pases de rufa para la nivelación. El suelo quedó bien mullido y nivelado. Las hileras se trazaron manualmente a 0.25 m de separación. La semilla de IR-43, fue distribuida uniformemente en el fondo de la hilera, y cubierta en forma manual, con una capa delgada de suelo. La densidad de siembra fue de 80 Kg ha⁻¹ de semilla certificada. En siembra directa al voleo, se utilizó la misma densidad, que fue distribuida uniformemente y luego enterrada en forma manual, con ayuda de una pala.

- **Control de malezas**

Después del riego de germinación, a los cuatro días se aplicó el herbicida pre emergente bentiocarbo (6 g m⁻² de Saturn 5G). Los primeros riegos se realizaron con una capa delgada de agua (5 cm), hasta los 25 días en que se iniciaron los riegos de inundación continua.

- **Fertilización**

A los 30 días de la siembra, se aplicó la primera dosis de fertilización nitrogenada más fósforo y potasio (140-80-80), voleados en la superficie de las parcelas en seco y luego regadas. Al inicio de la fase reproductiva se aplicó la segunda dosis de N (140 Kg N ha⁻¹) en lámina de agua.

b. Sistema indirecto (trasplante) convencional

Para los tratamientos al trasplante, se usaron almácigos de 30 días de edad.

- **Trasplante en hileras**

Los golpes de 4-6 plántulas fueron colocados a 0.25 x 0.25 m. Las hileras tuvieron 6 m de largo a 0.25 m de separación.

- **Trasplante al azar**

Se colocaron los golpes sin seguir un ordenamiento espacial en el campo, tal como lo realizan los agricultores, siendo esta modalidad, de uso más común en el cultivo de arroz.

- **Control de malezas**

El control de malezas, se realizó a los cuatro días después del trasplante, usando Butachlor, 3 l de Machete producto comercial ha⁻¹. El desmanche de malezas ciperáceas se realizó con Basagran 2 l más 0.5 l de hedonal, aplicados a la floración de la maleza. El manejo de agua fue el de inundación continua, con una lámina de agua de 5 a 10 cm de altura, desde el trasplante hasta la maduración fisiológica de los granos.

c. Tratamiento intensivo de cultivar arroz – sica modificado

En este sistema, el trasplante se realizó con plántulas de 15 días de edad, con un tamaño aproximado de 18 cm, transplantadas a 0.25 x 0.25 m, colocando una plántula por golpe. El manejo del riego fue de inundación intermitente con 5 cm de altura de lámina.

En este tratamiento se usó el fertilizante mineral (urea) y no fertilización orgánica, como se recomienda en este sistema. Se usó herbicidas y no deshierbos manuales frecuentes. No se aplicó el secado del campo (estrés hídrico), durante el desarrollo de las plantas.

- **Fertilización y control del malezas**

A nivel de almácigo. Después de seis días del voleo de la semilla, se aplicó 6 g del herbicida Saturn 5G (Bentiocarbo) para el control de malezas. A los 12 días se realizó la primera fertilización en almácigo, aplicando 120 Kg N ha⁻¹ en urea (26 g urea m⁻²). La fertilización fue al voleo y en suelo húmedo. Inmediatamente después de haber concluido la fertilización, se regó, dejando que el agua ingresara lentamente. La segunda fertilización en almácigo se

realizó con 100 Kg N ha⁻¹, como sulfato de amonio (50 gramos de sulfato de amonio m⁻²) en lámina de agua.

A nivel de trasplante. En los tres sistemas de trasplante, la primera fertilización se realizó a los 12 días después del trasplante. Se utilizó un plan de fertilización de 140 Kg de N ha⁻¹, 80 Kg P₂O₅ ha⁻¹, 80 Kg K₂O ha⁻¹. Las fuentes que se utilizaron fueron, urea, fosfato diamónico y sulfato de potasio. La segunda fertilización se fraccionó en dos partes, un desmanche de 40 Kg de N ha⁻¹ con sulfato de amonio, para controlar la clorosis presentada en el campo y 100 Kg de N ha⁻¹ al inicio de fase reproductiva, también con sulfato de amonio.

Para el SICA, en el almácigo se empleó 80 g de semilla por m². La fertilización con 120 Kg N ha⁻¹, se realizó a los seis días del riego de germinación.

3.2.10 Cosecha

Los campos se drenaron, antes de la cosecha. El indicador que se utilizó para proceder a la cosecha, fue cuando el 85 % de los granos de las panículas presentaban coloración amarillo pajizo, con 16 a 17% de humedad.

La cosecha fue manual y se realizó el 15 de junio. La siega, el azote y el venteo se realizaron el mismo día. Los granos obtenidos fueron expuestos al sol para favorecer el secado. El área neta de cosecha en cada parcela fue de 25 m². Los pesos obtenidos por parcela, fueron ajustados a 14 por ciento de humedad del grano.

3.2.11 Análisis físicos-químicos

Previo a la ejecución de la siembra, se realizó un muestreo del suelo de 0 a 0.30 m en varios puntos del área experimental y luego se hizo una muestra compuesta para su análisis.

3.2.12 Variables evaluadas

a. Número de macollos en la fase vegetativa en todos los tratamientos de los sistemas de siembra

Se evaluó en seis golpes por parcela en tres repeticiones en el trasplante, y 0.50 m de hilera en la siembra directa y 0.20 x 0.20 m en el voleo.

b. Determinación de altura de planta

Se midió a la maduración en seis golpes de cada tratamiento en dos repeticiones, tomando la altura desde la superficie del suelo hasta la punta de la panícula más alta, por tratamiento.

c. Días a la floración (50%)

Se evaluó en dos repeticiones, cuando el 50% de las plantas por parcela tuvieran la panícula exerta.

d. Acumulación de biomasa

Se evaluó en las fases de macollamiento, inicio de fase reproductiva y maduración fisiológica del grano, tomando muestras de plantas en 0.125 m² de área, en dos repeticiones, que fueron secadas con estufa a 70°C, hasta peso constante.

e. Rendimiento en grano en 25m² (área neta de parcela)

Luego fue ajustada al 14% de humedad.

f. Índice de cosecha, (IC)

Se determinó a la maduración en cuatro golpes competitivos, en dos repeticiones. Se separó el grano de la paja y se secaron a estufa a 70°C, hasta peso constante.

g. Calidad molinera

La determinación de la calidad molinera se realizó en dos repeticiones. Se evaluó el rendimiento total de molinería (%) y el porcentaje de grano entero y quebrado en base a muestras de 100 gramos de arroz cáscara.

h. Índice de translucencia

Se evaluó como se ha indicó en el sub proyecto anterior.

3.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS CULTIVARES DE ARROZ (*Oryza sativa* L.), MÁS ADAPTADOS AL SISTEMA DE SIEMBRA DE SUELO SATURADO Y SUELO INUNDADO EN CONDICIONES DEL VALLE CHANCAY, LAMBAYEQUE

En este experimento se evaluaron cuatro cultivares de arroz, que se siembran en escala comercial en el valle Chancay y cuatro líneas promisorias del Programa de Investigaciones

en Arroz del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), en condiciones de suelo saturado e inundado, para identificar y seleccionar los materiales genéticos con mayor adaptación en ambas condiciones de suelo.

3.3.1 Ubicación del experimento

El presente trabajo de investigación se realizó durante la campaña Agrícola 2016-2017 en el lote 4-5 de la Estación Experimental Vista Florida del INIA, ubicado en la Región Lambayeque, Provincia de Chiclayo, Distrito Picsi, Valle Chancay, Perú. Sus coordenadas geográficas son: 06°43'34" latitud Sur y 79°46'49" longitud Oeste, a 30 metros sobre el nivel del mar (**Figura 34**).

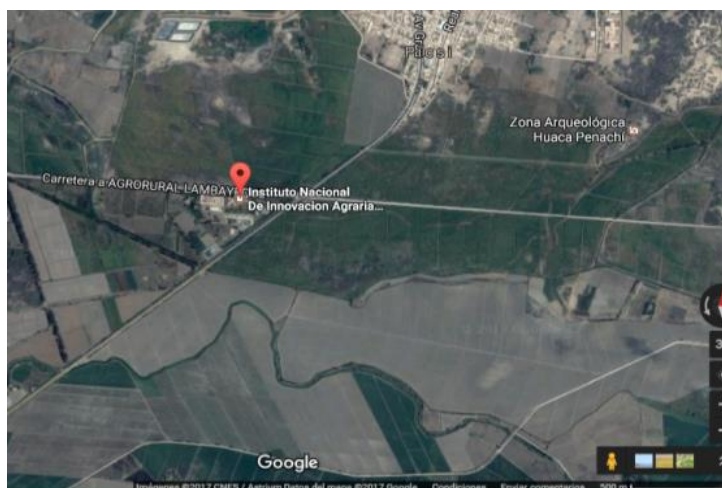


Figura 34. Disposición de los tratamientos

3.3.2 Características de clima

En el **Cuadro 14** se muestran los datos de temperatura, radiación solar, precipitación y evapotranspiración, durante la conducción del experimento.

Cuadro 14. Información meteorológica reportadas de Febrero a Mayo, 2017. Estación Experimental Vista Florida, 2017

Variable	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Temperatura media C°	26.69	26.83	24.89	23.26
Precipitación mm	505	91	30	20
Radiación Wm ²	4272	4007	4159	3589
Evapotranspiración	118.23	121.36	143.40	152.05

3.3.3 Características del suelo

El suelo donde se desarrolló el experimento es de textura franco arcillo limoso, de origen aluvial desértico, con contenido bajo de materia orgánica (1.72%), pH de 8.00 (suelo alcalino). En relación al contenido de fósforo se observa una disponibilidad de 5.1 ppm y un contenido de potasio de 379 ppm (**Cuadro 15**).

Cuadro 15. Análisis de suelo del área experimental en la Estación Experimental Vista Florida, Lambayeque

PH (1:1)	C.E (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural
						Arena	Limo	Arcilla	
						%	%	%	
8.00	0.59	6.70	1.72	5.1	379	20	44	36	Franco arcillo limoso

CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
meq /100g								
24.00	18.44	3.90	0.88	0.77	0.00	24.00	24.00	100

FUENTE: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes – UNALM

También se analizó en el mismo laboratorio, las características hidráulicas del suelo de: Capacidad de campo (%): 35.1 y punto de marchitez (%): 20.53

3.3.4 Materiales y equipos

Materiales:

- Semilla de los cultivares IR-43, Tinajones, Mallares, La Puntilla y cuatro líneas promisorias del INIA (**Cuadro 16**). Las características de los cultivares comerciales se indican en el **Cuadro 17**.
- Centímetro, wincha, bolsas de plástico, bolsa de papel, cordeles marcados, libreta de campo, etiquetas de campo, mantas de polipropileno, sacos de polipropileno, fertilizantes, herbicidas, pesticidas.

Equipos:

- Implementos: arado-rastra, rufa, , mochila de fumigación, hoces, lampa, machetes, determinador de humedad, balanza, estufa, vernier, molino de prueba para molinería de arroz, marca Zaccaria, cámara fotográfica.

Maquinaria:

- Tractor

Cuadro 16. Cultivares y líneas promisorias de arroz sembrados en condiciones de suelo inundado y suelo saturado

Entrada	Nombre	Cultivar o línea promisoría ⁽¹⁾
1	IR-43	C
2	Tinajones	C
3	Mallares	C
4	La Puntilla	C
5	Universidad 31-89/CT97418-132-1-M-M-1-1	LP
6	IR-70177-19-2-B-1-3/5CM32-2/EMPASC105	LP
7	Universidad 31-89/CT97418-131-1-M-M-1-1	LP
8	CT9748-13-2-1-M-M-1-1-1-FL595-128-1-1P-M	LP

⁽¹⁾ C= cultivares, LP=Línea promisoría

3.3.5 Diseño experimental

Se empleó el diseño de parcelas divididas, en bloques completos randomizados con tres repeticiones. En parcelas se ubicaron las formas de manejo de riego: suelo inundado y suelo saturado. En sub-parcelas, se ubicaron los genotipos

3.3.6 Modelo aditivo lineal

$$Y_{ijk} = u + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + E_{ik} + E_{ijk}$$

$$i = 1, 2 \quad j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 \quad k = 1, 2, 3$$

Donde:

Y_{ijk} = Es el valor observado con el i -ésimo nivel del factor A, j -ésimo nivel del factor B, k -ésima repetición.

u = Es el efecto de la media general.

α_i = Es el efecto del i -ésimo nivel del factor A.

β_j = Es el efecto del j -ésimo nivel del factor B.

γ_k = Es el efecto del k -ésimo bloque.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Es el efecto de la interacción en el i -ésimo nivel del factor A, j -ésimo nivel del factor B.

E_{ik} = Es el efecto del error experimental del factor A, $E_{(a)}$.

E_{ijk} = Es el efecto del error experimental en el i -ésimo nivel del factor A, j -ésimo nivel del factor B, k -ésima repetición, $E_{(b)}$.

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).

Cuadro 17. Características de los cultivares comerciales

Nombre comercial del cultivar	IR-43	Tinajones	Mallares	La Puntilla
Sistema del cultivo	Siembra directa y trasplante adaptadas a condiciones de riego			
Pedigree	IR-305-3-17-1-3/IR661-1-140-3	Porvenir 95/PNA2348	Huallaga INIA PNA2222	IR1529-Ecia/Santa Elena
Obtendor	IRRI	INIA	INIA	INIA
Año de liberación	1994	2007	2010	2016
Adaptación	Costa	Costa	Costa	Costa
Características agronómicas				
Rendimiento potencial t ha⁻¹	10- 12.5	10- 12	13.2	13.5
Días a la maduración	149-150	140-142	148	148
Altura de planta (cm)	85-104	94-109	97-106	95-108
Resistencia a la tumbada	Resistente	Intermedia	Resistente	Susceptible
Resistencia al desgrane	Intermedio	Intermedio	Intermedio	Intermedio
Tamaño de la panícula (cm)	21.7-23.0	22.3-23.2		26.6
Número de granos llenos/panícula	132-150	132-150		173
Presencia de arista	Múticas	Múticas	Múticas	Múticas
Peso de 1000 granos (g)	26.2	28.1	28.6	28.3
Calidad Molinera				
Rendimiento de molinería (%)	69	71	72	71.4
Granos enteros (%)	55	61	58	65.2
Granos quebrados (%)	14	10	14	6.2
Reacción a plagas				
Virus de la Hoja blanca	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Mod. Resistente
<i>Pyricularia grisea</i>	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Tolerante
<i>Tagosodes orizicolus</i>	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Mod. Resistente
<i>Hydrellia wirthii</i>	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Tolerante

Fuente: Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA

3.3.7 Caracterización de los tratamientos

Se estudiaron las respuestas de cuatro cultivares y cuatro líneas promisorias del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) a dos formas de manejo de riego: suelo inundado

(T1) y T2 (suelo saturado). El área individual de la sub parcela fue 6.25 m^2 (5 hileras de 5 ml, y entre hileras, 0.25 m) y el área neta de cosecha fue de 3 m^2 (3 hileras de 4 ml x 0.25 m). La distribución y la denominación de los tratamientos se indica en la **Figura 35**.

3.3.8 Características del área experimental

	Factorial con arreglo en parcelas divididas
1. Diseño	
2. Tratamientos	2
3. Número de repeticiones	3
4. Número de parcelas/ repetición	2
5. Número de sub parcelas por repetición	8
5. Área total de la sub-parcela (5 hileras a 0.25 m de distanciamiento entre hileras)	6.25 m^2
6. Área total de parcela (6.25×8 cultivares)	50 m^2
7. Área total de la repetición	100 m^2
8. Área total del experimento ($37.50 \times 14 \text{ m}$)	525 m^2

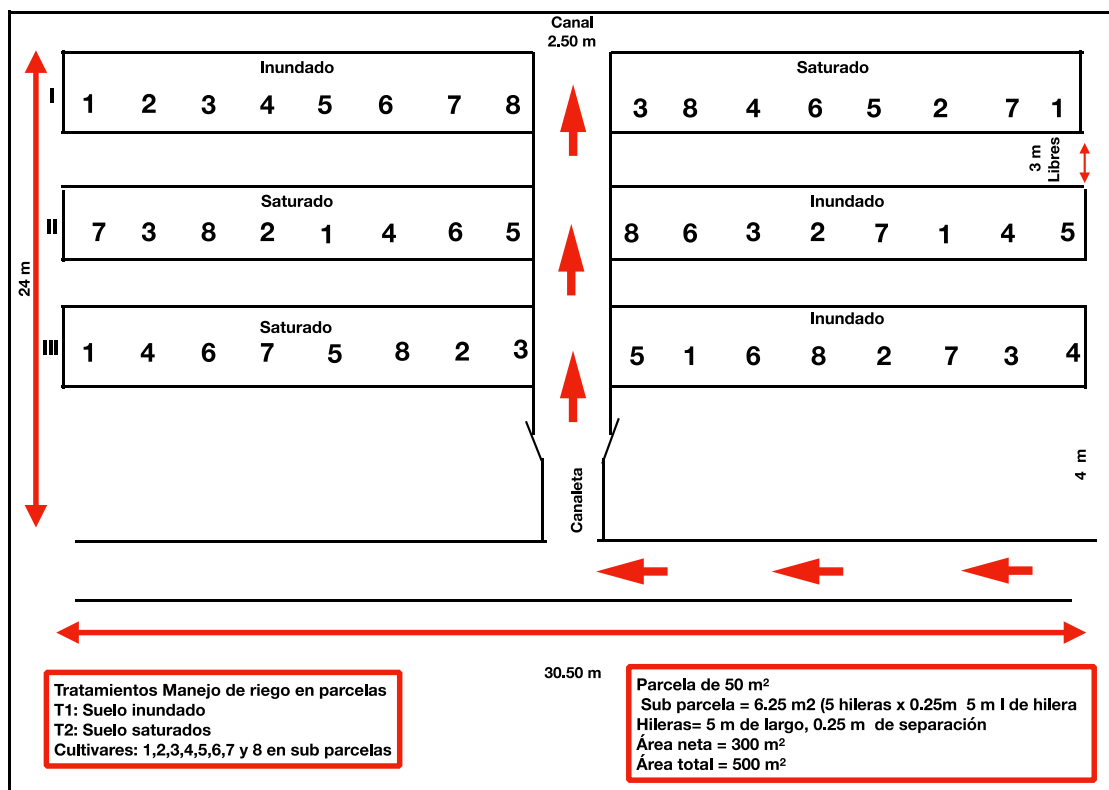


Figura 35. Croquis del experimento evaluación de los cultivares en suelo inundado y suelo saturado

3.3.9 Manejo agronómico

El campo experimental, fue roturado con pases de rastra cruzada y nivelado con rufa. Después de la bordeadura, se realizó una nivelación manual. Los bordos tuvieron un metro de base y 0.40 m de altura.

La densidad de siembra fue de 80 kg de semilla ha⁻¹. La semilla fue colocada en el fondo de la hilera y tapada manualmente con tierra mullida.

Hasta los 25 días después de la siembra, se aplicaron riegos ligeros; después se realizaron riegos de inundación continua, hasta la maduración fisiológica en T1.

El tratamiento de suelo saturado, se inició después de los 25 días de la siembra y se mantuvo esta condición en toda la fase vegetativa. En la fase reproductiva, se manejó en condición de suelo inundado con una delgada lámina de agua y después se reinició el manejo de suelo saturado al inicio de la fase de maduración, hasta la maduración fisiológica.

La fertilización fue 280-80-80. El 50% de N (140 kg N ha⁻¹), más 60 kg ha⁻¹ de fósforo y 60 kg ha⁻¹ de potasio, se aplicó a los 30 días después de la siembra y el 50% restante de N, se realizó al inicio de la fase reproductiva.

a. Control de plagas

El control de insectos (*Hydrellia* sp, *Spodoptera* f.) se realizó con pesticidas usados en el área.

b. Control de malezas

Las malezas fueron controladas con bentiocarbo seis g m⁻² del producto comercial Saturn 5 G, aplicados en capa delgada de agua a los cinco días después de la siembra. Los controles posteriores se realizaron en forma manual.

c. Cosecha

La cosecha fue manual en 3 m² de área neta por sub parcela. Los rendimientos fueron ajustados a 14% de humedad.

3.3.10 Variables evaluadas

a. Determinación de biomasa

Los muestreos fueron tomados en un área de 0.25 m², con plantas competitivas, en dos repeticiones, en los estadios de macollamiento, inicio de fase reproductiva (IFR) y en la maduración fisiológica de los granos. Fueron secadas a 70°C, hasta peso constante.

b. Rendimiento

El rendimiento se obtuvo en un área neta de 2.40 m² y fue ajustado al 14% de humedad.

c. Calidad molinera

Se determinó en dos 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, pilados en un molino de prueba, Zaccaria.

d. Medición del volumen de agua

Se utilizó un canal de metal, tipo Parshal, marca Eijelkamp (**Figura 36**), con capacidad de medida, hasta 50 l/seg. Este medidor se colocó a 5 m del canal de riego principal, para uniformizar la descarga de agua. Cuando el flujo de agua pasaba hacia las parcelas, se tomó la altura en una regla graduada que tiene la canaleta en la pared izquierda. Con esta altura se determinó la descarga, confrontándola con la tabla de conversión que tiene la canaleta y nos dió los resultados en litros por segundo. Como la altura de flujo es variable, se tuvo que tomar las alturas cada minuto, hasta que se uniformice la descarga y se tomó de 5' en 5' hasta finalizar el riego.



Figura 36. Canaleta tipo Parshal

e. Uso de los índices de selección

Consideran las diferencias entre el rendimiento en condición óptima y el rendimiento en condiciones de estrés, para identificar a los genotipos más tolerantes, que son aquellos en los que la diferencia es mínima. Cuando la diferencia es más amplia el genotipo no es tolerante. El mejor índice debe ser capaz de distinguir genotipos que tengan superioridad uniforme, en ambientes de estrés y sin estrés (Darvishzadeh et al., 2010).

En el **Cuadro 18** se muestra los índices de selección utilizados para identificar los genotipos más adecuados.

Cuadro 18. Índices de selección utilizados para identificar los genotipos más adecuados

<p>1. Índice de susceptibilidad al estrés</p> $SSI = \frac{1 - \left(\frac{Y_S}{Y_P}\right)}{1 - \left(\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P}\right)}$ <p>Fisher and Maurer (1978)</p>	<p>6. Índice de tolerancia al estrés</p> $STI = \frac{(Y_S)(Y_P)}{(\bar{Y}_P)^2}$ <p>Fernández (1992)</p>
<p>2. Productividad media geométrica</p> $GMP = \sqrt{(Y_S)(Y_P)}$ <p>Fernández (1992) and Kristin et al (1997)</p>	<p>7. Índice de rendimiento</p> $YI = \frac{Y_S}{\bar{Y}_S}$ <p>Gavuzzi et al. (1997)</p>
<p>3. Productividad media</p> $MP = \frac{Y_S + Y_P}{2}$ <p>Rossielle and Hambling (1981)</p>	<p>8. Media armónica</p> $HM = \frac{2(Y_P * Y_S)}{Y_P + Y_S}$ <p>Jafari et al.(2009)</p>
<p>4. Índice de tolerancia</p> $TOL = Y_P - Y_S$ <p>Rossielle and Hambling (1981)</p>	<p>9. Índice de estabilidad de rendimiento</p> $YSI = \frac{Y_S}{Y_P}$ <p>Bouslama and Schapaugh (1984)</p>
<p>5. Índice de resistencia a sequía</p> $DRI = (Y_S/Y_n)/(M_s/M_n)$ <p>Rossielle and Hambling (1981)</p>	<p>$(\bar{Y}_S$ y $\bar{Y}_P)$ = Promedio de rendimiento de todos los genotipos en saturación e inundación Y_S y Y_P = Rendimiento en saturación e inundación de un genotipo dado</p>

Tomado de Darvishzadeh et al. (2010)

a. Productividad del agua

Se determinó en base al consumo total del agua por tratamiento al final del experimento.

$$\text{Productividad del agua} = \frac{\text{Rendimiento obtenido}}{\text{Cantidad de agua aplicada}}$$

3.4 CONTEXTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ARROZ, DE LOS AGRICULTORES DE LA COMISIÓN DE REGANTES DE FERREÑAFE

La complejidad del manejo de arroz por los agricultores en tecnología, inversión, recursos, etc, no permite establecer un enfoque uniforme. Para corroborar los objetivos del estudio, fue necesario interactuar con los actores sociales de la cadena de arroz, para fortalecer el proceso de investigación. La información colectada, ayudaría a legitimar la percepción inicial con la de los agricultores. Se realizaron entrevistas a expertos en arroz y encuestas, que permitieron conocer las características del agricultor y del sistema de producción del productor arrocero, en el valle Chancay, Lambayeque, en el ámbito de la Comisión de Regantes de Ferreñafe. Las **Figuras 37** a **45** ilustran el proceso desarrollado.



Figura 37. Apertura del taller, por el Jefe (e) de la Estación Experimental Vista Florida



Figura 38. Visita al Presidente de Comisión de Regantes de Ferreñafe



Figura 39. Encuentro con expertos en arroz, que fueron entrevistados para identificar los puntos críticos del actual sistema de producción



Figura 40. Visita a campos de medianos agricultores en el valle Jequetepeque, para conocer el manejo de agua y de fertilizantes nitrogenados (lado izq) y a semillerista de arroz, del valle Chancay



Figura 41. Llenado de la encuesta entre los participantes del taller



Figura 42. Inscripción de asistentes al primer taller (lado izq.) Finalización del Taller (lado der.)



Figura 43. Taller de capacitación y sensibilización en el impacto del cultivo de arroz en las emisiones de gases de efecto invernadero



Figura 44. Agricultores de las dos mesas de trabajo, identificando los problemas en el sistema de siembra en inundación



Figura 45. Gira agronómica para observar el efecto de diferentes niveles de nitrógeno y manejo de agua

Se desarrollaron dos talleres en los que se trazaron los siguientes objetivos:

3.4.1 Primer taller

- Capacitar a los agricultores en la mejora de la eficiencia de uso de agua, y nitrógeno y control de malezas. Además fueron sensibilizados en relación al manejo ineficiente de los recursos agua y nitrógeno y los efectos negativos de estas prácticas en el ambiente, por favorecer al cambio climático.
- Llevar a cabo una encuesta que permitiera conocer la tipología del productor arrocero.

3.4.2 Segundo taller

- Conocer la percepción del agricultor, en relación a la visión que tenían respecto al manejo de agua, manejo de fertilizantes y los efectos negativos, en la producción de arroz.
- Llevar a cabo una encuesta que permitiera conocer la tipología del productor arrocero.
- Sensibilizar en relación al efecto del uso de dosis altas de nitrógeno y su impacto en las emisiones de metano

En este taller se establecieron dos mesas de trabajo, **Mesa 1**, Manejo de agua y **Mesa 2**, Manejo de fertilizantes.

3.4.3 Gira agronómica en el área experimental de la UNALM

Los agricultores pudieron observar que la dosis de 320 Kg N ha⁻¹, no tenía mejor apariencia y producción de biomasa que la dosis de 240, lo que tendría un impacto favorable en la decisión de reducir los niveles de nitrógeno, al corroborar que, no siempre usando mayores niveles de nitrógeno la productividad se incrementa y así, genera mayores ingresos.

3.4.4 Encuesta

Unidad de análisis: el sistema productivo que llevan a cabo los agricultores. Los requisitos fueron pertenecer a a la comisión de Regantes de Ferreñafe y sembrar arroz. El ámbito de estudio fue el área de influencia de la comisión de regantes de Ferreñafe, ubicada en la provincia de Ferreñafe. Es una de las comisiones más grandes de la Región Lambayeque, conformada por aproximadamente 10,000 ha. Es una de las áreas del valle Chancay con mejores condiciones agroecológicas para la producción de arroz. Dispone de infraestructura de riego regulado. En esta comisión se combina, en forma dominante, la economía de pequeños agricultores, junto con los medianos, por lo que existe una gran heterogeneidad social. Los pequeños agricultores representan el 85%, con unidades de producción de 3 has en promedio.

La encuesta se llevó a cabo al finalizar los talleres y también en las visitas que se realizaron a la comisión de regantes de Ferreñafe.

Instrumentos de la recolección de información

La recopilación de datos de campo, se hizo mediante una encuesta de tipo estructurada y se efectuó en una muestra de 105 agricultores entre los meses de diciembre del 2014 y enero del 2015. Estructuralmente la encuesta contiene las siguientes partes: a) identificación del agricultor y características de la explotación; b) dimensión socio cultural; c) dimensión económica; d) dimensión ambiental.

Definición del tamaño de muestra

La Comisión de Regantes de Ferreñafe tiene aproximadamente 3000 agricultores. Para definir el tamaño de muestra de la población en estudio, se utilizó la fórmula de Schaffer (Schaffer et al., 1990). La encuesta se llevó a cabo en una muestra de 105 agricultores.

$$n = \frac{\frac{4 PQ}{d^2}}{\frac{4 PQ}{d^2} - 1 + \frac{1}{N}}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra de población objetivo

N: Universo

P: Probabilidad de acierto 0.5 (generalmente se asume este valor)

Q: Probabilidad de error 0.5

d: % del error

La encuesta se formuló en base a un cuestionario de preguntas dicotómicas, de selección múltiple, y de tipo abierta y cerrada.

Tipos de preguntas del cuestionario de la encuesta:

1. Dicotómicas: Es la más sencilla y se utiliza como filtro. Sólo admite como respuesta: Si o No.
2. Selección Múltiple: Permite elegir varias respuestas dentro de una serie de respuestas.
3. Abiertas: Deja en libertad al entrevistado de responder lo que considere conveniente.
4. Cerradas: En este, el entrevistado solo puede elegir una respuesta de una serie de respuestas.

Procesamiento de las encuestas

Las encuestas fueron procesadas en el Programa Estadístico SPSS (IBM SPSS Statistics 22), debido a que posee todas las características y atributos necesarios para llevar a cabo dicho procesamiento.

3.4.5 Entrevistas a los expertos

Las entrevistas se realizaron de manera informal, y tuvieron como objetivo, conocer la visión de los entrevistados en relación a la situación actual del cultivo frente al cambio climático.

El panel de expertos y especialistas que fueron consultados estuvo constituido por:

- Dr. Ngonizande Chirinda, experto en mediciones de metano del Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT.
- Ing. Marco Valencia , gerente del Comité de Productores de Semilla de Lambayeque

- Ing. José Hernández, Ex Líder de Programa Nacional de Arroz
- Ing. Fernando Montero Bances, Líder del Programa de Arroz del INIA
- Ing. Orlando Palacios, Experto en la producción de arroz en selva.
- Dr. César Ventura, Productor y comercializador de semillas
- Ing. Isaac Cieza, Investigador del INIA
- Ing. Dennis Flores, Asesor en Producción de arroz:

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 FORMAS DE APLICACIÓN Y NIVELES DE NITRÓGENO EN EL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.), EN CONDICIONES DEL VALLE JEQUETEPEQUE, LA LIBERTAD

El cultivo de arroz a nivel mundial, es uno de los más importantes por su gran contribución a la alimentación humana. Actualmente, la producción enfrenta dos grandes desafíos: 1) Atenuar la reducción de los rendimientos por efecto del cambio climático, y la satisfacción de mayores demandas, para suplir las nuevas necesidades de la población en crecimiento. 2) Mejorar el uso del nitrógeno, que es fertilizante que más contribuye a la producción de arroz, pero cuyo uso excesivo, incrementa la producción de gases de efecto invernadero. La producción mundial es de aproximadamente 741 millones de t, con un rendimiento promedio de 4.5 t ha^{-1} , ocupando una superficie de 163 246 747 ha. En el Perú, la superficie sembrada en el año 2016 fue de 419, 749 has con una producción de 3 165 563 t y un rendimiento promedio nacional de 7.55 t ha^{-1} (MINAGRI, 2018).

En la producción de este cereal, se aplican a altos niveles de nitrógeno (240 a 320 Kg N ha^{-1}), en forma de urea o sulfato de amonio. La International Fertilizer Industry Association (IFA, 2014), señala que el uso de los fertilizantes a nivel mundial, se ha incrementado en más de cinco veces, en los últimos 50 años. De acuerdo a lo indicado por la IFA (2014), en el año 2012 se aplicaron, en 1563 millones de hectáreas (Mha), 179 millones de toneladas métricas (Mt) de fertilizantes. El consumo global de fertilizantes fue de 109 Mt de nitrógeno (N), 41 Mt de fósforo (P_2O_5) y 29 Mt de Potasio (K_2O).

Las estadísticas mundiales del 2010, indican que la producción de arroz utiliza el 15% del fertilizante nitrogenado a nivel global y emplea el 13% de P y K (Heffer, 2013). Como insumo representan entre el 15% a 30% del costo de producción, en el sistema de producción irrigado, en el Asia (Moya et al., 2004; Pampolino et al., 2007).

Gran parte del N aplicado en inundación, se pierde como gas a la atmósfera. Por lo general, 1/3 del N aplicado en campos irrigados de Asia se pierde hacia la atmósfera a las dos semanas y 1/3 del N permanece en suelo (Buresh, 2007). De acuerdo a lo señalado por Ladha et al. (2005) y Roberts (2008), la pérdida de N puede ser de 70% a 80%, en condiciones de secano y de 60% a 70% en condiciones irrigadas, cuando no existe un manejo apropiado del N.

La optimización del uso de N, requiere de nuevos tipos varietales, con mejores respuestas a los diferentes ambientes y distintos manejos del cultivo y nuevas fuentes de fertilizantes.

Los cambios de tipo de planta, en los nuevos cultivares, están mejorando la eficiencia agronómica del N, por la mayor formación de biomasa y mayores índices de cosecha (Schnnier et al., 1990). Está demostrado que, para poder reducir las pérdidas de nitrógeno, el fertilizante puede ser incorporado en el suelo, en vez de volarlo (Youndahl et al., 1986). En el Perú, el N aplicado como urea o sulfato de amonio, tiene una absorción de 35-40% (Ramírez y Sánchez, 1971). Mejorar la eficiencia de uso de nitrógeno es uno de los desafíos más difíciles, que deberán abordar los investigadores (Thompson, 2012).

4.1.1 Rendimiento en arroz cáscara

En el **Cuadro 19** podemos observar el análisis de variancia realizado con los rendimientos en grano, ajustados al 14% de humedad, en el cual indica que existe significación estadística para las formas de aplicación y niveles de nitrógeno y que, para la interacción formas y niveles no existe significación. Los coeficientes de variabilidad del experimento fueron 7.43% (error a) y 7.47% (error b), que indican confiabilidad de los resultados.

Cuadro 19. Análisis de variancia del rendimiento en grano

FV	GL	S.C	C.M	F cal	Pr > F	Nivel de significación
Bloques	2	3.03	1.515	15.500	0.0001	**
Formas	2	2.51	1.254	12.830	0.0003	**
Error (a)	4	0.39	0.097	1.000		
Niveles	3	121.34	40.447	413.910	<.0001	**
F*N	6	0.74	0.123	1.260	0.324	NS
Error (b)	18	1.76	0.098			
Total	35	129.77				

CV (error a) = 7.43%; CV (error b) = 7.47%

En formas de aplicación de nitrógeno, el mayor rendimiento se alcanzó con la forma 2 (**50 PS+V50IPF**), con 5.67 t ha⁻¹, siendo superior estadísticamente a la forma 3 (**V50 15 DDT+V50 IPF**), que produjo un rendimiento promedio de 4.88 t ha⁻¹, y a la forma 1 (**I 100 PS**), que tuvo un rendimiento de 5.14 t ha⁻¹(**Cuadro 20**). Kapoor et al. (2008), indican que incorporar el N al suelo incrementa el rendimiento y la eficiencia de uso de nitrógeno.

Cuadro 20. Rendimiento en grano para formas de aplicación y niveles de nitrógeno

Tratamientos		Rendimiento Kg ha ⁻¹
Formas de Aplicación	F2	5,672 a*
	F1	5,144 b
	F3	4,878 b
Niveles de N	320	7,358 a
	240	6,769 b
	120	5,343 c
	0	1,464 d

*Para columnas dentro de formas de aplicación y niveles de N, los datos que tienen una letra en común no son significativamente diferentes entre sí, según la prueba Duncan, al nivel de 5% de probabilidad.

Estos resultados se explican por lo señalado por Jaramillo et al. (2008), quienes indican que, cuando la urea se incorpora en el suelo seco, la superficie de contacto de las arcillas (complejo de cambio o adsorción) están totalmente receptivas a la atracción de cationes NH₄. Wang y Zhou (2015), indican que en el sistema inundado, se forma una capa reducida y los coloides del suelo restringen la hidrólisis de la urea.

Las respuestas en rendimiento a nivel 0, es decir sin aplicación de fertilizante nitrogenado fue en promedio de 1.46 t ha⁻¹, siendo el nivel de 320 Kg N ha⁻¹ el que presentó el mayor rendimiento (7.36 t ha⁻¹) seguido de los niveles 240 y 120 con 6.77 y 5.34 t ha⁻¹, respectivamente. Las respuestas de los rendimientos a los niveles de N, fue de tipo cuadrático (**Figura 46**). Los incrementos de rendimiento entre los niveles 120, 240 y 320 fueron de 365, 462 y 503%, en relación al nivel 0, respectivamente. Sin embargo, este incremento del rendimiento debido al aumento del nivel de nitrógeno no es ilimitado, sino que alcanza un valor máximo y sigue una tendencia decreciente (Baker et al., 2004).

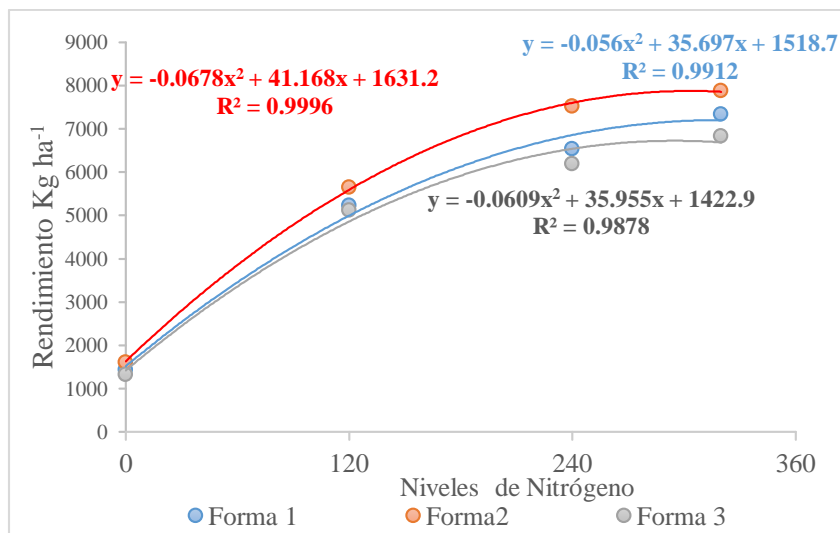


Figura 46. Respuestas en grano de las formas y niveles de nitrógeno

Los rendimientos bajos alcanzados en este estudio, se debieron, entre otros factores a temperaturas altas, estrés hídrico y resurgencia de sogata (*Tagosodes orizicolus*), vector del virus de hoja blanca, que afectaron la campaña agrícola en que se realizó esta investigación.

4.1.2 Determinación de biomasa

Las determinaciones de la biomasa, se realizaron en los estadios de máximo macollamiento, inicio de primordio floral (IPF), floración (Flor) y madurez fisiológica del grano (MF), por ser los estadios de mayor contribución al rendimiento. La **Figura 47**, indica que la producción de materia seca se incrementa hasta la madurez fisiológica de los granos, en que alcanza su máximo valor.

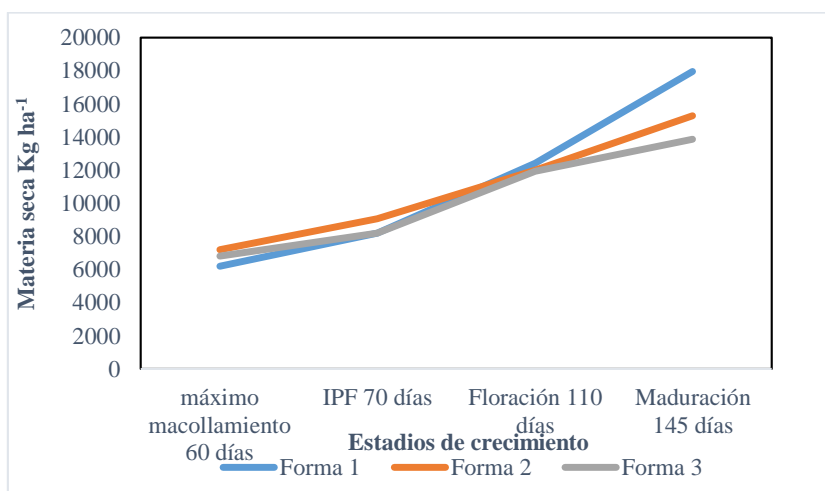


Figura 47. Producción de materia seca en cuatro estadios de desarrollo de las formas de aplicación de nitrógeno

La prueba Duncan realizada a la variable producción de materia seca, en el estadio de madurez fisiológica, indica que, entre las diferentes formas, en promedio de las cuatro dosis de nitrógeno, no existen diferencias significativas, mientras que para el caso de los niveles de N, en promedio de las tres formas de aplicación, existen diferencias significativas entre las cuatro dosis, ocupando el primer lugar la dosis de 320 Kg N con 22,327 Kg ha⁻¹. Las dosis de 240, 120 y 0 produjeron 19,567; 12,735 y 8,202 Kg ha⁻¹ de materia seca, respectivamente (¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.). Chaturvedi (2005), señala que la acumulación de materia seca, se incrementa significativamente con la aplicación de fertilizante nitrogenado, en todos los estadios de crecimiento del cultivo (**Cuadro 21**).

Cuadro 21. Producción de materia seca en el estadio de madurez fisiológica

Tratamientos	Materia seca Kg ha ⁻¹	
F1	17,954 a	
Formas de Aplicación	F2	15,268 a
	F3	13,865 a
	320	22,327 a
Niveles de N	240	19,657 b
	120	12,735 c
	0	8,202 d

*Para columnas dentro de formas de aplicación y niveles de N, los datos que tienen una letra en común no son significativamente diferentes entre sí, según la prueba Duncan, al nivel de 5% de probabilidad.

4.1.3 Relación entre materia seca y rendimiento

Hubo una alta relación entre la producción de biomasa y el rendimiento en grano. Los valores de los coeficientes de correlación fueron, 0.98, 0.99 y 0.97 para las formas de aplicación, F2, F1 y F3, respectivamente, a la madurez fisiológica de los granos y tuvo el mayor peso en la forma F1 con 17.95 t ha⁻¹. Para las formas F2 y F3 los pesos fueron de 15.27 y 13.87 t de materia seca por hectárea, respectivamente (**Figura 48**).

Cuadro 22. Efecto de las formas de aplicación y niveles de N en los componentes del rendimiento en grano

Tratamientos		N° de panículas m ⁻²	N° de granos panícula ⁻¹	% de granos llenos	Peso de 1000 granos
Formas	F2	273 a*	140 a	84 a	26.72 a
	F1	258 b	139 a	83 a	26.59 a
	F3	251 b	137 a	85 a	25.89 a
Niveles de N	320	298 a	148 a	85 a	26.57 a
	240	287 b	141 b	84 a	26.48 a
	120	267 c	134 c	83 b	26.37 a
	0	191 d	139 d	82 b	26.19 a

*Para columnas dentro de formas de aplicación y niveles de N, los datos que tienen una letra en común no son significativamente diferentes entre sí, según la Prueba Duncan a nivel de 5% de probabilidad.

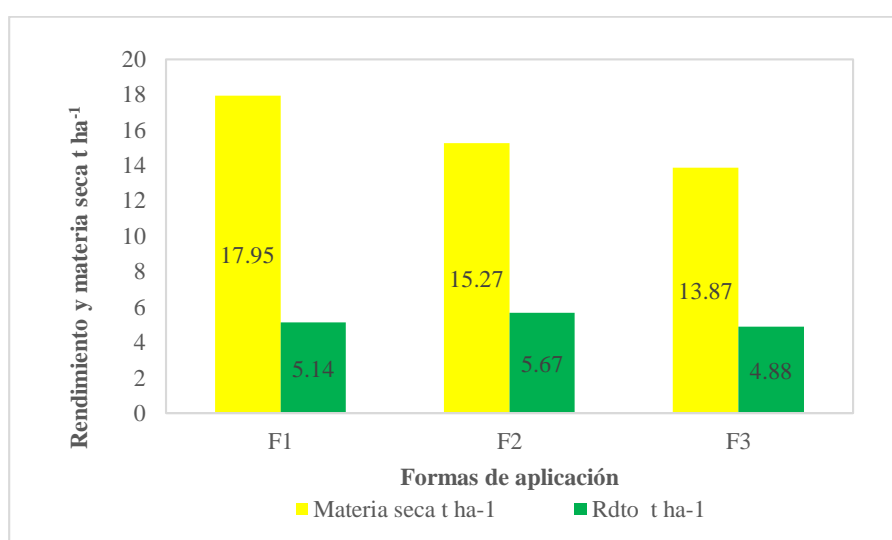


Figura 48. Relación entre materia seca y rendimiento

Estudios realizados por Fageria (2007), señalan que la producción de materia seca tiene una alta y mayor correlación con el rendimiento en grano durante los estadios de crecimiento de la panícula, floración y madurez fisiológica, en comparación con estadios de crecimiento temprano.

4.1.4 Altura de planta

No se encontraron diferencias significativas para formas de aplicación. Las alturas fueron, 95, 94 y 93 cm., para las formas F3, F2 y F1, respectivamente.

Para el caso de los niveles de nitrógeno, las dosis de 320, 240 y 120 Kg N ha⁻¹, no mostraron diferencias entre ellos y tuvieron alturas de 95, 97 y 98 cm respectivamente. El nivel 0, tuvo una altura de 86.5 cm y fue significativamente diferente a las demás dosis. Estos resultados son similares a los reportados por Chatuverdi (2005), que señala que las plantas con las dosis de 150 y de 100 Kg de N ha⁻¹, alcanzan alturas mayores que con el nivel 0.

4.1.5 Componentes de rendimiento

La prueba de comparación de medias que corresponde al Cuadro, mencionado anteriormente, indica que, para formas de aplicación, el número de panículas m⁻², F2 fue superior a F1 y F3, y entre estos tratamientos no hubo diferencias entre sí. En relación a número de granos por panícula, % de granos llenos y peso de 1000 granos, las tres formas de aplicación, no presentaron diferencias significativas.

Para niveles de N, 320 Kg N ha⁻¹, fue superior a 240, 120 y 0, en número de panículas m⁻² y número de granos panícula. Para 240, 120 y 0 hubieron también diferencias para estos componentes. Ottis et al. (2005), reportaron que existe una alta correlación entre rendimiento y número de panículas. En el porcentaje de granos llenos, no hubo diferencias entre 320 y 240, siendo ambos superiores a 120 y 0. Para peso de 1000 granos no existieron diferencias significativas.

El análisis de regresión múltiple, indica que el mejor modelo para predecir el rendimiento en función a sus componentes es: $\hat{Y} = -16.10227 + 0.02801X1 + 0.05648X2 - 0.33987X3$, por tener el mayor coeficiente de determinación múltiple ($R^2=0.997$), siendo X1: número de panículas ha⁻¹; X2: número de granos panículas⁻¹ y X3: peso de 1000 granos.

4.1.6 Índice de cosecha

El índice de cosecha, es la relación entre el rendimiento en grano y el rendimiento biológico, que incluye el peso seco de la paja más grano. Esta variable, tuvo una tendencia creciente, conforme se incrementan las dosis de nitrógeno, sin embargo, entre formas de aplicación, no se encontraron diferencias significativas. Las dosis de 320 (48%) y 240 (45%) fueron estadísticamente similares y superaron a las dosis de 120 y 0 Kg N ha⁻¹, que tuvieron índices de cosecha de 42 y 25%, respectivamente (**Figura 49**).

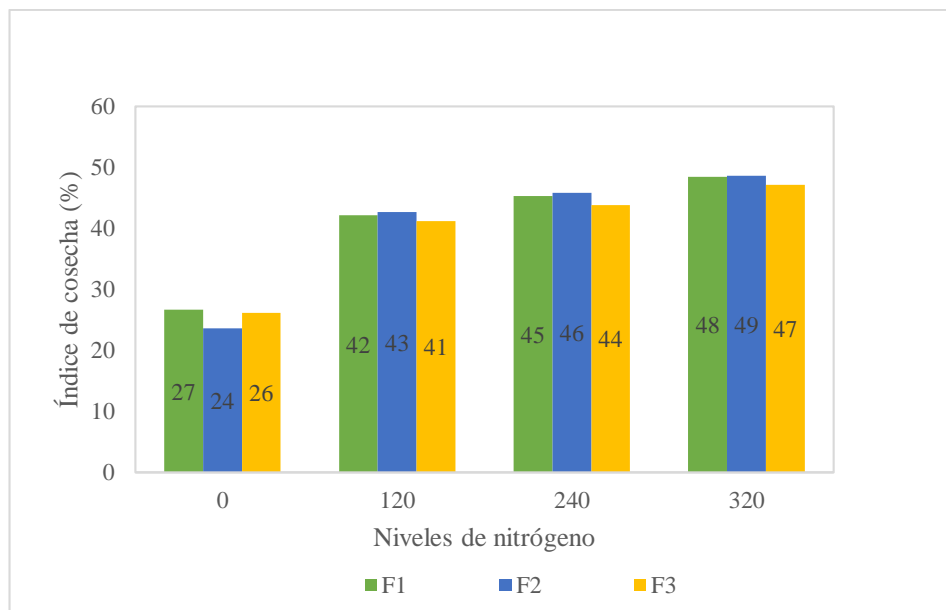


Figura 49. Índice de cosecha para tres formas de aplicación y cuatro niveles de nitrógeno

Alfonzo et al. (2011) indicaron que en estudios realizados en Venezuela demostraron que un alto índice de cosecha en los cultivares de arroz indican una menor pérdida de nitrógeno en la paja y esto contribuye a una mayor eficiencia de uso de nitrógeno. Los cultivares modernos de arroz, tienen una mejor respuesta al uso de altas dosis de nitrógeno y responden produciendo más grano que paja (Yoshida, 1981), pero hasta cierto nivel, más allá del cual, los rendimientos bajan por mayor producción de paja y porque la planta se hace más sensible al ataque de insectos y enfermedades.

4.1.7 Determinación de la eficiencia de uso de nitrógeno

La eficiencia de uso de nitrógeno es una medida importante para evaluar los sistemas de producción. Puede ser altamente influenciada por el genotipo, manejo de fertilizantes, suelo, relación agua-planta y condiciones climáticas. Estudios en los últimos años señalan que aplicaciones excesivas de nitrógeno, ha ocasionado deposiciones de NH_3^+ y NH_4^+ en la atmósfera (Pearson y Stewart, 1993; Hansen et al., 2017) y acumulación en exceso de NH_4^+ en concentraciones que varían de 2 a 20 mM y, en algunos casos, hasta valores muy altos como 40 mM (Glass et al., 2002; Kronzucker et al., 2000).

GRiSP (2013), señala que las pérdidas de nitrógeno a partir de la volatilización del amonio pueden llegar a 50% o más en las regiones tropicales, mientras que en las regiones templadas, las pérdidas pueden ser insignificantes, por la incorporación del nitrógeno al suelo. Snyder,

2009, señala que la urea aplicada al voleo y luego incorporada al suelo, registró una pérdida de NH₃ del 16%, y del 27% cuando se colocó en banda superficial.

Los resultados consignados en el **Cuadro 23**, indican que F2 obtiene la mayor eficiencia agronómica que las demás formas, le sigue F1 y finalmente F3. Los datos se presentan en un rango de 26.82 a 23.19.

Cuadro 23. Eficiencia agronómica, eficiencia fisiológica y factor parcial de productividad para formas de aplicación y niveles de nitrógeno *

Tratamientos	Eficiencia agronómica Rdto. (nivel dado de N) – Rdto (nivel 0)/ Nivel de N usado	Eficiencia fisiológica Rdto. (nivel dado de N)– Rdto (nivel 0)/ N absorbido (en un nivel dado – N absorbido (en nivel 0)	Productividad Parcial del fertilizante Rdto. (nivel dado de N)/ Nivel de N aplicado
Formas			
F1	24.80 ±1.89 b	38.12 ±5.26 c	32.35 ±1.88 ab
F2	26.82 ±1.89a	54.26 ±5.26 a	35.02 ±1.88 a
F3	23.19 ±1.89 c	42.54 ±5.26 b	30.09 ±1.88 b
C.V (%)	7.59	11.70	5.78
Niveles de N			
120	33.35 ±1.7 a	71.89 ±6.64 a	45.44 ±1.84 a
240	22.75 ±1.7 b	36.41 ±6.64 b	28.79 ±1.84 b
320	18.70 ±1.7 c	26.62 ±6.64 c	23.23 ±1.84 c
C.V (%)	6.81	14.71	5.67

*Para columnas dentro de formas de aplicación y niveles de N, los datos que tienen una letra en común no son significativamente diferentes entre sí, según la Prueba Duncan a nivel de 5% de probabilidad.

Estas eficiencias agronómicas se encuentran entre las obtenidas por Quintero et al. (2014), que reportan eficiencias de 18 a 26 Kg grano por Kg de N aplicado. También se puede observar que conforme se incrementan los niveles de nitrógeno la eficiencia agronómica disminuye. Esto debido a una mayor pérdida de nitrógeno al ambiente que causa contaminación de la atmósfera y los sistemas de agua como lo señalan Kondo et al. (2003).

Belder et al. (2005), reportaron rangos de eficiencia agronómica de 0 a 26 Kg de grano por unidad de nitrógeno aplicado, señalando que existen otros factores que limitan la expresión de la eficiencia. Estudios realizados por Snyder (2009), reportan que la eficiencia agronómica del nitrógeno aplicado es de 10 a 30 unidades de grano de cereal por unidad de

nitrógeno aplicado. Li et al. (2015), usando urea revestida obtuvo una eficiencia agronómica de 17.7 Kg grano por Kg⁻¹ N.

La eficiencia fisiológica, en este estudio fue mayor en F2 en comparación a las demás formas de aplicación. Para niveles de N, la menor dosis, 120 Kg N ha⁻¹, tuvo el valor más alto de eficiencia fisiológica. Estos resultados coinciden con lo señalado por Singh et al. (2014), quienes indican que el uso excesivo de nitrógeno resulta en detrimento de la eficiencia fisiológica. La eficiencia de uso de nitrógeno está limitada por la habilidad de las plantas para obtener el nitrógeno del fertilizante aplicado (Shrawat et al., 2008).

El factor parcial de productividad (FPP), en este estudio indica que F2 es superior a F3, pero estadísticamente similar a F1. El rango de valores va de 30.09 a 35.02, valores que se encuentran por debajo de los niveles típicos en cereales (maíz, arroz y trigo), reportados por Fixen *et al.*, 2015 (40-90 Kg de grano Kg⁻¹ de N aplicado, considerando que el suelo posee niveles de P y K dentro del rango recomendado). Además este bajo FPP, sugeriría que existe una respuesta baja del suelo a la sobre-aplicación de nutrientes y a efectos de estrés bióticos, registrados durante las etapas de crecimiento.

4.1.8 Índice de traslucencia

El índice de traslucencia es una característica de mucho valor en el mercado de arroz pilado. Para un mismo cultivar, mayor traslucencia, mayor precio y viceversa. Las formas de aplicación no influyeron en esta característica, pero sí los niveles de nitrógeno (**Cuadro 24**).

El nivel 0 fue estadísticamente diferente a las demás dosis, con un valor de 0.06, que indica que los granos provenientes de ese tratamiento son los que poseen menor cantidad de formaciones tizosas en comparación a las muestras provenientes de los otros niveles (120, 240 y 320 Kg N ha⁻¹) que tuvieron índices entre 0.09-0.11 y que fueron estadísticamente similares (**Cuadro 24**) Estos resultados son similares a los que reporta Pérez et al. (1995). La apariencia del grano es afectada por los niveles de nitrógeno (Gu et al. (2015).

Cuadro 24. Análisis de variancia de rendimiento de molinería

FV	GL	S.C	C.M	F cal	Pr > F	Nivel de significación
Bloques	1	0.004	0.0004	2.00	0,1909	NS
Formas	2	0.0015	0.0007	3.50	0.0751	NS
Error (a)	2	0.0004	0.0002			
Niveles	3	0.0113	0.0038	18.08	0.0004	**
F*N	6	0.0035	0.0006	2.78	0.0817	NS
Error (b)	9	0.0019	0.0002			
Total	23	0.0189				

4.1.9 Rendimiento de molinería

Es la característica más importante para la industria, que define la calidad del arroz y los precios en el mercado nacional. A mayor calidad, mejor precio. En el análisis de variancia (**Cuadro 25**), se encontró que existen diferencias significativas en formas, y no en niveles de nitrógeno. Estudios realizados en China por Gu et al. (2015) encontraron que el rendimiento de molinería total no presentó diferencias estadísticas entre los diferentes niveles de nitrógeno que estudiaron.

En el mismo cuadro, se observa que en el porcentaje de grano entero, no hubieron diferencias entre las diferentes formas y niveles 120, 240 y 320 Kg N ha⁻¹; sin embargo, estos niveles sí fueron diferentes con el nivel 0. Gu et al. (2015), encontraron que entre los niveles 0, 240 y 360 Kg N ha⁻¹, no se presentaron diferencias estadísticas en el porcentaje de grano entero.

4.1.10 Contenido de proteínas

No hubo diferencias significativas entre formas de aplicación en el contenido de proteínas de los granos, que tuvo un rango de 7.39 a 8.26% . Sin embargo, a mayor nivel de nitrógeno, mayor contenido de proteína. Al nivel de 120 Kg N ha⁻¹, el contenido de fue de 7.4 y a 320 Kg N ha⁻¹, el contenido fue de 8.98%.

Investigaciones realizadas por Dong et al. (2007), Gu et al. (2015) y Zhu et al. (2017), señalan que el contenido de proteína en los granos fue incrementado con la mayor cantidad de nitrógeno. El contenido de proteína, no influye en el precio del arroz pilado que se comercializa en el mercado. Sin embargo, es importante la contribución de proteínas de la dieta diaria del poblador peruano, que consume arroz como un alimento básico (**Cuadro 25**).

Cuadro 25. Prueba Duncan de rendimiento de molinería total, porcentaje de grano entero y quebrado, porcentaje de proteína e índice de traslucencia

Tratamientos		Rendimiento de molinería total (%)	Grano entero (%)	Grano quebrado (%)	Proteína (%)	Índice de traslucencia
Formas de Aplicación	F1	68.34 b	56.90 a	11.44 a	7.43 a	0.1 a
	F2	69.21 a	57.51 a	11.70 a	7.39 a	0.09 a
	F3	68.5 b	56.41 a	12.1 a	8.26 a	0.08 a
CV (%)		2.38	2.80	1.32	18.70	15.71
Niveles de N	320	68.77 a	56.25 b	12.52 a	8.98 a	0.105 ^a
	240	68.27 a	55.85 b	12.42 a	8.27 b	0.11 a
	120	68.82 a	56.32 b	12.50 a	7.40 c	0.09 a
	0	68.88 a	59.35 a	9.53 b	6.11 d	0.06 b
CV (%)		0.87	2.82	10.99	38.78	15.75

4.1.11 Calidad culinaria

En el Cuadro 26 se puede observar que la incorporación o el voleo del nitrógeno no influye en las variables, tiempo de cocción, volumen agua, dispersión alcalina e índice de expansión, ya que no se presentan diferencias estadísticas.

Cuadro 1. Prueba Duncan de las variables de calidad de arroz de tiempo de cocción, volumen de agua, dispersión alcalina e índice de expansión

Tratamientos		Tiempo de cocción (m)	Volumen de agua (mm)	Dispersión alcalina	Índice de expansión ⁽¹⁾ (%)
Formas de Aplicación	F1	23.34 a	197.00 a	4,13 a	34,75 a
	F2	23.25 a	198.50 a	5,25 a	36,42 a
	F3	23.25 a	200.00 a	4,63 a	35,73 a
CV (%)		1,52	1,23	19,03	6,40
Niveles de N	320	23.17 a	200.00 a	2,50 c	34,02 b
	240	24.67 a	200.00 a	4,33 b	36,35 ab
	120	23.33 a	196.00 a	5,67 a	38,28 a
	0	22.00 a	198.00 a	6,17 a	33,90 b
CV (%)		13,03	2,36	13,31	7,90

⁽¹⁾ % de crecimiento en longitud en relación al grano sin cocer

La calidad culinaria es una característica inherente del cultivar y es determinada por las características físicas y químicas del almidón en el endosperma. Estudios realizados por Gu et al. (2015), señalan que conforme se incrementan los niveles de nitrógeno el contenido de

amilosa va disminuyendo. En promedio tuvieron 19.1%, 16.7% y 15.3% a 0, 240 y 360 Kg N ha⁻¹. Lo que influye en la textura del grano.

Sin embargo, los niveles de nitrógeno presentaron diferencias estadísticas en dispersión alcalina e índice de expansión. La dispersión alcalina está en relación inversa con los niveles de nitrógeno. La prueba Duncan, indica que a mayores niveles de nitrógeno se confiere una mayor dureza al grano, por lo que los niveles de 0 y 120 kg N ha⁻¹, presentan una mayor desintegración en comparación a los niveles 240 y 360 kg N ha⁻¹.

Las características de los granos cocidos están determinados por factores físicos y químicos. La dureza está determinada por la calidad del almidón de los granos en los que la amilosa, juega un rol importante. Juliano (1985), señala que es el indicador más importante para clasificar los cultivares de arroz, porque influye en la textura de los granos cocidos (Champagne et al., 2004). La temperatura de gelatinización y la consistencia del gel, que son características del almidón, influyen en la calidad del arroz cocido (Damardijati et al., 1988; Damardijati y Soekarto, 1985; Juliano, 1993). Al final, son los consumidores los que definen de acuerdo a sus estándares de vida, las exigencias de calidad de grano (Zhu et al., 2017). Estudios previos revelan que el uso apropiado de los fertilizantes, puede incrementar marcadamente el rendimiento y mejorar la calidad de grano (Place et al., 1970).

4.1.12 Analisis económico

Para determinar los beneficios netos de campo del manejo de nitrógeno, es necesario analizarlo, para conocer si es factible económicamente para los agricultores.

Con este fin se utilizó la metodología de presupuestos parciales, propuesto por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo – CIMMYT (1988), para analizar económicamente los resultados experimentales agrícolas. Según esta metodología, los rendimientos deben ser reducidos en 5%, porque son más altos que los obtenidos por los agricultores. En el presente experimento, no se realizó este ajuste, porque los rendimientos de arroz, están en el rango que cosechan los agricultores.

El análisis económico, realizado a través de la metodología de presupuestos parciales (**Cuadro 27**), indica que la forma 2, es la que alcanza mayor beneficio neto en comparación las otras formas de aplicación (100% incorporado y voleo). En relación a los niveles estos

también muestran un mayor beneficio neto. Al comparar los niveles de 240 y 320, el mayor beneficio neto lo alcanza 320 con 8,859 versus 240 con 8,720 soles ha⁻¹. Sin embargo, la diferencia es sólo de 139 soles, lo que no es apreciable, primeramente por la cantidad y sobretodo, al considerar los cobeneficios positivos que se darían por usar menores niveles de nitrógeno. Lo que se confirma con el análisis de dominancia que indica que los niveles 120, 240 y 320 son no dominados porque cuando se pasa de tratamiento a otro el beneficio neto aumenta, como se observa en el **Cuadro 28**.

Cuadro 27. Presupuestos parciales para formas de incorporación y niveles de nitrógeno en kg ha⁻¹

Variables	100 % Incorporado				50% incorporado				Voleo			
	0	120	240	320	0	120	240	320	0	120	240	320
Rendim. Kg ha ⁻¹	1,44 2	5,24 2	6,55 0	7,34 2	1,61 3	5,65 4	7,52 9	7,892	1,33 8	5,13 3	6,20 0	6,84 2
Beneficio bruto S/ ha ⁻¹ (1)	1,87 5	6,81 5	8,51 5	9,54 5	2,09 7	7,35 0	9,78 8	10,26 0	1,73 9	6,67 3	8,06 0	8,89 5
Costos variables												
Fertilizan. (S/ ha ⁻¹) ⁽²⁾	-	469	938	1,25 1	-	469	938	1,251	-	469	938	1,25 1
Aplic. fertilizante (S/ ha ⁻¹) ⁽³⁾	-	70	70	70	-	110	110	110	-	50	100	100
Total costos	-	530	1,00 8	1,32 1	-	579	1,06 8	1,401	-	519	1,03 8	1,40 1
Beneficio neto (S/ ha⁻¹)	1,87 5	6,27 6	7,50 7	8,22 4	2,09 7	6,77 1	8,72 0	8,859	1,73 9	6,15 4	7,02 2	7,49 4

(1) Precio de arroz cáscara S/ 1.30

(2) Precio de urea común S/ 3.91

(3) Aplicación de fertilizante: Jornal S/ 50.00

Cuadro 28. Dominancia para el tratamiento 50% de incorporación de nitrógeno y 50% al voleo

Tratamiento Nivel de N	Beneficios netos S/ ha ⁻¹	Dominancia
0	2097	ND
120	6771	ND
240	8720	ND
320	8859	ND

4.2 COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SIEMBRA DIRECTA Y TRASPLANTE EN EL CULTIVO DE ARROZ EN CONDICIONES DEL VALLE JEQUETEPEQUE, LA LIBERTAD

El sistema de siembra dominante es el trasplante, que se practica en los valles arroceros de la costa y selva alta. Los cultivares que se siembran están, adaptados a condiciones de riego por inundación y pertenecen a la sub especie Indica.

En el periodo 2005-2014, las siembras en el ecosistema de riego aportaron el 93% de la producción (MINAGRI, 2015). En relación a los sistemas de siembra directa, estos se realizan en la costa en pequeñas áreas y en selva alta. En en la selva baja se practica en las siembras al voleo en los barriales³ y al “tacarpo” o piquete, en secano.

En los sistemas de trasplante, la gran demanda de mano de obra, con precios altos de jornales, la rentabilidad decreciente, el batido de los suelos, el alto consumo de agua y las emisiones de metano, contribuyen al deterioro de la sustentabilidad.

El sistema intensivo de cultivar arroz (SICA), una variante en el sistema de trasplante, fue desarrollado para las tierras altas en Madagascar en 1983, por el Padre Henri de Laulanié, para condiciones de riego de inundación intermitente, uso de plántulas jóvenes (15 días de edad) y aplicación de materia orgánica. Los rendimientos reportados de los países que han ensayado el SICA, como India, Indonesia, China han sido espectaculares, alcanzando hasta 15 t ha⁻¹ y está siendo utilizado en varios países para incrementar la producción (Stoop et al., 2002; Uphoff et al., 2001; Chapagnain et al., 2010; Balasubramanian et al., 2002). El SICA, se ha experimentado en el Perú, en el 2003, en Rioja (selva alta con riego), con rendimientos de 11 t ha⁻¹, a distanciamientos entre golpes de 0.25 x 0.25 m y 10 t ha⁻¹ con distanciamientos de 0.50 x 0.50 m (Fernández, 2003).

La situación actual por efecto del cambio climático, demanda modificaciones en los sistemas de producción en el cultivo de arroz. Se necesitan sistemas de menor consumo de agua, mayor producción y de menor impacto ambiental.

³ Barriales son las playas del río Amazonas y sus afluentes que se forman al descender las aguas.

El consumo *per-cápita* de arroz es de 63.5 kg (MINAGRI, 2013). Para el año 2050, se estima una población de 40 millones (INEI, 2016) y para satisfacer las necesidades de arroz, la producción debe incrementarse en 28.4%, que se obtendría del mejoramiento del rendimiento, por las limitaciones de incorporar nuevas tierras en el ecosistema de riego, tanto en costa como en selva y por la escasez de agua en la costa. En selva alta, el bombeo del agua para la irrigación de las nuevas tierras que se están incorporando, aumenta los costos de producción.

Los sistemas de siembra directa, son alternativas viables. En el Asia tropical y el Sureste Asiático hay una tendencia a sustituir el sistema de trasplante por los sistemas de siembra directa (Cabangon, 2002; Pandey y Velasco, 2005; Rao et al., 2007). En el 2013, ya existía un 23% de área sembrada en el sudeste asiático y el 28% en India (Rao et al., 2007). Con estos sistemas, se disminuye el consumo de agua (Tabbal et al., 2005; IRRI, 2002), se obtienen las cosechas más temprano, y no es necesario batir los suelos (Matloob et al., 2015). Las siembras se realizan en suelo seco o en suelo húmedo con sembradoras, o también en láminas de agua con semilla germinada, en forma manual o aérea. En las áreas arroceras de las zonas templadas, se practican las siembras directas, en Australia, California, áreas del mediterráneo (España, Italia), países de América Latina (Kumar y Ladha, 2011) y en Asia, por ser un método más eficiente de sembrar arroz (Naldang et al., 1996).

En este estudio, se evaluó la influencia de los sistemas de siembra, en los rendimientos, el cultivar IR-43 en las condiciones del valle Jequetepeque.

4.2.1 Rendimiento en arroz cáscara

Los rendimientos en grano fueron influenciados por los sistemas de siembra y mostraron significación en el análisis de variancia tal como se mostró en el Cuadro 1. En la prueba de significación de rangos múltiples de Duncan al 0.05 (**Cuadro 29**) los dos sistemas de siembra directa y el sistema intensivo de cultivar arroz (SICA), fueron significativamente superiores a los sistemas de trasplante en hileras y convencional.

Los sistemas de siembra directa rindieron en promedio 29% más que los sistemas al trasplante. Las siembras directas rindieron en promedio 6.23 t ha⁻¹ vs 4.82 t ha⁻¹ de los sistemas de trasplante (**Cuadro 30**).

Cuadro 29. Análisis de variancia del rendimiento en grano de arroz cáscara

FV	GL	S.C	C.M	F cal	Pr > F	Nivel de significación
Bloques	2	0.20	0.10	0.17	0.85	NS
Sistemas de siembra	4	15.02	3.75	6.14	0.01	*
Error	8	4.89	0.61			
Total	14	20.11				

CV(%)=14,53

Cuadro 30. Rendimiento en grano de arroz cáscara de los sistemas de siembra

Tratamientos	Rendimiento t ha⁻¹ (*)
Siembra directa en hileras – SDH	6.27 a
Siembra directa al voleo - SDV	6.19 a
Sistema intensivo de cultivar arroz – SICA	6.13 a
Sistema de trasplante en hileras – STH	4.17 b
Sistema de trasplante al azar – STA	4.14 b

*Rendimientos ajustados al 14% de humedad. ** Dentro de la columna, los rendimientos con una misma letra, no son significativamente diferentes entre sí, según la prueba Duncan al 0,05%.

En los sistemas de siembra al trasplante, los rendimientos más bajos se obtuvieron en trasplante común - **STA** (4.14 t ha⁻¹) y trasplante en hileras - **STH** (4.17 t ha⁻¹), debido a que se trasplantaron plántulas fisiológicamente viejas, lo cual corrobora que la edad del almácigo es trascendental, pues a mayor edad de la plántula, los rendimientos decrecen. La edad de la plántula al trasplante, es un criterio importante en la producción de arroz, porque influye en la producción de macollos por golpe (Sanjeewanie et al., 2011). Además, Mobasser et al. (2007), señalan que los trasplantes de plántulas con edad adecuada continúan su crecimiento normal, contrario a los que utilizan almácigos fisiológicamente viejos que causan bajos rendimientos.

De otro lado, la siembra de almácigos, con altas densidades de siembra (200 g m⁻²), determina que la competencia entre plántulas sea alta y genera un ambiente favorable para ataques de insectos (*Hydrellia wirthii* y *Tagosodes orizicolus*) y proliferación de patógenos, como el virus de la hoja blanca. El desarrollo del índice de área foliar fotosintético (IAF) se restringe, por la competencia entre plantas. En trasplantes con distanciamientos cortos, el

número de hojas senescentes es mayor que a distanciamientos amplios, por falta de luz (Welch et al., 2010).

En el SICA, el trasplante con plantas de 15 días de edad por golpe, determina alto macollamiento y mayor número de panículas m^{-2} , que en el trasplante al azar (STA) y, en consecuencia, los rendimientos en grano son más altos, $6,13 t ha^{-1}$ (Miah et al., 2004).

En el sistema de siembra directa, en suelo seco en hileras o al voleo, los rendimientos son mayores que en trasplante, debido a que las plantas se desarrollan sin alterar el sistema radicular, tienen mejor distribución espacial y los rendimientos están determinados principalmente por las panículas de los tallos principales, más que por los macollos (Yoshida, 1981).

4.2.2 Relación entre producción de materia seca y rendimiento en grano

La relación entre producción de materia seca y rendimiento en grano fue positiva. Los rendimientos más altos de las siembras directas y SICA, que produjeron los más altos rendimientos en grano, fueron también las que alcanzaron las producciones más altas de materia seca (**Figura 50**). Esto concuerda con lo expresado por Naldang et al. (1996) y Chen et al. (2012), en que las siembras directas producen más materia seca que los trasplantes.

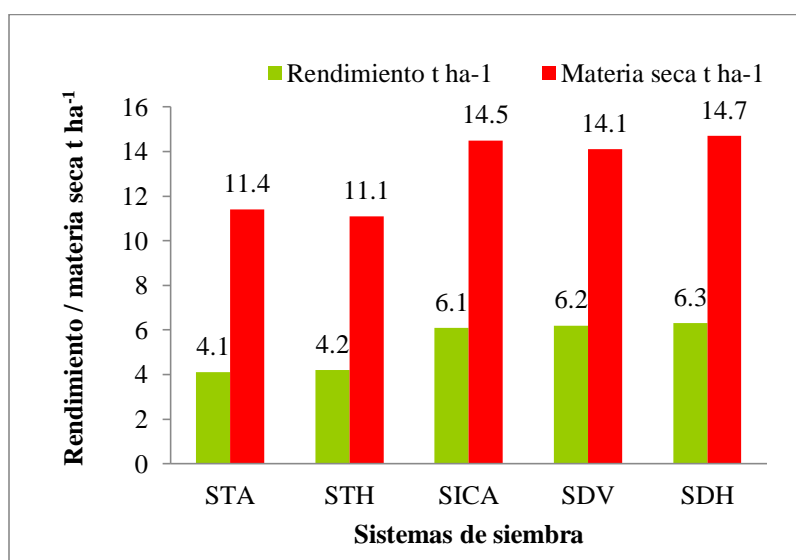


Figura 50. Relación entre rendimiento en grano y materia seca a la maduración por sistemas de siembra

4.2.3 Relación entre índice de cosecha y rendimiento en grano

El rendimiento biológico en los cereales, es la producción de biomasa total de las plantas y es una indicación del rendimiento fotosintético (Yoshida, 1981). El rendimiento biológico, se relaciona con el rendimiento en grano por el índice de cosecha. En arroz, no se incluyen las raíces en el rendimiento biológico. La relación entre el rendimiento de grano y el rendimiento biológico determina el índice de cosecha. Los índices de cosecha tuvieron los valores absolutos más altos, en las siembras directas en hileras y voleo con 43 y 44%. En el SICA el índice de cosecha fue de 42% (**Figura 51**).

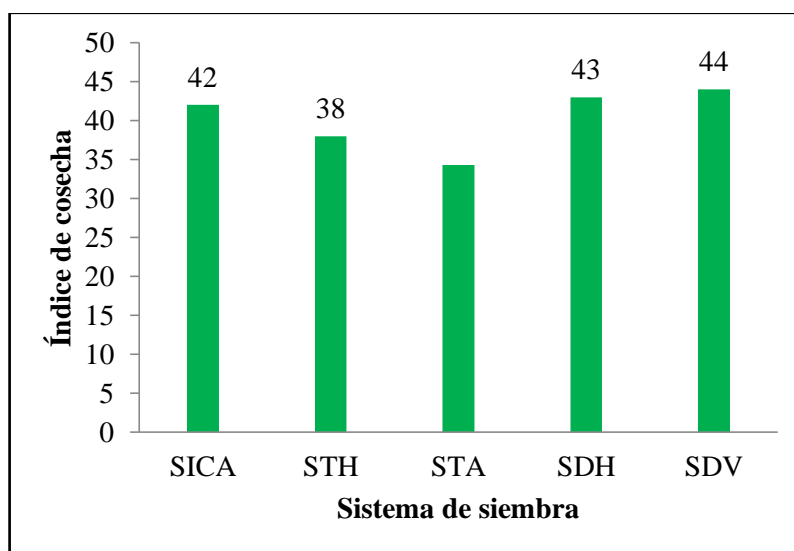


Figura 51. Índice de cosecha por sistema de siembra

Estos valores indican que, en siembra directa, se produjo más grano que en SICA, por tonelada de materia seca producida. Estos resultados concuerdan con Fageria (2007), quien postula que, con cultivares de buen vigor inicial, las siembras directas con buen manejo de nitrógeno, podrían alcanzar altos rendimientos.

4.2.4 Relación entre macollamiento y rendimiento en grano

La relación entre macollamiento y rendimiento fue alta y positiva. En los sistemas de siembra directa, el número de macollos varió de 720 a 789 por m². En los sistemas de trasplante, el SICA alcanzó el mayor número de macollos con 644 por m² (**Figura 52**).

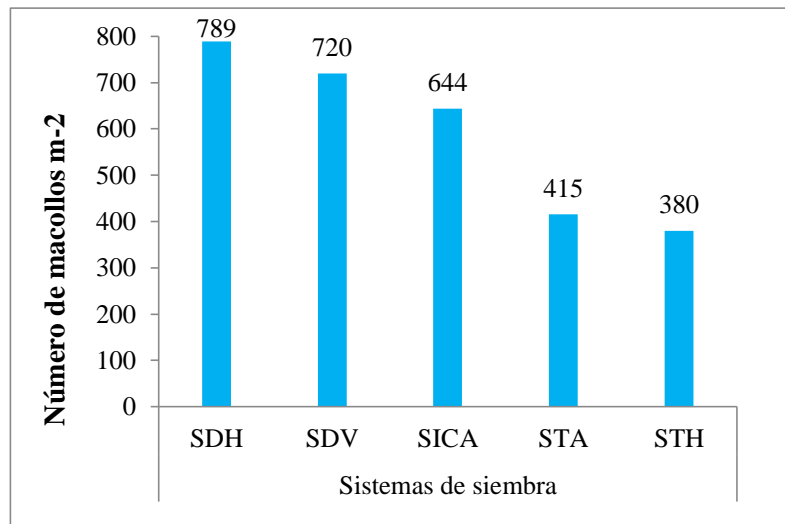


Figura 52. Macollos por metro cuadrado al máximo macollamiento, por sistema de siembra

Se debe indicar que en el sistema SICA, se modificó varias de las recomendaciones originales (Makarim et al., 2002). Se usó fertilizantes minerales en los niveles altos de nitrógeno (240 Kg N ha^{-1}) como urea y no orgánicos; se aplicó herbicidas y no el uso frecuente de deshierbos manuales, y se mantuvo el riego con secas intermitentes en la fase vegetativa. Estas modificaciones han permitido alcanzar con SICA, altos rendimientos en grano.

En los sistemas de trasplante común y en hileras, la edad de las plántulas trasplantadas fue de 30 días, que han reducido el macollamiento, en relación al trasplante SICA. La capacidad de macollamiento disminuye con el avance de la edad de las plántulas; plántulas fisiológicamente viejas macollan menos (Bouman et al., 2002; Miah et al., 2004).

Los fertilizantes nitrogenados influyen en la capacidad de macollamiento. La disponibilidad de nitrógeno para las plantas, influye en el desarrollo de los componentes de rendimiento, incluyendo el macollamiento (Fageria et al., 2003; Fageria, 2007), y en el ambiente biótico, como lo señalan Islam et al. (2007), indicando que el sobreuso de nitrógeno susceptibiliza a las plantas al ataque de ciertas plagas y enfermedades. Los ataques de insectos y el virus de la hoja blanca, ocasionaron muerte de macollos juveniles, en las etapas tempranas del trasplante y lesiones foliares en la etapa de macollamiento.

Las siembras directas, en sus diferentes modalidades serían las opciones más adecuadas para la sustitución del trasplante, por requerir menor uso de mano de obra y consumir menos agua (Kumar y Ladha, 2011).

4.2.5 Ciclo de vida

Los datos del **Cuadro 31**, indican que para el cultivar IR-43, utilizado en este estudio, el periodo de siembra a maduración fue de 143 días, para los sistemas de siembra directa y de 152 días para los sistemas de trasplante, a excepción del SICA, en que las plántulas se trasplantaron inmediatamente después de la extracción de las plántulas, con todas sus raíces, sin rotura del sistema radicular como en el trasplante convencional y maduró en 145 días.

Cuadro 31. Días a la maduración, altura de planta e índice de cosecha, en los diferentes sistemas de siembra

Tratamientos	Maduración (días)	Altura de^(*) planta (cm)	Índice de^(*) cosecha (%)
Sistema intensivo de cultivar arroz SICA	145	98 a	42 a
Sistema de trasplante en hileras	152	90 ab	38 a
Sistema de trasplante al azar	152	93 bc	36 a
Sistema de siembra directa en hileras	143	83 cd	43 a
Sistema de siembra directa al voleo	143	79 d	44 a

*Dentro de cada columna, los datos que tienen una letra en común no son significativamente diferentes entre sí, según la prueba Duncan, al nivel de 5% de probabilidad.

En los trasplantes convencionales, el periodo de siembra a maduración, es mayor por el alargamiento de la fase vegetativa, ocasionado por el tiempo que toma la recuperación de las plántulas para emitir nuevas raíces (Yoshida, 1981).

4.2.6 Altura de planta

En cuanto a altura de planta SICA, obtuvo la estatura más alta (98 cm), entre los sistemas de trasplante, por la práctica de introducir en el suelo menor número entrenudos basales (2-3) durante la colocación de los “golpes” en el barro, mientras que en los trasplantes comunes se introducen los 4 a 5 entrenudos. Las siembras directas alcanzaron alturas entre 83 a 79 cm. Gani et al. (2002), señalan que plántulas con edades de 7 a 14 días tienen mayor altura que las plántulas de 21 días en los sistemas de trasplante.

4.2.7 Componentes de rendimiento

En los componentes de rendimiento, no hubo significación estadística en el número de granos llenos por panícula, ni en el peso de 1000 granos. El número de granos llenos por panícula varió entre 158 para SICA y 121 granos para siembra directa en hilera. La esterilidad varió de 29 a 18%, sin significación estadística. Las condiciones meteorológicas de luz, y temperatura influyeron en el llenado de los granos. A falta de luz, las hojas inferiores, se tornan senescentes, reduciéndose la intensidad de fotosíntesis de las plantas. Los días nublados, durante el crecimiento afectan la formación de fotosíntatos para el llenado de los granos (Yoshida, 1981; Fageria, 2007).

4.2.8 Calidad molinera

El rendimiento de molinería, se evaluó en términos de rendimiento en grano pulido entero y quebrado. Comercialmente el arroz en cáscara con 14% de humedad, debe rendir 70% de arroz pilado, con pulido adecuado. En este estudio se observa que, entre los sistemas de siembra directa, SICA y el sistema de trasplante convencional, no hubo diferencias significativas en cuanto a rendimiento de molinería el cual fluctuó entre 70.3% a 68.13% (Cuadro 32).

Cuadro 32. Rendimiento de molinería ⁽¹⁾, granos enteros y quebrados, e índice de translucencia⁽²⁾.

Tratamientos	Rendimiento ^(*) de molinería (%)	Granos ^(*) enteros (%)	Granos ^(*) quebrados (%)	Índice de ^(*) Traslucencia
Sistema intensivo de cultivar arroz - SICA	70.30 a	58.40 a	11.90 a	0.05 a
Sistema de siembra directa en hileras	69.74 a	55.67 ab	14.07 a	0.09 a
Sistema de siembra directa al voleo	68.40 a	52.50 b	15.90 a	0.09 a
Sistema de trasplante al azar	68.13 a	55.87ab	12.27 a	0.13 a
Sistema de trasplante en hileras	65.77 b	53.67ab	12.10 a	0.11 a

⁽¹⁾ Rendimiento de 100 g de arroz cáscara de tres repeticiones. *Dentro de cada columna, los datos que tienen una letra en común no son significativamente diferentes entre sí, según la prueba Duncan, al nivel de 5% de probabilidad.

⁽²⁾ Metodología CIAT, 1989.

El rendimiento en grano quebrado, está dentro los estándares comerciales y varió de 11.9% a 15.9%. El índice de translucencia, es una característica genética (presencia de granos tizosos en la masa de granos pilados) que no ha sido influenciado por los sistemas de siembra, lo cual concuerda con lo señalado por Mandal et al. (2014), quienes indican no haber encontrado diferencias significativas entre los métodos de trasplante convencional y SICA, en cuanto a esta característica.

4.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS CULTIVARES DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) MÁS ADAPTADOS AL SISTEMA DE SIEMBRA DE SUELO SATURADO Y SUELO INUNDADO EN CONDICIONES DEL VALLE CHANCAY, LAMBAYEQUE

La agricultura arrocera mundial en el siglo XXI, enfrenta grandes desafíos, entre ellos, como incrementar la producción para satisfacer las necesidades de una población en constante crecimiento, con menor disponibilidad de agua (Yang et al., 2017).

El calentamiento global, crea nuevos escenarios que impactan la producción de arroz. El incremento de CO₂, que fisiológicamente favorecería un mayor rendimiento, sería contrarrestado con la elevación de la temperatura nocturna, que disminuiría los rendimientos, con efecto simultaneo del incremento del ozono (Ainsworth, 2008).

Se necesita con urgencia, nuevas tecnologías de producción, que incrementen la eficiencia de uso de agua (Yan et al., 2010; Traore et al., 1999), que es la relación de la biomasa producida entre la cantidad de agua consumida (Yang et al., 2010), siendo el mejoramiento del índice de cosecha, una forma que contribuiría a alcanzar este objetivo. Producir más con menos agua, mejorando el manejo del agua, pasando de la inundación continua, a secas intermitentes, mejoraría la productividad del agua (Bouman, 2007). Es necesario desarrollar nuevas tecnologías de manejo de agua, considerando que sean de bajo costo y de gran potencial de ahorro de agua para que sean adoptadas por los agricultores (Lampayan y Bouman, 2005).

En el Perú, el sistema de siembra al trasplante con manejo de agua por inundación continua, incrementa los requerimientos de agua ha⁻¹, obteniéndose una productividad de 667 g arroz cáscara por m³ de agua consumida. El manejo del suelo con secado intermitente moderado, no afectaría los rendimientos, como se práctica en el Sureste de China (Yang et al., 2010).

Sin embargo, reducir en grado intenso la inundación, podría disminuir los rendimientos en grano, principalmente por los cambios fisiológicos y el incremento de malezas (Bouman y Tuong, 2001).

El manejo del agua con secado intermitente del suelo en el cultivo de arroz en el Perú, ha motivado gran interés por las autoridades gubernamentales (Ministerio de Agricultura y Riego, Autoridad Nacional de agua, Junta de Usuarios de Riego, Comisiones de Regantes), para mejorar el uso, disminuyendo el consumo por hectárea, principalmente por la escasez de agua en la costa. El arroz en los valles del norte, compite por agua con otros cultivos como caña de azúcar, productos de agro-exportación, uso urbano, etc. Por ello, el manejo de inundación continua, no puede persistir para incrementar producción. Como no existe información sobre la respuesta de los cultivares al secado del suelo, en los sistemas de producción con riego en el Perú, los resultados del presente estudio permitiría decidir sobre la conveniencia o no de uso de esta nueva tecnología de manejo saturado del suelo.

En los últimos 16 años, la producción de arroz en el Perú se ha incrementado de 2'028,176 t (2001) a 3'165,74 9 t (2016), es decir 3.1% anual (MINAGRI, 2018). Para el año 2025, se estima que la producción debe incrementarse en más de 100,000 t con la misma cantidad de agua, en el mismo hectareaje en costa y con la incorporación de tierras en selva alta.

En la costa los cultivares de arroz, han sido desarrollados para condiciones de riego por inundación. Los cultivares para riego desarrollan el sistema de raíces en las capas superiores del suelo (0.20 m) y los de secano adaptados a secas, el 90% de las raíces se forman a mayor profundidad (0.40 m) (Hasegawa y Yoshida, 2012). Entre las nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia de uso de agua, los sistemas aeróbicos de producción son los más eficaces, y se están aplicando con éxito en China, con cultivares adaptados a estos manejos de agua, y con la ventaja adicional de reducir las emisiones de metano.

4.3.1 Rendimiento en arroz cáscara

Los resultados del análisis de variancia, para rendimiento en grano (**Cuadro 33**), indican que no hubieron diferencias significativas entre los dos sistemas de manejo del agua, que en promedio fueron de 9.26 t ha⁻¹ para el tratamiento de inundación continua y de 9.48 t ha⁻¹, para suelo saturado. Estudios realizados en Estados Unidos, evaluaron el cultivar Cocodrie

en tres regímenes de riego (aerobico, saturado e inundado) y no encontraron diferencias estadísticas en el rendimiento (Dou et al., 2016).

Cuadro 33. Análisis estadístico de manejo de agua y cultivares de arroz

Fuente	GL	SC	CM	F	P valor	Nivel de significación
Repetición	2	2.23400	1.1170	3.969	0.201	NS
Manejo de agua	1	0.6143	0.6143	2.183	0.278	NS
Error (a)	2	0.5629	0.2814			
Cultivares	7	30.984	4.426	10.195	0.0000275	*
Riegos x cultivares	7	3.544	0.506	1.166	0.353	NS
Error (b)	28	12.156	0.434			
Total	47	50.09520				

CV(a)= 5.66% CV(b)= 7. 03%

Thompson et al. (1999) y Tabbal et al. (2002), señalaron la efectividad en términos de rendimiento y productividad utilizando el manejo de suelo saturado versus el suelo inundado. Kima et al. (2014), evaluaron cuatro tratamientos de riego (120, 180, 240 y 300% de suelo saturado con láminas de 2, 3, 4 y 5 cm de altura). Los resultados indicaron que no hubieron diferencias estadísticas en los diferentes tratamientos (5.71, 5.02, 4.35, 4.78 t ha⁻¹) respectivamente. Borrel et al. (1997), señalaron que no existieron diferencias significativas en el rendimiento, cuando se comparó el tratamiento de manejo de inundación continua versus los tratamientos de manejo de suelo saturado y de inundación y secado.

En los cultivares, en promedio para los dos sistemas de manejo de agua, si hubieron diferencias significativas, siendo Mallares y La Puntilla, los que tuvieron los mayores rendimientos con 10.41 y 10.26 t ha⁻¹, que no fueron significativamente diferentes entre sí, y fueron semejantes a los de IR-43 y Tinajones.

Los cultivares fueron superiores a las líneas promisorias, Universidad 31-89/CT97418-132-1-M-M-1-1 y Universidad 31-89/CT97418-131-1-M-M-1-1, que alcanzó el menor rendimiento (**Cuadro 34**). Dou et al. (2016), señalan la importancia de la selección del

cultivar al decidir el método de riego a utilizar . En promedio los cultivares tuvieron mayores rendimientos que las líneas promisorias, que rindieron 10.10 y 8.86 t, respectivamente.

Cuadro 34. Rendimiento en grano en t ha⁻¹ de cultivares y líneas promisorias de arroz, bajo dos sistemas de manejo de agua

Manejo de agua	Rdto. (t ha ⁻¹)	Nivel de significación	Cultivares	Rdto. (t ha ⁻¹)	Nivel de significación
Suelo inundado	9.26	a	Mallares	10.41	a
Suelo saturado	9.48	a	La Puntilla	10.26	a
			IR-43	9.91	ab
			Tinajones	9.70	ab
			CT 9748-13-2-1-M-M-1-1-1- FL595-128-1-1P-M	9.40	a
			IR-70177-19-2-B-1- 3/5CM32-2/EMPASC105	8.80	cd
			Universidad 31-89/CT97418- 132-1-M-M-1-1	8.33	d
			Universidad 31-89/CT97418- 131-1-M-M-1-1	8.15	d

Dentro de la columna, los rendimientos con una misma letra, no son significativamente diferentes entre sí, según la prueba de Tuckey, al 0.05%.

4.3.2 Relación entre producción de materia seca y rendimiento

Hubo una estrecha relación entre producción de materia seca a la maduración y rendimiento de grano en ambos tratamientos de manejo de agua (**Figura 53**), lo cual coincide con lo reportado por Fageria (2007), pues los cultivares que tuvieron mejor producción de materia seca, alcanzaron los mayores rendimientos de grano.

4.3.3 Relación entre índice de cosecha y rendimiento

Los índices de cosecha (**Figura 54**) variaron de 0.50 a 0.45. Mayores índices de cosecha se relacionaron con mayores rendimientos en grano. Para un mismo genotipo, no hubo grandes variaciones en índice de cosecha. Los máximos valores alcanzados fueron 0.50 en cultivares de rendimiento de 10 t ha⁻¹, en suelo saturado; pero en suelo inundado, cultivares con rendimientos de 10 t ha⁻¹, tuvieron menores índices de cosecha (0.46). A igualdad de rendimiento, los índices de cosecha varían (Fageria, 2007).

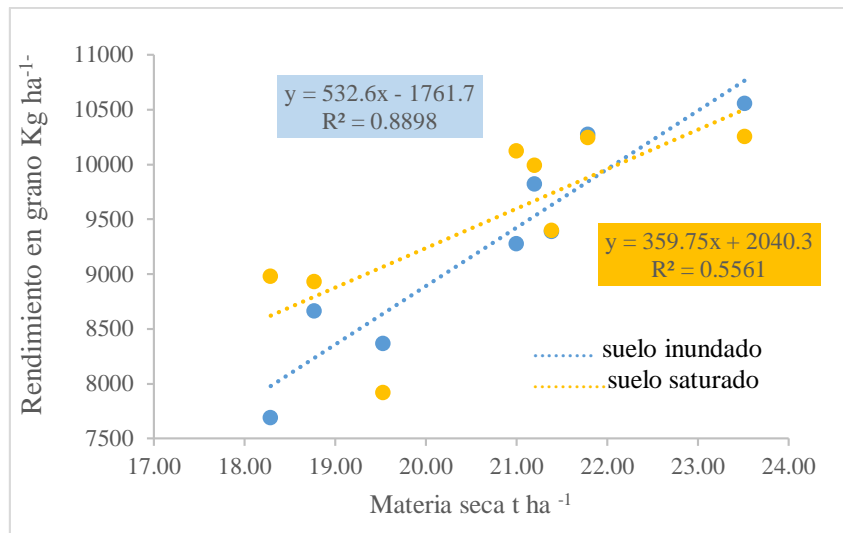


Figura 53. Regresión entre materia seca a la maduración y rendimiento en grano en suelo inundado y suelo saturado



Figura 54. Regresión entre índice de cosecha y rendimiento en grano influenciado por el manejo de agua en suelo inundado y en suelo saturado

4.3.4 Consumo de agua

Las precipitaciones durante el desarrollo del experimento fue de 646 mm. Al tratamiento de inundación continua, se le aplicó 5200 m³, incluyendo el riego de germinación de 1200 m³, para mantener una altura de agua de 5 a 10 cm. En total este tratamiento consumió 11,660 m³ ha⁻¹ (646 mm que corresponde a las precipitaciones registradas durante la conducción del estudio y 520 mm corresponden a los volúmenes de agua aplicados).

El tratamiento de suelo saturado, recibió un riego de germinación de 1192 m³ ha⁻¹, no recibiendo riegos adicionales, porque el agua de las precipitaciones mantuvo el suelo en

saturación, con humedad suficiente para el crecimiento vegetativo. Sí se adicionan a la precipitación de 646 mm, y los 90 mm aplicados en la fase reproductiva, el volumen de agua que recibió este tratamiento fue 8552 m³. El agua de riego aplicado fue menor en 3108 m³, que es la diferencia del volumen aplicado en el tratamiento inundado (11,660) y el tratamiento saturado (8,552). Traore et al. (2010), indican que es urgente mejorar la eficiencia de uso de agua en los sistemas de producción. Estudios realizados por Tabbal et al. (1992), señalan que con el manejo de suelo saturado, se obtuvo una eficiencia de uso de 40%. Borrel et al. (1997), refiere haber alcanzado una eficiencia de uso en un rango de 24 a 30%.

La saturación del suelo, suministró el agua requerida para el crecimiento de las plantas, demostrándose que la inundación continua, no es necesaria para obtener altos rendimientos (10 t ha⁻¹), que se pueden alcanzar, sin competencia de malezas (Laffitte y Bennett, 2002; Wu et al., 2017). En arroz, las pérdidas más grandes de agua son por percolación e infiltración. Al mantenerse la napa freática alta por efecto de las lluvias y por la humedad de los campos vecinos de arroz inundado, estas pérdidas fueron mínimas para el caso de este estudio.

Bajo inundación continua, la productividad del agua fue de 0.810 Kg de arroz cáscara por m³ de agua consumida desde la siembra a maduración fisiológica del grano y en suelo saturado, fue de 1.10 Kg de arroz cáscara m⁻³ de agua. Hubo un incremento de 290 g m⁻³ de agua. Borrel et al. (1997), obtuvieron una productividad del agua de 0.82 Kg de arroz cáscara por m³ de agua consumida.

4.3.5 Correlación entre los diferentes índices de tolerancia a estrés y rendimiento medio de cultivares de arroz en condiciones de suelo saturado y suelo inundado

En el **Cuadro 35**, se observa que el indicador índice de susceptibilidad al estrés (ISE) con productividad media geométrica (PMG), productividad media (PM) e índice de tolerancia al estrés (ITE) muestran correlación negativa con valores porcentuales bajos, que van de 0.283, 0.276, 0.29 y 0.292 respectivamente. Las correlaciones positivas se dan con el índice de rendimiento (IR), índice de estabilidad de rendimiento (IER) y el índice de resistencia al estrés (IRS) en porcentajes bajos (0.0646) y altos (1), respectivamente.

Cuadro 35. Correlación entre diferentes índices a la reducción de la lámina de agua y el rendimiento medio de cultivares de arroz en condiciones de suelo inundado y suelo saturado

	R1	R2	ISE	PMG	PM	MA	ITE	IR	IER	IRS
ISE	-0.540	0.063	1.000							
PMG	0.960	0.939	-0.283	1.000						
PM	0.958	0.941	-0.276	1.000	1.000					
MA	0.962	0.936	-0.290	1.000	1.000	1.000				
ITE	0.963	0.934	-0.292	0.999	0.999	0.999	1.000			
IR	0.804	1.000	0.064	0.939	0.941	0.936	0.934	1.000		
IER	-0.540	0.063	1.000	-0.283	-0.276	-0.290	-0.292	0.064	1.000	
IRS	-0.540	0.063	1.000	-0.283	-0.276	-0.290	-0.292	0.064	1.000	1.000

R1= Rendimiento del cultivar en condiciones óptimas (potencial), R2= Rendimiento de un genotipo dado en condiciones de estrés, ISE= índice de susceptibilidad al estrés, PMG=Productividad media geométrica, PM=Productividad media, MA=Media armónica, ITE=Índice de tolerancia al estrés, IR=Índice de rendimiento, IER=Índice de estabilidad de rendimiento e IRS=Índice de resistencia al estrés.

En el caso del indicador PMG, muestra alta correlación positiva con PM, MA, ITE e IR con 1 y 0.939% respectivamente. Hay correlación negativa con con IER e IRS y en bajo porcentaje (0.283) respectivamente. En el caso del indicador PM, muestra alta correlación positiva con MA; ITE e IR con 1 y 0.941, respectivamente. Existe correlación negativa con IR e IRS y en bajo porcentaje (0.276) respectivamente. El indicador MA muestra alta correlación positiva con ITE e IR con 0.999 y 0.936, respectivamente. Existe correlación negativa con IER e IRS y en bajo porcentaje (0.29) respectivamente. El indicador ITE, muestra alta correlación positiva con IR en 0.93 y correlación negativa con IER e IRS y en bajo porcentaje (0.292), respectivamente. En relación al indicador IR muestra baja correlación positiva con IER e IRS con 0.064 respectivamente. Finalmente el IER tuvo correlación positiva perfecta con IRS (1).

La correlación, entre los índices de selección en el tratamiento de suelo saturado y el rendimiento de los genotipos indica que la productividad media geométrica y productividad media, serían los índices adecuados para la selección de genotipos con tolerancia a suelo saturado.

4.3.6 Análisis cluster de los genotipos en en condiciones de suelo saturado y suelo inundado

En el dendograma de análisis cluster (**Figura 55**), los genotipos se distribuyen en dos grandes grupos: los que alcanzan los altos rendimientos en condiciones de inundación y suelo saturado (Mallares y La Puntilla) y los genotipos que tienen los rendimientos bajos en ambos ambientes. Mallares y la Puntilla, tuvieron un rendimiento de 10.41 y 10.26 respectivamente. El otro grupo está formado por los cultivares IR-43, Tinajones y la línea promisoriosa CT9748-13-2-1-M-M-1-1-FL595-128-1-1P-M, que mostraron rendimientos de 9.91, 9.70 y 9.40 t ha⁻¹. Las líneas promisorias Universidad 31-89/CT97418-132-1-M-M-1-1, IR-70177-19-2-B-1-3/5CM32-2/EMPASC105 y Universidad 31-89/CT97418-131-1-M-M-1, son los más inestables.

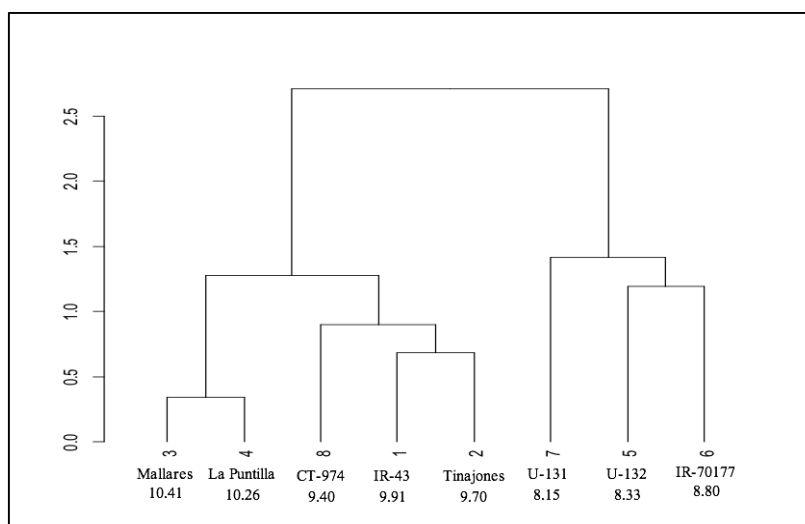


Figura 55. Dendograma de análisis cluster de genotipos basado en índices de selección y rendimiento en grano en condiciones de suelo inundado y suelo saturado

En el análisis AMMI (**Figura 56**), se observa que los cultivares, Mallares y la Puntilla, son los más estables en ambas condiciones de suelo inundado y suelo saturado, Las líneas promisorias Universidad 31-89/CT97418-132-1-M-M-1-1, IR-70177-19-2-B-1-3/5CM32-2/EMPASC105 y Universidad 31-89/CT97418-131-1-M-M-1, son los más inestables.

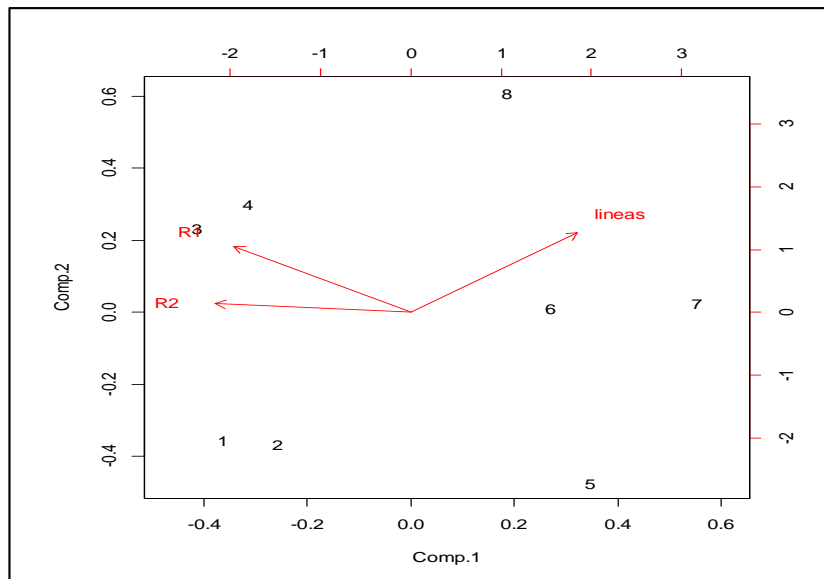


Figura 56. Gráfico Biplot de componentes principales para rendimientos de manejo de agua y cultivares

4.3.7 Análisis tridimensional de los genotipos con adaptación a suelo saturado y suelo inundado

El gráfico tridimensional (**Figura 57**) del índice de productividad media geométrica, selecciona los genotipos 3 (Mallares) y 4 (La Puntilla), como los más adaptados a las condiciones de manejo de suelo inundado y suelo saturado. Independientemente los genotipos 1 y 2 tienen una buena respuesta en rendimientos y en ambos ambientes. Selecciona el genotipo 7, como el de más baja respuesta.

El gráfico de productividad media selecciona los mismos genotipos, 3 y 4 como los de mejor comportamiento en suelo inundado y saturado. El gráfico de productividad media armónica muestra que los mismos cultivares (3 y 4) son los de mejor respuesta.

En el mundo, las siembras de arroz, en los ecosistemas de riego, realizan el manejo de agua por inundación, con láminas de agua muy variables. Frente a la escasez de agua, se adoptó reducir el grado de inundación, pero los rendimientos descendieron debido a los cambios fisiológicos y a la alta competencia de malezas (Bouman y Tuong, 2001).

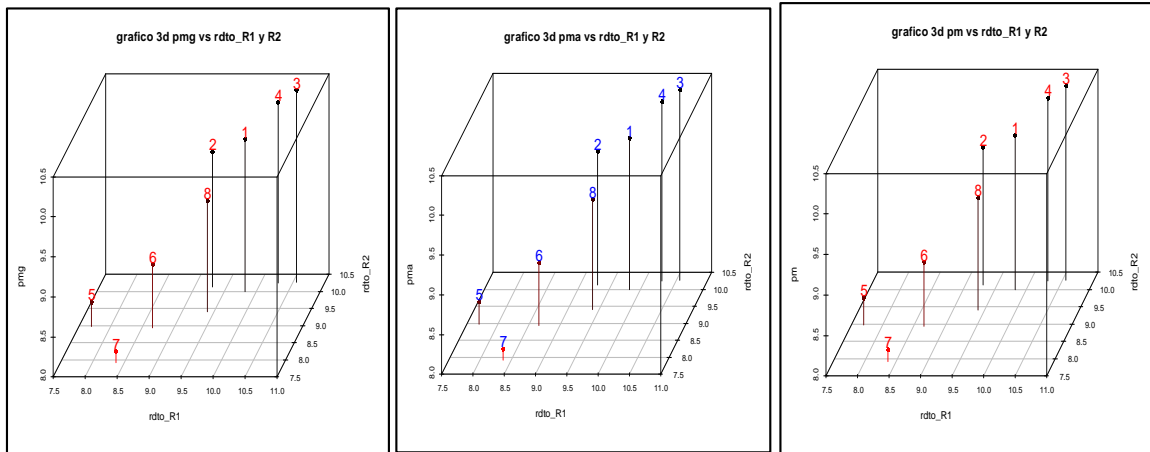


Figura 57. Gráficos tri-dimensionales de potencial de rendimiento de genotipos manejados en condiciones de suelo inundado y suelo saturado de los índices de Productividad media geométrica, Productividad media armónica y Productividad media.

El arroz no necesita crecer en condiciones de inundación continua (Laffitte y Bennett, 2002). Manteniendo el suelo saturado, se puede reducir el consumo de agua hasta en un 50%, sin afectar el rendimiento en grano (Thiyagarajan et al., 2002).

En este estudio, los rendimientos alcanzados en suelo saturado son tan altos (10 t ha^{-1}) como en los obtenidos en condiciones de inundación. La condición de suelo saturado no reduce los rendimientos. El arroz se puede manejar con una lámina delgada de agua, dependiendo de las condiciones ambientales y duración de periodo de cultivo (Senthilkumar, 2008).

El termino “secas” en uso actual, en el ambiente arrocero nacional, abarca una serie de condiciones de humedad de suelo, tornándose muy impreciso. No existe un indicador que precise esta condición.

Cuando el suelo se rehmedece, después de las “secas”, se produce menor formación de biomasa, por el menor crecimiento vegetativo, afectando el rendimiento (Yang et al., 2017). En condiciones de inundación, los macollos productivos son mayores (Chaudry y Mc Lean, 1963), pero las características genotípicas son determinantes.

Para el mejoramiento de uso de agua, se requiere mejorar la tolerancia al estrés, y para ello, se requiere de nuevos cultivares, adaptados a las condiciones de mayor temperatura y menor

disponibilidad de agua. La eficiencia de uso de agua puede mejorarse aumentando el índice de cosecha, sin comprometer el rendimiento (Yan et al., 2010). En este estudio la productividad del agua en suelo inundado fue de 0.81 Kg m⁻³ de agua aplicada y en suelo saturado de 1.10 Kg m⁻³ de agua aplicada.

La ejecución de este experimento en una gama de suelos y condiciones de manejo, permitiría un mejor entendimiento de las relaciones planta-suelo saturado para su adopción.

4.3.8 Calidad molinera

El análisis de variancia (**Cuadro 36**) indica que entre los métodos de inundación y suelo saturado no hubo diferencias significativas en los rendimientos de molinería, alcanzando valores de 67.3% para inundación y 65.9 para suelo saturado para la característica de grano entero.

Cuadro 36. Análisis de variancia de porcentaje de granos enteros

FV	SC	CM	Fcal	Pr > F	Significación
Bloque	0.14	0.14	0.1	0.7561	NS
Riego	15.82	15.82	1.58	0.4278	NS
Error (a)	10.01	10.01	7.29		
Cultivares	89.78	12.83	9.34	0.0002	**
Error (b)	25.28	3.61	2.63	0.0586	
Error	19.22	1.37			
Total	160.26				

CV error (a)= 4.75. CV error (b)= 1.76

Los métodos de riego, no modificaron esta característica que es inherente al cultivar y al manejo adecuado de la cosecha que se realizó en época oportuna evitando la sobremaduración y a la exposición prolongada de los granos al ambiente.

También se observa en el **Cuadro 37**, en el rendimiento de molinería entre cultivares, hubo significación estadística, alcanzando el cultivar La Puntilla el valor más alto con 68.5% y Mallares 67.7%, sin significación. Los cultivares IR-43 y Tinajones, tuvieron rendimientos más bajos con 66.1 y 65.9%, respectivamente, siendo estadísticamente inferiores a La Puntilla y Mallares. Entre líneas promisorias la CT9748-13-2-1-M-M-1-1-1-FL595-128-1-1P-M (8), alcanzó un buen rendimiento con 68.2 % similar a La Puntilla.

Es interesante resaltar que los cultivares adaptados a la inundación y suelo saturado tuvieron los más altos rendimientos de grano entero.

Cuadro 37. Prueba de Duncan de rendimiento de molinería

Línea	Promedios %	Significación Duncan 0.05%
La Puntilla	68.50	a
CT9748-13-2-1-M-M-1-1-1-FL595-128-1-1P-M	68.22	a
Mallares	67.67	ab
IR-43	67.05	ab
Universidad 31-89/CT97418-132-1-M-M-1-1	66.13	a
IR-70177-19-2-B-1-3/5CM32-2/EMPASC105	66.03	b
Tinajones	65.95	b
Universidad 31-89/CT97418-132-1-M-M-1-1	62.88	c

⁽¹⁾Promedio de los dos sistemas, y dos repeticiones: Muestras de 100 g de arroz cáscara en molino de prueba Zaccaria.

4.4 CARACTERIZAR EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ARROZ, EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA COMISIÓN DE REGANTES DE FERREÑAFE DEL VALLE CHANCAY, LAMBAYEQUE

4.4.1 Entrevistas a expertos

Para corroborar, sí los temas de investigación seleccionados en este estudio, solucionarían aspectos importantes de la problemática de producción de arroz del valle Chancay, Lambayeque, se hicieron entrevistas a profesionales vinculados al cultivo de arroz, y que por su experiencia como cultivadores y formación profesional, expondrían los problemas más importantes que afectan al cultivo.

Los objetivos planteados tuvieron alta relación con lo manifestado por los expertos y con la identificación de los factores limitantes del cultivo.

Todos coincidieron que la presencia de insectos plagas y enfermedades eran los factores de mayor efecto en las pérdidas de cosecha. La alta incidencia de *Hydrellia wirthii* y *Tagosodes oryzae*, vector del virus de la Hoja Blanca, en los estados de plántula, afectaban

negativamente el crecimiento, retrasando la extracción de plántulas en los almácigos, para ejecución de los trasplantes. Los agricultores protegen los almácigos y los trasplantes tempranos realizando varias aplicaciones de insecticidas para el control, contaminando el ambiente y exponiendo a los obreros aplicadores a daños de salud. Los síntomas de Hoja Blanca, se presentan a los 30 días después de la inoculación del virus por el vector. No tiene control químico; sin embargo, los agricultores realizan varias aplicaciones de pesticidas, tratando de disminuir los daños.

Estas plagas, favorecidas por el aumento de temperatura y presencia de lluvias, por efecto del cambio climático, han formado varias generaciones, durante el ciclo de crecimiento del cultivo, la susceptibilidad varietal a los insectos y al virus, está creando preocupación entre los agricultores porque incrementan los costos de producción y bajan los rendimientos.

El cultivar La Puntilla, tiene resistencia moderada al virus VHB, de altos rendimientos, pero de aceptación moderada por los molineros.

Los ataques de la bacteria *Burkholderia glumae*, aunque de baja incidencia, es una plaga nueva de gran potencial destructivo. Los daños causados en Tumbes y Piura en 2,016 y 2,017, redujeron los rendimientos, hasta un 50% (4000-5000 Kg ha⁻¹), y por el desconocimiento de la epidemiología de la enfermedad y los métodos de su control.

La formulación de un plan integrado de plagas, contribuiría a reducir el impacto negativo ambiental por reducir el número de aplicaciones de agroquímicos contemplando alternativas más sustentables, como el control biológico, etológico, cultural, el uso de biocidas, etc., y dejar de exponer a los obreros de campo a recurrentes aplicaciones de agroquímicos que afectan su salud y a la población cercana a los campos de cultivo.

La tecnología de producción, permite obtener 10 a 12 t ha⁻¹, pero consideran que el sistema de trasplante con que actualmente se siembra el arroz, no aseguraría alta rentabilidad para los próximos años, por los costos crecientes de producción. La cantidad de mano de obra requerida por ha⁻¹, con un precio alto, en competencia con los cultivos de agroexportación, y construcción, reduciría gradualmente la rentabilidad.

En el sistema actual, los grandes volúmenes de agua, con que se maneja el cultivo, genera la salinización de los suelos. Diseñar métodos de riego, que consuman menos agua para mejorar su uso, sería una opción apropiada para el valle Chancay para enfrentar la escasez de agua en la agricultura, por efecto del cambio climático.

El componente genético tiene gran influencia, los cultivares actuales maduran entre 150-160 días. Con cultivares de menor periodo de maduración, el consumo de agua disminuiría (140-135 días) y los métodos de siembra cambiaría del trasplante a la siembra directa. En la parte baja del valle, existen grandes áreas de suelos salinos, con diferentes contenidos de sales. Para estas áreas, cultivares con tolerancia a la salinidad de suelos deberían desarrollarse, para mejorar el nivel socio-económico de los pequeños agricultores que explotan estos suelos.

La asistencia técnica pública no existe. Los medianos y pequeños agricultores, requieren de cursillos que los actualice en el manejo de fertilizantes y control de plagas. La asistencia técnica privada es limitada.

El uso de semilla sana, para el control de enfermedades es una forma de limitar la difusión de hongos patógenos. Incentivar el uso de semilla certificada mejoraría también la calidad molinera.

Los recursos públicos insuficientes se refleja en la carencia de nuevas opciones tecnológicas relacionadas a manejo de plagas, en la baja eficiencia de uso de los recursos de producción y en los pocos eventos de transferencia de tecnología. Los investigadores manifestaron que tienen grandes limitaciones económicas para el desarrollo de nuevos cultivares, para el manejo integrado del cultivo y transferencia de tecnología. Requieren modernización de laboratorios, capacitación especializada, formación de nuevos cuadros de profesionales jóvenes e integración y plataformas científicas.

En la **Figura 58** y en el **Cuadro 38** se puede observar los resultados más importantes de las entrevistas a los expertos.

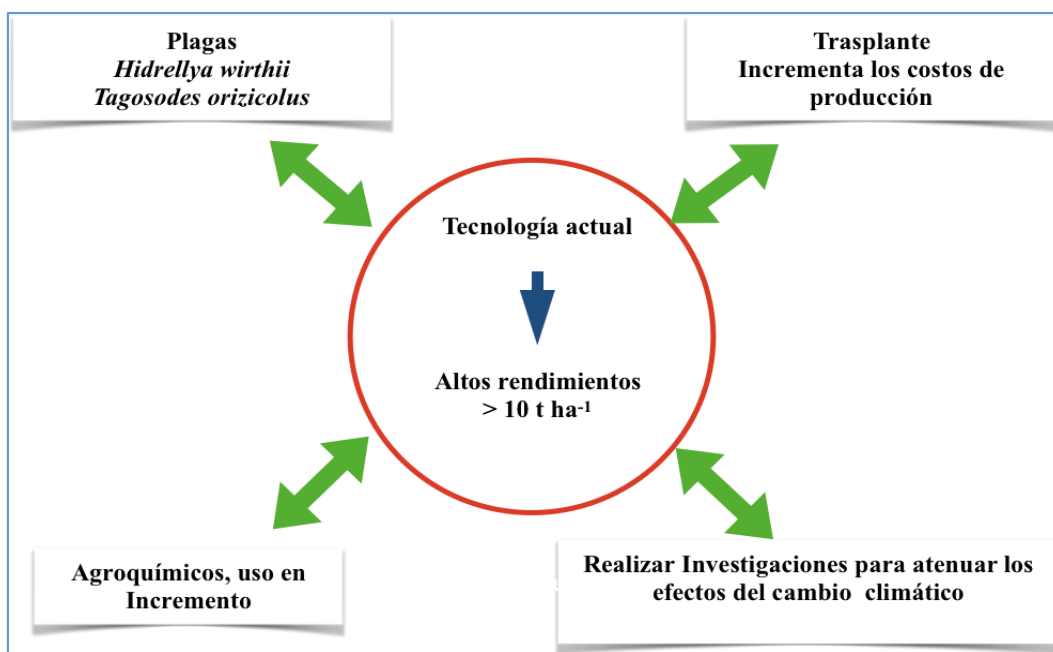


Figura 58. Limitaciones y recomendaciones relevantes de las entrevistas a expertos arroceros acerca del sistema actual de producción de arroz

Cuadro 38. Limitantes en el sistema de producción del cultivo de arroz en el valle Chancay, Lambayeque, según análisis de los expertos

Factores limitantes	Efectos en los rendimientos	Solución posible
Plagas y enfermedades	Afectan la tasa de crecimiento de las plantas reduciendo el rendimiento	Diseñar un plan integrado de plagas
Sistema de siembra	El trasplante requiere de suelos preparados al batido, alto consumo de agua y elevados costos de producción	Sistemas de producción de bajos requerimientos de agua y sustitución progresiva del trasplante
Cultivares susceptible a enfermedades	Las epidemias reducen el rendimiento. El control químico impacta negativamente al ambiente. Nuevas enfermedades surgen por efecto del cambio climático	Cultivares de alto potencial de rendimiento, resistente al virus de la hoja blanca, resistencia moderada a <i>Nakataea sigmoideum</i> , <i>Sarocladium oryzae</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> y métodos de control a <i>Burkholderia glumae</i>
Limitados recursos hídricos	El cultivo de arroz con las tecnologías disponibles, consume grandes volúmenes de agua (14,000-17,000 m ³)	Cultivares precoces (130-140 días de maduración) adaptados a bajo consumo de agua
Ausencia de capacitación	Niveles altos de aplicación de N ha ⁻¹ (240-360 Kg Nha ⁻¹), uso de almácigos fisiológicamente viejos (40 días)	Uso de niveles óptimos de N, época de siembra oportuna

4.4.2 Caracterización de agricultores y sistemas de producción de agricultores pertenecientes a la comisión de regantes de ferreñafe

La caracterización de los agricultores de la Comisión de Regantes de Ferreñafe, se realizó en los talleres que se organizaron para evaluar el estado de conocimiento en relación a las tecnologías de manejo de agua y de fertilizantes que permitieran una mayor eficiencia y menos emisiones de gases de efecto invernadero al ambiente. Se levantaron las encuestas en los agricultores que pertenecían a la Comisión de Regantes de Ferreñafe. Las encuestas permitieron comparar la percepción que se tuvo al plantear los objetivos de esta investigación con la de los agricultores. Esta encuesta consideró aspectos socio-económicos y ambientales, la información obtenida permitiría planificar las estrategias de adopción a considerar para transferir esta tecnología y alcanzar gradualmente el escalonamiento de la misma.

a. Aspectos socio económicos

• Edad del responsable de la parcela

En la **Figura 59**, se muestra la edad agrupada de los productores. El 36.9 % tienen entre 60 a más años, es decir, son agricultores de población envejecida. Solo el 13.59% tiene entre 22 a 39 años; mientras que un segmento de agricultores en edad de madurez está representado por un 49.51%. Esta información permite confirmar que el interés de la población joven por la producción de arroz es mínima, debido a la poca valoración por el trabajo de campo.

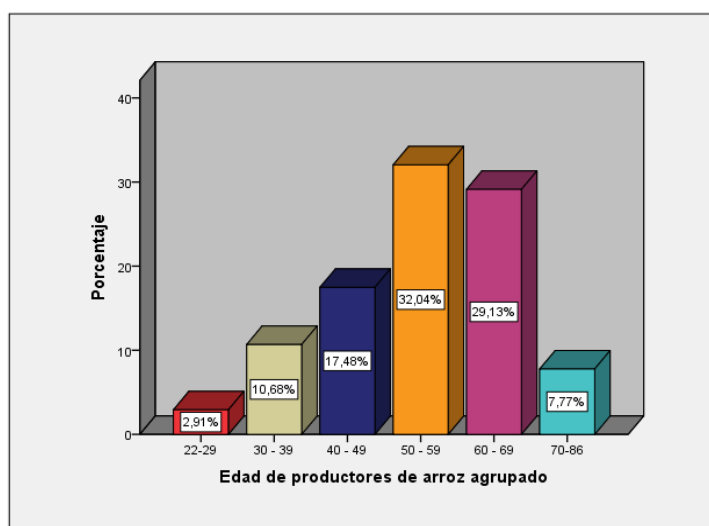


Figura 59. Edad de productores de arroz

Sin embargo, es importante, considerar a este segmento para la adopción de nuevas tecnologías al poder ser ellos los generadores del cambio por tener mayor probabilidad de influir en sus padres.

- **Sexo del responsable de la parcela**

La variable categórica que muestra el sexo de los encuestados, indica que la actividad de producción de arroz es conducida en mayor porcentaje por el sexo masculino que representa el 85,44 % con 89 individuos y para el sexo femenino, sólo se dedican a la producción de arroz 16 mujeres que son el 14,56% (**Figura 60**). Los productores de arroz siguen la tendencia de la mayoría de lo cultivadores, que conducen los predios agrícolas por ser hombres, y son los jefe de hogar, utilizando su fuerza laboral en la conducción del predio, mientras que las mujeres se dedican a las labores de casa. Sin embargo en los últimos años se puede observar la incorporación de la mujer en las labores de trasplante y contribuyendo a la economía del hogar a través de la mano de obra que ofrece en la época de trasplante. En estratos más altos, se observa la participación de la mujer administrando fundos y empresas productoras de semillas.

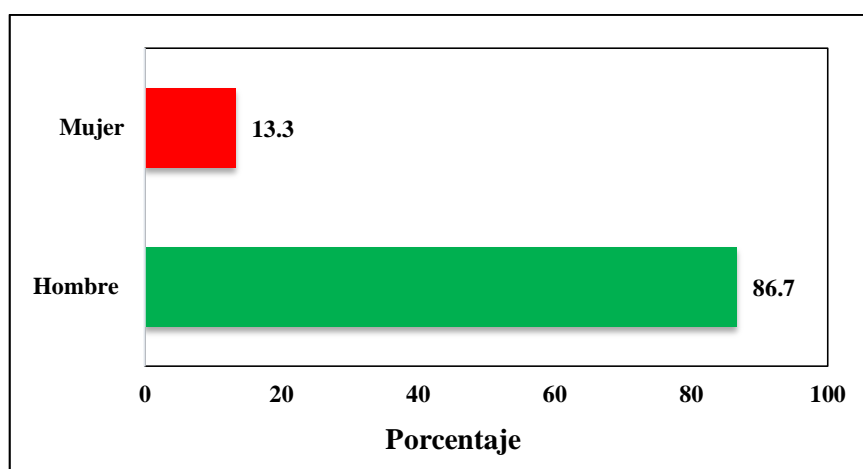


Figura 60. Sexo del responsable de la parcela

- **Lugar de residencia del responsable de la parcela y nivel de educación**

En relación a la variable residencia y nivel de educación del responsable de la parcela, los que viven en la ciudad, fueron los que tuvieron mayor posibilidad de ser educados en los diferentes niveles (superior, secundaria y primaria) (**Figura 61**).

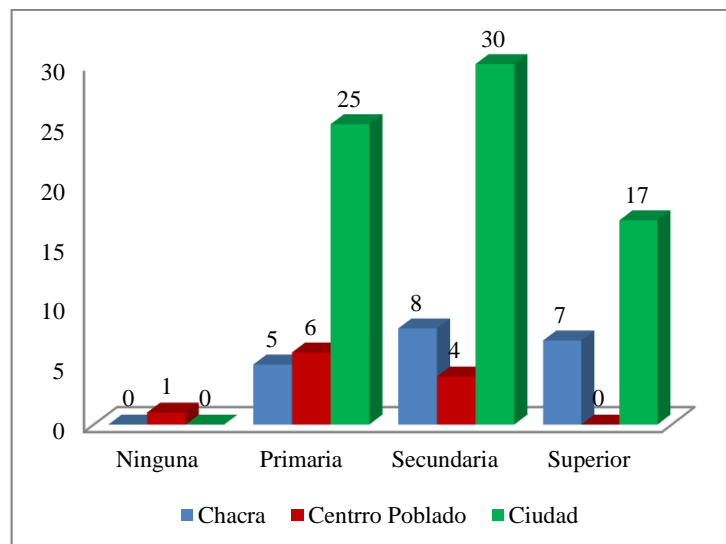


Figura 61. Lugar de residencia del responsable de la parcela y nivel de educación

Es importante notar que a pesar de vivir en la chacra, existe un número de agricultores con formación superior, y esto se podría deber a los esfuerzos individuales de la familia por mejorar las condiciones de vida.

- **Crianza de animales**

Con respecto a la crianza de animales, la **Figura 62**, muestra que el 80.58% no cría animales y solo el 19.42% si lo hacen. Esto corrobora que mas del 80% de los productores de arroz no tienen actividades de crianza de animales como complemento para el ingreso económico, esto debido a que la mayoría no viven en sus parcelas. Los que si se dedican a la crianza, lo hacen con animales menores como, aves, y cuyes para autoconsumo.

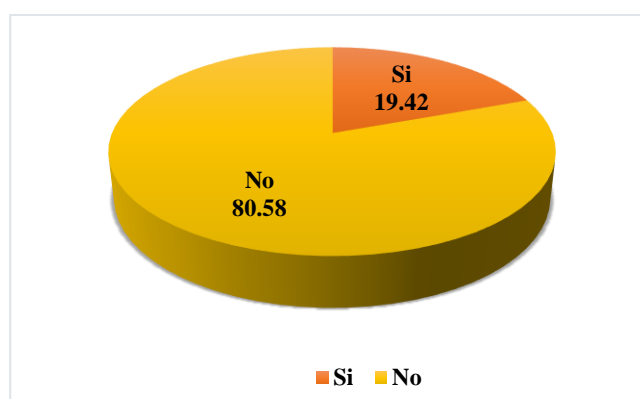


Figura 62. Crianza de animales

- **Diversificación de cultivos**

El 62.14% de los productores manejan solo el cultivo de arroz, mientras que el 37.86% maneja arroz con otros cultivos como maíz, frutales, leguminosas.

Es decir, que la mayoría tiene ingresos por un solo cultivo, que es el arroz, mientras que el 37.86% de los productores tienen un manejo diversificado, que les permite alternativas de ingreso económico (**Figura 63**). Los cultivos que destacan son el maíz, leguminosas como: *Cajanus cajan*, Frijol chileno, garbanzos, etc debido a que existen compradores que se dedican a la exportación. También, frutales, como ciruelas, pacaes, poma rosa, mango, etc. También se puede observar que dentro del 37.86%, el 17.40% de los agricultores produce arroz, maíz y leguminosas.

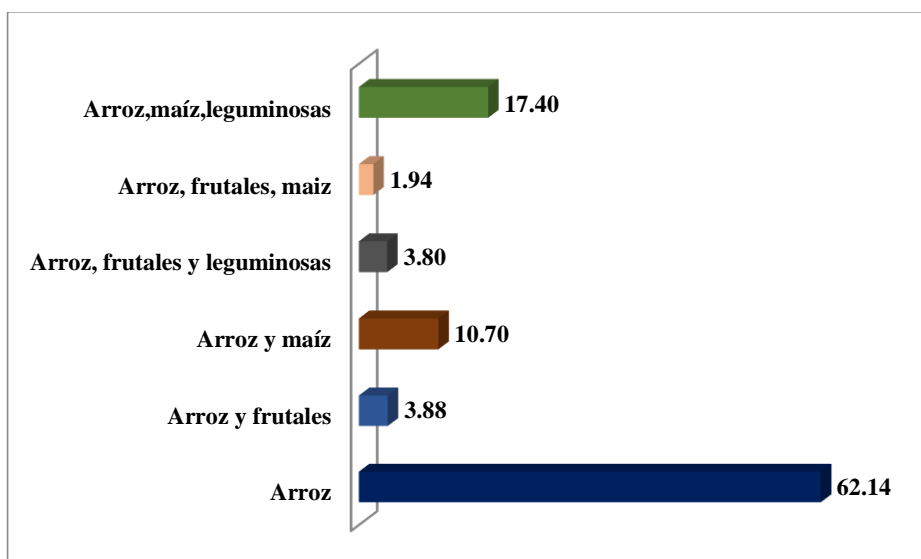


Figura 63. Diversificación de cultivos

- **Integración social**

El 93.7% de los agricultores, pertenecen a dos organizaciones: Junta Nacional de Usuarios de Riego y la Comisión de Regantes a la que pertenecen. En esta última, gestionan sus intenciones de siembra, la aprobación del área de siembra (donde se fija el área y la dotación de agua que debe de pagar), determinación de los periodos de siembra (fijándose el inicio y fin de siembra) y el pago de derecho de agua.

También, se integran a la celebración de las fiestas patronales en las que muestran su agradecimiento al Santo Principal en su ámbito territorial, en la que actúan como

mayordomos para organizar las ceremonias litúrgicas y las atenciones a los miembros de la cofradía. Finalmente, el deporte también los aglutina a través de los clubes de fútbol, que suelen organizar campeonatos (**Figura 64**).

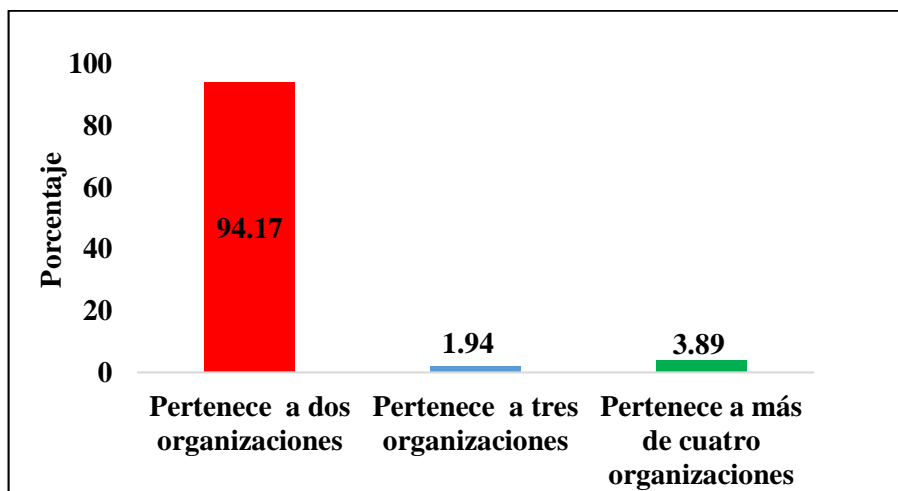


Figura 64. Integración social de los agricultores

- **Calidad de servicio de la salud**

El 67.96% de los agricultores, señalan que donde viven, cuentan con atención médica de buena calidad, por poseer postas médicas con equipos y médicos permanentemente, que serían los que residen en la ciudad. También existen centros poblados, en los que las postas cercanas a las ciudades, suelen tener un equipamiento básico pero con profesionales a tiempo parcial o las postas alejadas que tienen mal equipamiento y atención médica parcial (**Figura 65**).

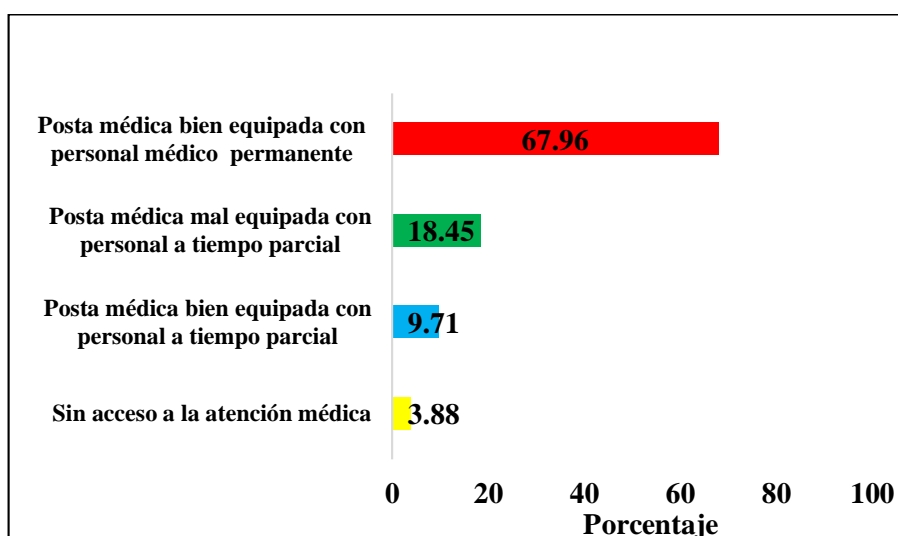


Figura 65. Calidad de servicio de salud

- **Capacitación**

El 87.38% de los agricultores arroceros de la Comisión de Regantes de Ferreñafe, señalaron que son capacitados, principalmente por el Ministerio de Agricultura, a través el Instituto Nacional de Innovación Agraria. También indicaron que las empresas productoras de semillas y distribuidoras de agroquímicos organizan días de campo en los que pueden observar las ventajas de usar semillas mejoradas y los efectos de los pesticidas más eficaces en el cultivo de arroz. Sólo un 12.62%, sostuvo que no recibía ningún tipo de capacitación (**Figura 66**). Es importante, mencionar que los agricultores demandan capacitación en temas de comercialización y alternativas de valor agregado que les permitan comercializar productos elaborados y mejore la rentabilidad la actividad económica que realizan.

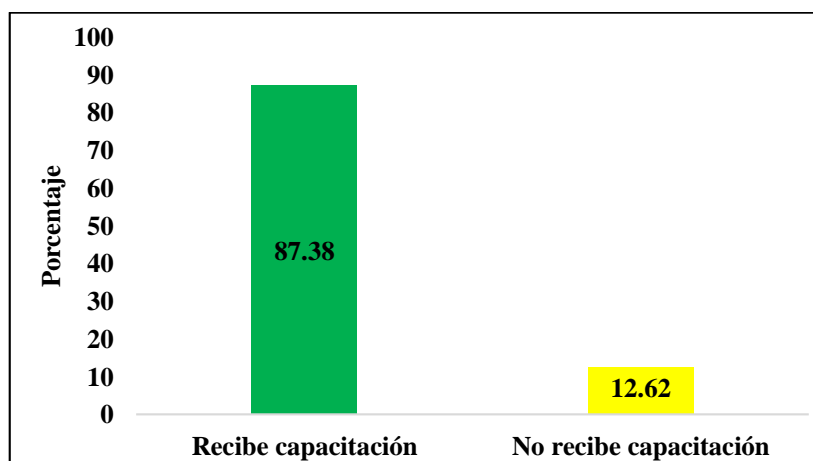


Figura 66. Capacitación que reciben los agricultores

En los últimos años, la UNALM, también está contribuyendo con la capacitación de agricultores en temas como tecnologías de ahorro de agua, uso de menores niveles de nitrógeno y sensibilizándolo a mejorar la sustentabilidad del cultivo del arroz a través de la mejora de la eficiencia de uso.

- **Aceptabilidad del sistema de producción**

La variable aceptabilidad del sistema de producción (**Figura 67**), indica que el 67% de los productores están satisfechos con el cultivo y no lo cambiarían por otro alternativo. Pero existe un segundo grupo que demanda estabilidad del precio, sobre todo cuando existe sobreproducción nacional en el que el precio de 1 Kg de arroz cáscara, puede descender hasta 0.50 centavos de nuevo sol.

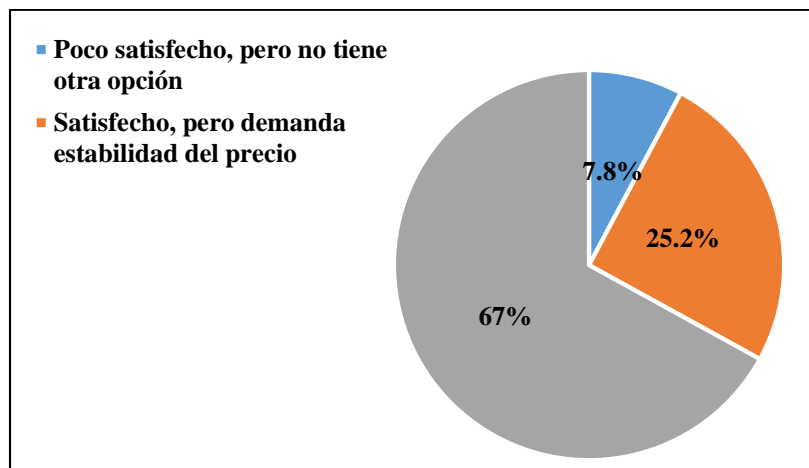


Figura 67. Aceptabilidad del sistema de producción

También se puede apreciar un tercer grupo (7.8%), que se encuentra poco satisfecho con el cultivo de arroz, pero señala no tener otra opción, debido a que su campo está rodeado por cultivo de arroz y no podría instalar otro cultivo, o por experiencias negativas de años anteriores, en los que el precio pactado por otro cultivo que sembraron no fue respetado o por un exceso de descarte, durante la clasificación de los frutos.

- **Tenencia de tierras**

La tenencia de tierras otorga un estatus a los productores. El Ministerio de Agricultura, clasifica a los productores por el tamaño de sus predios. Los productores de arroz se tipifican en pequeños, medianos y grandes productores. El 75.73% son pequeños agricultores y poseen entre 0.20 a 5 ha. Esta información confirma la fragmentación de los predios y la urgente necesidad de organización de los pequeños agricultores, que les permita tener mayor capacidad para la compra de insumos y para comercializar sus productos. Lo mismo se observa en los resultados del Censo Agropecuario (INEI, 2012), en los que se indica que el 82% son pequeños agricultores. Estos resultados, deberían ser considerados por los hacedores de políticas públicas, para promover leyes que impidan que las tierras se sigan fragmentando de generación en generación, en las familias que se dedican a la agricultura, como sucede en otros países (**Figura 68**).

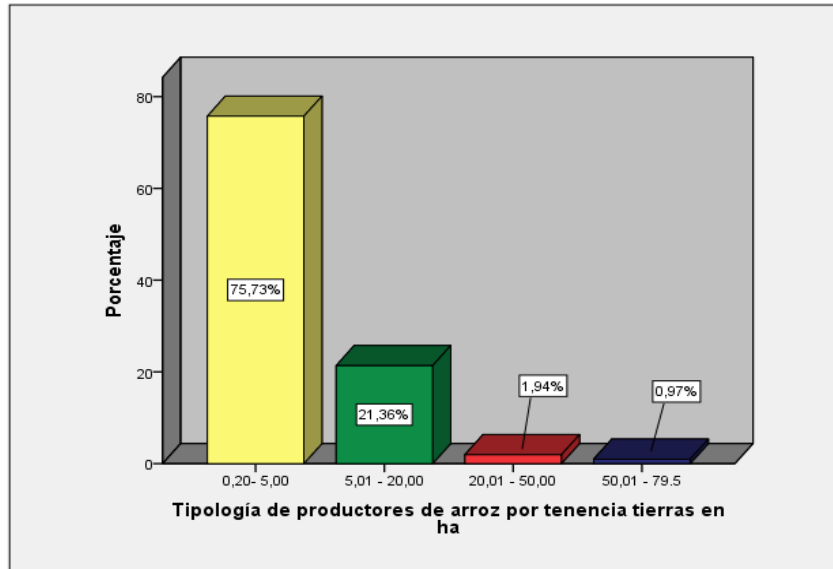


Figura 68. Tipología de los productores por tenencia de la tierra

- **Productividad del cultivo**

La mayoría de los productores arroceros (57.3%) obtiene una productividad que varía de 10 a 8 t ha⁻¹. Le sigue el grupo de arroceros (29.1%) con un rendimiento de 8 a 6 t ha⁻¹. Un 10.7% que son los que aplican mayor tecnología obtienen hasta 12 a 10 t ha⁻¹. Finalmente, el cuarto grupo (2.9%), sólo obtienen rendimientos menores de 6 t ha⁻¹, posiblemente por la tecnología baja con que conducen el cultivo (**Figura 69**).

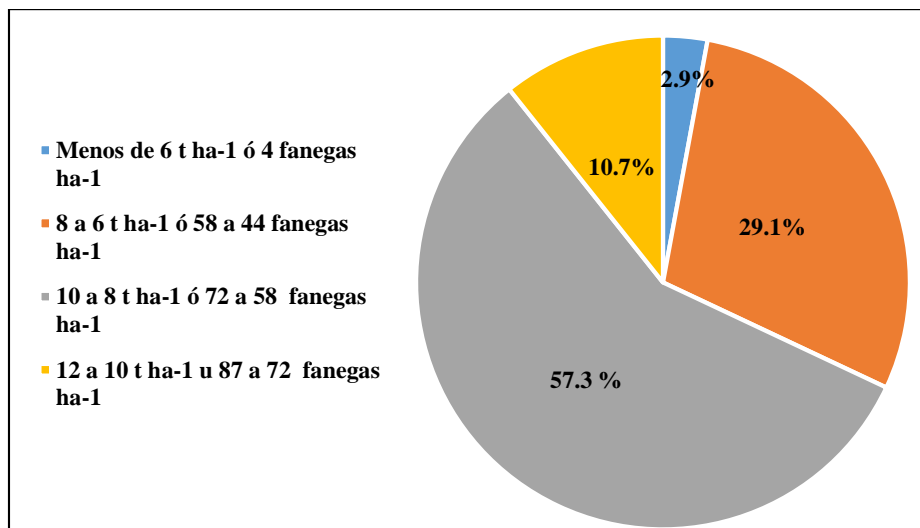


Figura 69. Productividad del cultivo

- **Ingreso neto del agricultor por ha**

La variable ingreso neto por ha, indica que existe un alto porcentaje de agricultores (40.8) que posee ingresos entre 4000 a 3000 soles y con el mismo porcentaje, de 3000 a 2000 soles. También existen agricultores que perciben menos de 2000 soles (11.4%) y los agricultores (6.8%) que tienen un ingreso neto entre 4000 a 5000 soles, que esta basado en la aplicación de un nivel alto de tecnología y solvencia económica para invertir en la campaña y no depender de créditos agrícolas provenientes de los bancos, cajas rurales o molinos. Además, de poseer maquinaria para realizar labores como preparación de suelos y cosechadoras mecanizadas (**Figura 70**).

Contrario a los pequeños y medianos agricultores que en mayor y menor grado dependen de créditos y de préstamo de servicios que reducen el margen de rentabilidad.

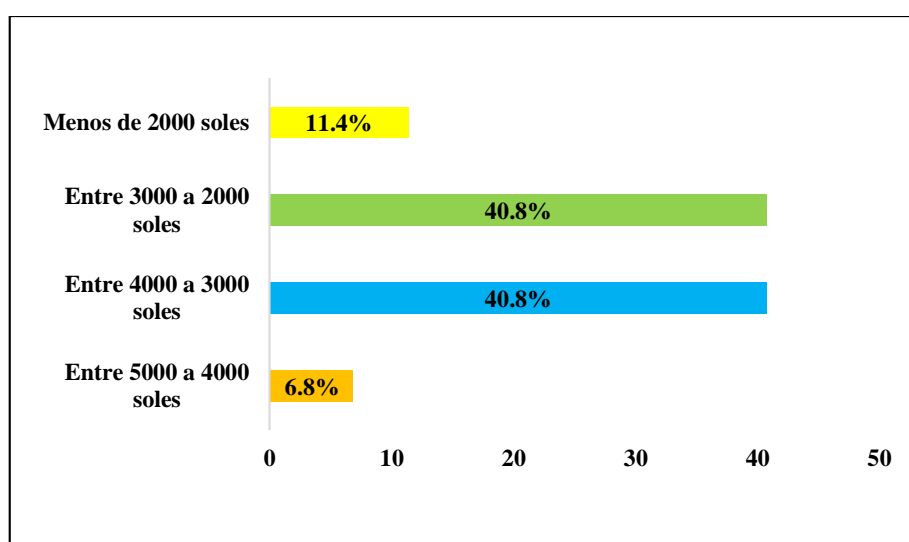


Figura 70. Ingreso neto del agricultor por ha

b. Análisis ambiental

- **Sistema de siembra utilizado**

El sistema de siembra predominante es el de trasplante, por las ventajas que tiene en el control de malezas, las imperfecciones en la nivelación de los suelos, la incorporación de áreas salinas y batido de los suelos que les da mayor capacidad de retención de agua en las pozas de arroz. Se puede observar que el 79.61%, adoptan este sistema de siembra de trasplante con inundación y secas, debido básicamente al sistema de distribución del agua de parte de las comisiones de regantes. El riego se distribuye en el sistema de mita por turnos,

en función a la ubicación en el valle, parte alta, media y baja, por lo que siempre habrá un periodo del cultivo en la que el arroz no permanecerá inundado. Otro grupo de agricultores (11.65%), señaló que ellos manejan el cultivo bajo el sistema de trasplante pero con inundación permanente durante todo el cultivo. Se les preguntó como podían mantener siempre el cultivo en inundación permanente y contestaron que por estar ubicados en las partes bajas del valle (**Figura 71**).

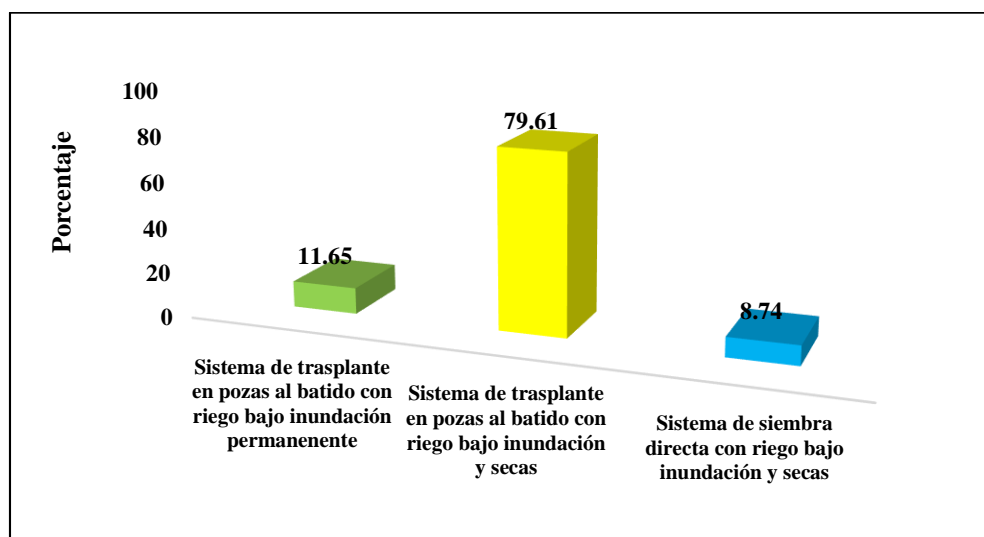


Figura 71. Sistema de siembra utilizado

También existen agricultores que ya han sembrado arroz en forma directa y representan el 8.74%, pero con muchas limitaciones en la disponibilidad de agua en las etapas tempranas del cultivo, lo que no favorecería el cambio del sistema de siembra, de trasplante a siembra directa.

- **Manejo integrado de plagas**

En relación al manejo integrado de plagas, la mayoría de agricultores sólo considera como opción para el control de plagas, el uso de agroquímicos, lo que es muy preocupante, ya que algunos productos no son eficaces, por la resistencia que han alcanzado los insectos. Las plagas que más afectan a los productores arroceros son la mosca minadora (*Hydrellia wirthii*), gusano rojo (*Chironomus xanthus*). Ultimamente, ha afectado fuertemente Sogata (*Tagosodes orizicolus*) que produce daño mecánico pero sobre todo transmite el virus de la Hoja blanca (**Figura 72**).

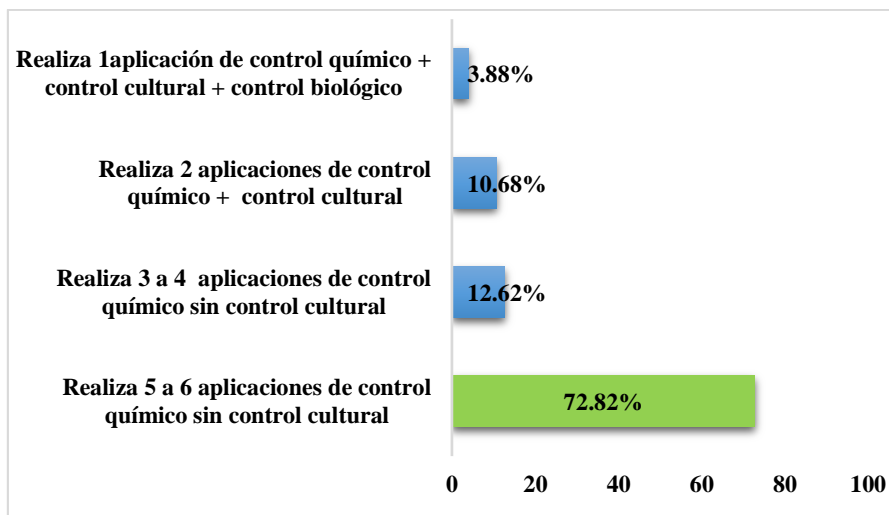


Figura 72. Manejo integrado de plagas

- **Cantidad de fertilizante aplicado por ha**

Los productores arroceros utilizan altos niveles de nitrógeno, porque los cultivares modernos tienen alta respuesta a altas dosis. El 72.8% de agricultores utiliza entre 340 a 320 Kg N ha⁻¹. Le sigue un porcentaje más pequeño (8.7%) con 300 a 280 Kg N ha⁻¹. Otro grupo que representa el 7.8% de arroceros usa, entre 260 a 240 Kg N ha⁻¹. Finalmente el 10.7% fertiliza con una dosis que va de 220 a 200 Kg N ha⁻¹.

Es importante mejorar la eficiencia de uso de nitrógeno, para contribuir a reducir las dosis que utilizan los agricultores, para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del acuífero con nitratos (**Figura 73**).

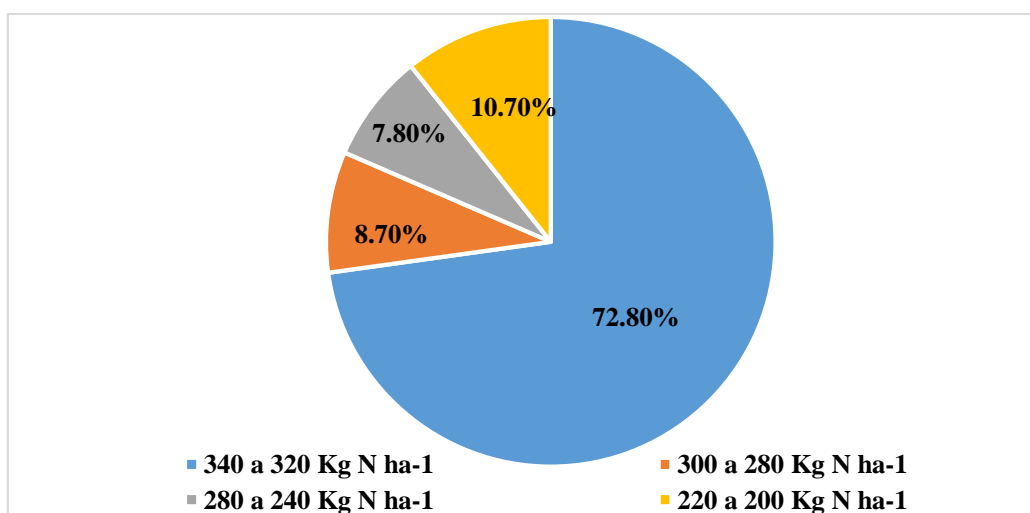


Figura 73. Cantidad de fertilizante aplicado por ha

- **Cantidad de agua aplicada por ha**

El consumo de agua es variable y se puede observar que un 65% utiliza 17000 m³ por ha . El 25.2% utiliza 15,000 m³. Le sigue otro grupo que consume 16,000 m³ y representa al 6.8% de agricultores. Un grupo más pequeño consume menos de 14,000 m³. Es interesante que el productor sea sensibilizado en el uso de este recurso, para mejorar la eficiencia y a la vez la formulación de medidas de políticas, que promuevan el uso racional del agua (**Figura 74**).

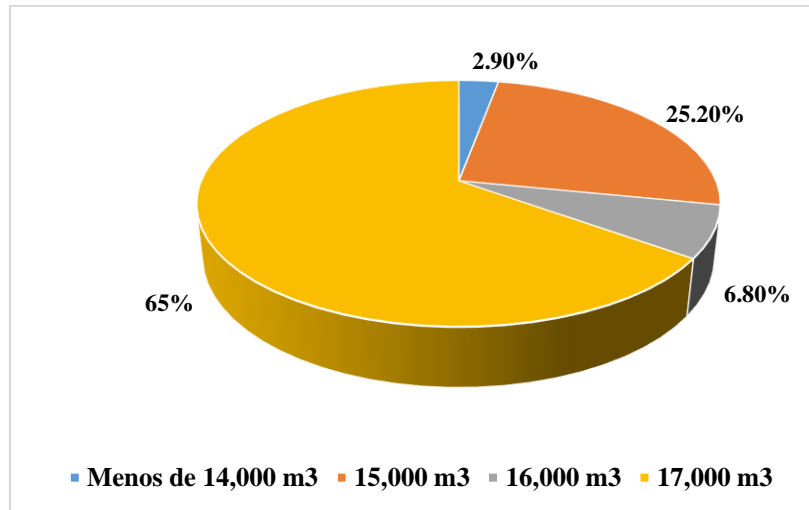


Figura 74. Cantidad de agua aplicada por ha

- **Conocimiento y conciencia ecológica**

En esta variable el 45.6% de agricultores tiene una visión moderada de la ecología, pero parcialmente realizan prácticas con impacto negativo. El 39.8% de los agricultores posee una visión y fundamentos de la ecología y trata de minimizar las prácticas que afectan el ambiente. Existe un 13.6%, que desconoce el concepto de la ecología e ignora el efecto de las malas prácticas. Finalmente el 1% de ellos, desconoce que afecta al ambiente con sus malas prácticas (**Figura 75**).

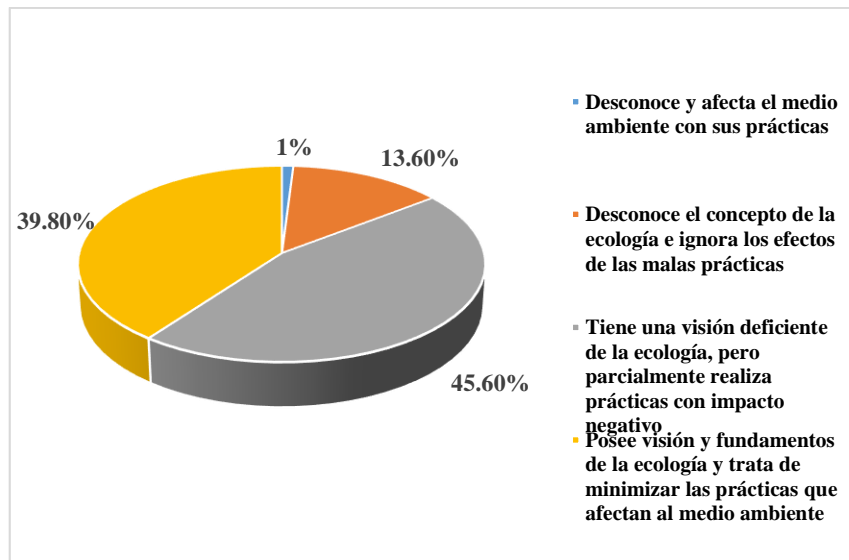


Figura 75. Conocimiento y conciencia ecológica

V. CONCLUSIONES

Respecto a la evaluación de aplicación y niveles de nitrógeno en el cultivo de arroz concluimos que:

- La incorporación del 50% de la dosis de nitrógeno en suelo seco y el 50% al voleo en el inicio del primordio floral, tuvo la mayor respuesta en rendimiento en grano ($5,672 \text{ Kg ha}^{-1}$).
- La eficiencia de uso de nitrógeno, evaluada a través de los indicadores de eficiencia agronómica, eficiencia fisiológica y factor parcial de productividad, fueron más altos en los tratamientos de incorporación que la aplicación al voleo.
- La dosis de 320 Kg N ha^{-1} , tuvo la menor eficiencia de uso, según los indicadores estudiados y contribuiría en mayor grado a la contaminación ambiental. La dosis de 240 Kg N ha^{-1} , fue la más adecuada por tener mejor eficiencia.

Asimismo, la comparación del sistema de siembra directa y trasplante en el cultivo de arroz nos indica que:

- Las siembras directas en seco, son factibles de usarse con ventajas, en relación al trasplante, por el menor uso de mano de obra y la eliminación del batido del suelo, sin afectar los rendimientos. Las siembras directas en promedio rindieron 6.23 t ha^{-1} versus las siembras en trasplante que rindieron en promedio 4.82 t ha^{-1} .
- La calidad molinera, no se afecta con la siembra directa, siendo similar a la calidad de arroz obtenida en el sistema de trasplante. En promedio de siembra directa se tuvo un 69% de rendimiento de molinería y en trasplante 68%.

La identificación de los cultivares de arroz más adaptados al sistema de siembra de suelo saturado y suelo inundado indicaron que:

- Para las condiciones en que se realizó este estudio, las precipitaciones de 646 mm, más 209 mm aplicados en el riego de germinación y fase reproductiva, totalizaron 8550 m³ ha⁻¹, suficientes en el tratamiento de manejo de suelo saturado, para alcanzar altos rendimientos (9.48 t ha⁻¹).
- Los cultivares Mallares y La Puntilla han sido los más adaptados al manejo de suelo inundado y suelo saturado y han tenido mayores rendimientos (9.26 y 9.48 t ha⁻¹ respectivamente) en ambos manejos.
- Los índices de producción media geométrica, productividad media y media armónica, seleccionaron a los cultivares Mallares y La Puntilla, como los más adecuados en los dos tratamiento de manejo de agua.

Respecto a las entrevistas a los expertos podemos concluir que:

- Los actuales sistemas de producción de arroz, se caracterizan por utilizar gran cantidad de insumos con baja eficiencia de uso, que afectan negativamente al medio ambiente.
- Los planes de investigación en el cultivo de arroz deberán considerar el desarrollo de cultivares adaptados al cambio climático junto con un manejo integrado de plagas.

De acuerdo a la caracterización de los agricultores y sistemas de producción de agricultores pertenecientes a la Comisión de Regantes de Ferreñafe concluimos que:

- El levantamiento de la encuesta permitió examinar los conocimientos propios de los agricultores e identificar las prácticas agronómicas adaptables al cambio climático.
- Las debilidades del sistema de producción de arroz están relacionadas al uso excesivo de agua y altas dosis de nitrógeno. Ambos insumos pueden incrementar las emisiones de gases de efecto invernadero como sucede en las áreas arroceras de riego en el mundo.

- La brecha de rendimiento entre los agricultores esta relacionada al uso de diferentes niveles de tecnología.
- La parcelación de las unidades productivas afecta la capacidad de negociación, la asociatividad y el bienestar.
- Las actuales políticas públicas no incentivan la adopción de innovaciones que conduzcan al menor consumo de agua y fertilizantes nitrogenados.

Finalmente, concluimos que la integración de los resultados experimentales obtenidos permite formular un sistema de producción de arroz, más amigable con el medio ambiente, que mejoraría la eficiencia de los recursos de producción, contribuyendo a mejorar la sustentabilidad del cultivo de arroz.

VI. RECOMENDACIONES

- Validar en campos de agricultores la forma de fertilización (50% de incorporación a la preparación del suelo y 50% voleo al inicio del primordio floral) que obtuvo los mayores indicadores de eficiencia de uso. Con una productividad parcial del fertilizante de 35 Kg de arroz cáscara por Kg de fertilizante aplicado.
- Promover la sustitución progresiva del trasplante por la siembra directa por su mayor productividad (6.23 t ha⁻¹) y menor uso de fuerza laboral en comparación con el trasplante convencional (4.82 t ha⁻¹).
- Convalidar en parcelas demostrativas que el manejo del riego saturado rinde en forma similar al manejo del riego inundado (9.48 y 9.26 t ha⁻¹, respectivamente).

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adhya T., Linqvist B., Searchwinger T., Wassman R., Yan, X. 2014. Wetting and drying: Reducing greenhouse emissions and saving water from rice production. Working paper, Installment of Creating a Sustainable Food Future. Washington, DC: World Resources Institute.

Ainsworth E. 2008. Rice production in a changing climate: a meta-analysis of responses to elevated carbon dioxide and elevated ozone concentration. *Global Change Biology*, 14. 1-9.

Alauddin M., Quiggin J. 2008. Agricultural intensification, irrigation and the environment in South Asia: issues and policy options. *Ecological Economic*,s 65(1): 111-124.

Alfonzo N., España M., López M., Cabrera-Bisbal E., Abreu P. 2011. Eficiencia de uso de nitrógeno en arroz de secano en un suelo ácido del occidente del Estado Guarico. *Agronomía Tropical*, 61(3-4): 215-220.

Altieri M. 1999. "Agroecología Bases Científicas para una agricultura sustentable". Nordan Comunidad., Montevideo.

Anitha S., Chellappan M. 2011. Comparison of the system of rice intensification (SRI), recommended practices, and farmers' methods of rice (*Oryza sativa* L.) production in the humid tropics of Kerala, India. *Journal of Tropical*, 49(1-2): 64-71.

Astier M., Masera O., Galván Y. 2008. Evaluación de la sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. 1^{ra} edición. Image impressions, Valencia, España.

ANA - Autoridad Nacional de Agua. 2017. Huella Hídrica del Perú. Sector Agropecuario. Visitado el 15 de mayo del 2018. Disponible en:

<http://www.ana.gob.pe/media/1256542/estudio%20huella%20h%C3%ADdrica%20nacional.pdf>.

Azmin M., Baki B. 2006. Weed flora landscapes and innovative management in direct seeded culture. Proceedings of the Second International Rice Congress, New Delhi, India.

Balasubramanian V., Hill J. 2002. Direct seedling of rice in Asia: Emerging issues and strategies research needs for the 21st century. pp 15- 42. In direct seeding: Research strategies and opportunities. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute.

Baker D., Young D., Huggins D., Pan W. 2004. Economically optimal nitrogen fertilization for yield and protein in Hard Red Spring Wheat. *Agronomy Journal*, 96:126-133.

BARC - Bangladesh Agricultural Research Council. 2011. Research priorities in Bangladesh agriculture, Final Draft. (eds) Hussain, G. and Iqbal, A. Farm gate, Dhaka, Bangladesh.

Barker R., Dawe D., Tuong T., Bhuiyan, S., Guerra, L. 1999. The outlook for water resources in the year 2020: challenges for research on water management in rice production. In: *Assessment and Orientation Towards the 21st Century*, Proceedings of 19th Session of the International Rice Commission, Cairo, Egypt, 7–9 September 1998. FAO, Rome, pp. 96–109.

Bates B., Kundzewicz, Z., Wu S., Palutikof J. (Eds.). 2008. *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva. p. 210

Beek C., Salm C., Plette A., Weerd, H. 2009. Nutrient loss pathways from grasslands and the effects of decreasing inputs: experimental results for three types. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 83:29:99-110.

Belder P., Spiertz J., Bouman B., Lu G., Tuong P. 2005. Nitrogen economy and water productivity of lowland rice under water-saving irrigation. *Field Crops Research*, 93(2-3): 169 - 185.

Belder P., Bouman B., Cabangon R., Lu G., Quilang E., Li Y., Spiertz J., Tuong T. 2004. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. *Agricultural Water Management*, 65:193_210.

Berdegue J. 1991. Efectos de la metodología de tipificación en la investigación de sistemas de producción. Ed. Red Internacional de Metodología de Investigación de Sistemas de Producción (RIMISP). Santiago, Chile, pp 251 -265.

Bi Y., Kant S., Clark J., Gidda S., Ming, S., Ming, F., Xu, J., Rochon, A., Shelp, J., Zhao, R., Mullen, R. Zhu, T., Rothstein, S. 2009. Increased nitrogen-use efficiency in transgenic rice plants over-expressing a nitrogen-responsive early nodulin gene identified from rice expression profiling. *Plant Cell and Environment*, 32:1749-1760.

Borrell A., Garside A., Fukai S. 1997. Improving efficiency of water use for irrigated rice in a semi-arid tropical environment. *Field Crops Research*, 52:231-248.

Bouman B., Hengsdig K., Hardy B., Bendraban P., Tuong T., Ladha J. Editors 2002. Water-wise rice production. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 356 p.
Bouman B., Tuong T. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agricultural Water Management*, 49(1):11–30.

Bouman B., Hengsdijk H., Hardy B., Bindraban P., Tuong T., Ladha J. (Editors). 2002. Water wise rice production, Proceeding of the iInternational Workshop on Water Wise Rice Production. 8-11-April 2002. Los Baños, Philippines: International Rice Research Institutte (IRRI). 356 p.

Bouman B., Humphreys E., Tuong T., Barker R. 2006. Rice and water. *Advances in Agronomy*, 92:187-237.

Bouman B., Lampayan R., Tuong T. 2007. Water Management in irrigated rice: Coping with water scarcity. Los Banos, Philippines: International Rice Research Institute (IRRI).

Bouman B. 2007. A conceptual framework for the improvement of crop water productivity at diferent spatial scales. *Agricultural systems*, 93:43-60.

Bosshard A. 2000. "A Methodology and Terminology of Sustainability Assessment and its Perspectives for Rural Planning", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 77:29 – 41.

Buresh R. 2007. Fertile Progress. In: Rice Today. July-September.

Buresh R., De Datta S. 1990. Denitrificación losses from puddled rice soils in tropics. *Biology and Fertility Soils*, 9:1-13.

Bhushan L., Ladha J., Gupta R., Singh S., Tirol-Padre A., Saharawat Y., Gathala M., Pathak H. 2007. Saving of water and labor in a rice–wheat system with no-tillage and direct seeding technologies. *Agronomy Journal*, 99:1288–1296.

Buresh R. 2007. Fertile Progress. In: Rice Today. July-September 2007.

Cabangon R., Tuong T., Abdulah N. 2002. Comparing water input and water productivity of transplanted and direct-seeded rice production systems. *Agricultural water management*, 57:11-31.

Cabangon R., Tuong T., Tiak E., Abdullah N. 2002. Increasing water productivity in rice cultivation: impact of the large-scale adoption of direct seeding in the Muda irrigation system. In 'Direct Seeding: Research Issues and Opportunities' (Eds. S. Pandey, M. Mortimer, L. Wade, T.P. Tuong, K. Lopez and B. Hardy, 299-314, (IRRI, Los Baños, Laguna).

Calvo, G., Siman, J. 1993. Uso de presupuestos parciales de beneficio neto en la evaluación financiera de tecnologías de manejo integrado de plagas. CATIE, Turrialba, CRC.

Cam C. 2004. A conceptual framework for sociotechno-centric approach to sustainable development. In: *International Journal of Technology Management and Sustainable Development*, 3(1):59.

Cao Z., Ding J., Hu Z., Knicker H., Kogel-Knabner .I, Yang L. 2006. Ancient paddy soils from the Neolithic age in China's Yangtze river delta. *Naturwissenschaften*, 93: 232–236.

Castillo L. 1969. Variedades comerciales y promisorias de arroz en el Perú. In: Curso de capacitación en el cultivo de arroz. Lambayeque, 17-22 de marzo.

CEPES- Centro Peruano de Estudios Sociales. 2003. Análisis y alternativas. Debate Agrario N° 35. Director Fernando Eguren.

Chang T. 1976. The origin, evolution, cultivation, dissemination and diversification of Asia and Africa rices. *Euphytica* 25:435-444.

Champagne, E. Bett-Garber, T. 2004. Sensory characteristics of diverse rice cultivars as influenced by genetic and environmental factors. *Cereal Chemistry*, 81(2):237-243.

Chapagain, T., Yamaji, E. 2010. The effects of irrigation method, age of seedling and spacing on crop performance, productivity and water-wise rice production in Japan. *Paddy and Water Environment Journal*, 8:81-90.

Chaturvedi, I. 2005. Effect of nitrogen fertilizers on growth, yield and quality of hybrid rice. *Journal Central European Agricultural*, 6:611-618.

Chaudhry, M., McLean, E. 1963. Comparative Effects of Flooded and Unflooded Soil Conditions and Nitrogen Application on Growth and Nutrient Uptake by Rice Plants. *Agronomy Journal*, 55:565-567.

Chen, Y., Peng, J., Wang, Z., Yang, J., Zhang, J. 2013. Crop management based on multi-split topdressing enhances grain yield and nitrogen use efficiency in irrigated rice in China. *Field Crop Research*, 184:50-57.

Chen, S., Zhang, X., Zhang, G., Wang, D., Xu, Ch. 2012. Grain yield and dry matter accumulation response to enhanced panicle nitrogen application under different planting methods (*Oryza sativa* L.). *Australian Journal of Crop Science* 6(12):1630-1636.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1989. Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz; guía para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema. 73 p.

CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, ME). 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D.F. México. pp178.

Cole, H., Jahoda, M., Pavitt, K. 1973. Models of doom: A critique of the limits to growth. New York: Universe Books.

Crawford, G., Underhill, A., Zhao, A., Lee, G., Feinman, G., Nicholas, L., Luan, F., Yu, H., Fang, H., Cai, F. 2005. Late Neolithic Plant Remains from Northern China: Preliminary Results from Liangchengzhen, Shandong. *Current Anthropology*, 46(2):309-17

Damardijati, D., Barizi, S., Juliano, B. 1988. Major Factors of physical-chemical properties affecting the eating quality of some rice varieties. *J. Crop Sci*, 2:1-16.

Damardijati, S., Soekarto, S. 1985. Evaluation of protein quality and properties in six varieties of Indonesian rice. *Indonesian Journal Crop Science*. pp. 1-20.

Darvishzadeh, R., Pirzad, A., Hatami-Maleki, H., Poormohammad-Kiani, S., Sarrafi, A. 2010. Evaluation of the reaction of sunflower inbred lines and their F1 hybrids to drought conditions using various stress tolerance indices. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(4):1037-1046.

Darwich, N. 2005. Manual de fertilidad de suelos y uso de fertilizantes. 2da edición. Talleres de gráfica Armendenho.

De Datta, S. 1986. Improved Nitrogen Fertilizer Efficiency in Lowland Rice in Tropical Asia. International Rice Research Institute, P.O. Box 933, Manila, Philippines.

Deepak, R., Gerber, J., Mc Donalc, G., West, P. 2015. Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature communications*, 6(1):5980-5989.

Defumier, M. 1990. Importancia de la tipología de unidades de producción agrícola en el análisis de diagnóstico de realidades agrarias. Ed. Red Internacional de Metodología de Investigación de Sistemas de Producción. Santiago, Chile, pp 63-82.

Dhital, K. 2011. Study on System of Rice Intensification in transplanted and Direct-seeded. Doctoral dissertation .Tribhuvan University. Chiwan, Nepal. 145 p.

Dobermann, A. 2004. A critical assessment of the system of rice intensification (SRI). *Agricultural. Systems*, 79:261-281.

Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency-measurement and management. In: IFA International Workshop on fertilizer best management practices. Brussels, Belgium, pp.1-28.

Dong, M., Sang, D., Wang, P., Wang, X., Yang, J. 2007. Changes in Cooking and Nutrition Qualities of Grains at Different Positions in a Rice Panicle under Different Nitrogen Levels. *Rice Science*, 14(2):141-148.

Dou, F., Soriano, J., Tabien, E., Chen, K. 2016. Soil texture and cultivar effect on rice (*Oryza sativa* L.) and water productivity in three water regimens. *PLoS ONE* 11 (3):e015549. DOI:10.1371/journal.

Dovers, S. 1995. A framework for scaling and farming policy problems in sustainability, *Ecological economic*, 12:93-106.

Emtage, N., Suh, J. 2005. Variations in socioeconomic characteristics, farming assets and livelihood systems of Leyte rural households. *Annals of Tropical Research*, 27:35–54.

Erda, L. Wei, X., Hui, J., Yinlong, X., Yue, L., Liping, B., Liyong, X. 2005. Climate change impacts on crop yield and quality with CO₂ fertilization in China. *Philosophical transaction of the Royal Society B.*, 360:2149-2154.

Escasinas, R., Zamora, O. 2011. Agronomic response of lowland rice PSB Rc 18 (*Oryza sativa* L.) to different water, spacing and nutrient management. *Philippine Journal of Crop Science*, 36:37–46.

Escobar, G., Berdegué, J. 1990. Conceptos y metodología para la tipificación de sistemas de fincas: la experiencia de RIMISP, en Tipificación de sistemas de producción agrícola, Santiago de Chile, RIMISP, 990, pp. 13-44.

Fageria N., Slaton N., Baligar, V. 2003. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. *Advances in Agronomy*, 80:63-152.

Fageria, N., Baligar, V. 2001. Lowland rice response to nitrogen fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32:9-10.

Fageria, N., Baligar, V., Li, Y. 2008. The rol of nutrient efficient plants in improving crop yield in the twenty first century. *Journal of Plant Nutrition*, 31:1121-1157.

Fageria, N. 2007. Yield physiology of rice. *Journal of Plant Nutrition*, 30: 843-879.

Fageria, N., Carvalho, G., Santos, A., Ferreira, E., and Knupp, A. 2011. Chemistry of Lowland Rice Soils and Nutrient Availability. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42:1913-1933.

FAO/STAT (Food and Agriculture Organization). 2018. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

Faralahy, S. 2002. An NGO perspective on SRI and its origins in Madagascar. In: Proc., an Internat. Conf. Assessments of the System of Rice Intensification (SRI). Sanya, China, 1-4 abril, 2002, CIFAD, Ithaca, NY, USA. pp 17-22.

Farooq, M., Siddique, K., Rehman, H., Aziz, T., Lee, D., Wahid, A. 2011. Rice direct seeding: Experiences, challenges and opportunities. *Soil Tillage Research*, 111: 87-98.

Fernández, A. 2003. Ensayo de adaptabilidad del SRI y cinco variedades en Rioja. sri.cals.cornell.edu/countries/peru/perufnl.pdf.

Fixen, P., Jin, J., Tiwari, K., Stauffer, M. 2005. Capitalizing on multi-element interactions through balanced nutrition – a pathway to improve nitrogen use efficiency in China, India and North America. *Science in China Series C Life Sciences*, 48:1-11.

Fixen, P., Brentrup, F., Bruulsema T., W., García, F., Norton, R., Zingore, Sh. 2015. Nutrient/fertilizer use efficiency: Measurement, current situation and trend. Chap. 2. In: Drechsel, P., Heffer, P., Magen, H., Mikkelsen, R., Wichelns, D. (Eds.) 2015. *Managing Water and Fertilizer for Sustainable Agricultural Intensification*. pp 8-38.

Fuller, D. 2011. Pathways to Asian civilization: Tracing the origins and spread of rice and rice culture. *Rice*, 4(3):78-92.

Fuller, D., Harvey, E., Qin, L. 2007. Presumed domestication? Evidence for wild rice cultivation and domestication in the fifth millennium BC of the Lower Yangtze region. *Antiquity*, 81(2007):316–331.

Gani, A., A. Rahman, A., Rustam, D and H. Hengsd, H. 2002. Synopsis of water management experiments in Indonesia. In: *Water-wise rice production*. Pag 29-38IRRI, Phillipines.352 p.

Gao, L., Innan, H. 2008. Nonindependent domestication of the two rice Sub-species, *Oryza sativa* ssp. Indica and ssp. Japonica. Demonstrated by multilocus microsatellites. *Genetics*, 179: 965-976.

Garris, A., Tai, T., Coburn, J., Kresovich, S., McCouch, S. 2005. Genetic structure and diversity in *Oryza sativa* L. *Genetics*, 169:1631–1638.

George T., Magbanua R., Garrity D., Tubaña B., Quiton, J. 2002. Yield decline of rice associated with successive cropping in aerobic soil. *Agronomy Journal*, 94:981-989.

Glass, A., Britto, D., Kaiser, B., Kinghorn, J., Kronzucker, H., Kumar, A., Okamoto, M., Rawat, S., Siddiqi M., Unkles S., Vidmar J. 2002. The regulation of nitrate and ammonium transport systems in plants. *Journal of Experimental Botany*, 53:855–864.

Gómez, M., Valencia, M., Ogawa, S., Lu, Y., Wu, L., Downs, C., Skinner, W., Lu, Z., Kridl, J., Ishitani, M., Boxtel, J. 2017. Development and field performance of nitrogen use efficient rice lines for Africa. *Plant Biotechnology Journal*, 15:775-787.

Goodland, R., Ledec, G. 1986. Neoclassical economics and principles of sustainable development. Office of environment and scientific affairs, World Bank, Washington DC.

Gorriti, J. 2003. Rentabilidad o supervivencia. *Debate Agrario* No 35 Enero <http://www.cepes.org.pe/debate/debate35/debate.htm>.

Goswami, R., Chatterjee, S., Prasad, B. 2014. Farm types and their economic characterization in complex agro-ecosystems for informed extension intervention: study from coastal West Bengal, India. *Agricultural and Food Economics*, 2(1):1-5.

GRADE (Grupo de análisis para el desarrollo). 2015. *Agricultura peruana: Nuevas miradas desde el censo agropecuario*. Javier , Ricardo Fort y Eduardo Zegarra (Eds). Lima.

Grazzi, C., Bouman, B., Castañeda, A, Manzelli, M. Vecchio, V. 2009. Aerobic rice: Crop performance and water use efficiency. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 103(4):259-270.

GRiSP - Global Rice Science Partnership. 2013. *Rice almanac*, 4th Edition. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 283 p.

Gruhn, P., Goletti, F., Yudelman, M. 2000. Manejo Integrado de Nutrientes, fertilidad de suelos y Agricultura sostenible. *Problemas actuales y futuros retos*. International Food Policy Research Institute (IFPRI): resumen 2020, N°67.

Gu, J., Chen, J., Wang, Z., Zhang, H., Yang, J. 2015. Grain quality changes and responses to nitrogen fertilizer of japonica rice cultivars released in the Yangtze River Basin from the 1950s to 2000s. *The Crop Journal*, 3:285-297.

Hansen, B., Thorling, L., Schullehner, J., Termansen, M., Dalgaard, T. 2017. Groundwater nitrate response to sustainable nitrogen management. *Scientific reports*: 7:8566.

Hasegawa S., Yoshida, S. 2012. Water uptake by an dryland rice root system during a soil drying cycle . *Soil Science and Plant Nutrition*, 28(2):191-204.

Hazzel P., Wood S. 2008. Drivers of change in global agriculture. *Philosophical Transaction. of the Royal Society B*. 363:495–515.

He P., Li S., Qian Q., Ma Y., Li J., Wang W., Chen Y., Zhu L., 1999. Genetic analysis of rice grain quality. *Theoretical genetics*, 98(3-4):502-508.

Heffer, P. 2013. Assessment of fertilizer use by crop at the global level 2010-2010/11 International Fertilizer Industry Association, Paris, France.
http://www.fertilizer.org/En/Statistics/Agriculture_Committee_Databases.aspx

Heikens, A. 2006. Arsenic contamination of irrigation water, soil and crops in Bangladesh: risk implication for sustainable agriculture and food safety in Asia. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok.

Higham, C. 2005. East Asian Agriculture and its Impact, in C. Scarre (ed.) *The Human Past. World Prehistory and the Development of Human Societies*, 234-63. London: Thames & Hudson.

Higham, Ch., Lu, T. 1998. The origins and dispersed of rice cultivation. *Antiquity*, 72(278):867-877.

Hossain M. 1998. Sustaining Food Security in Asia Economic, Social and Political Aspects. In Dowling NG; SM Green eld and KS Fischer (eds), *Sustainability of rice in the Global Food System*. Manila (Philippines): International Rice Research Institute 19-43.

IFA - International Fertilizer Industry Association. 2009. The global “4R” nutrient stewardship framework. Paris, France: International Fertilizer Industry Association.

IFA - International Fertilizer Industry Association. 2014. IFADATA. Visitado el 12 de marzo de 2018. Disponible en: <http://ifadata.fertilizer.org/ucSearch.aspx>.

INEI - Instituto Nacional de Información Estadística. 2012. IV Censo Nacional Agropecuario. Visitado el 10 de mayo del 2018. Disponible en: www.inei.gov.pe

INEI - Instituto Nacional de Información Estadística). 2016. Información estadística.

INEI (Instituto Nacional de Información Estadística). 2018. Pobreza monetaria en el Perú. <https://www.inei.gov.pe/prensa/noticias/pobreza-monetaria-afecto-al-217-de-la-poblacion-del-pais-durante-el-ano-2017-10711/>

IPCC (International Panel Climate Change). 2007. *Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

IPCC (International Panel Climate Change). 2014. Anexo II: Glosario [Mach, K.J., S. Planton y C. von Stechow (eds.)]. En: *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, págs. 173-199.

IUCN (International Union for conservation of nature and natural resources) PNUMA_Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente y WWF-World Wide Foundation for Nature. 1980. *World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Gland (Switzerland).

IRRI (International Rice Research Institute). 2013. *Smart water technique for rice*. Los Baños, Philippines: International Rice Research Institute.

IRRI (International Rice Research Institute). 2002. *Direct seeding: Recent strategies and opportunities*. Edited by Pandey S, Mortimer M, Wade L, Tuong T., Lopez K, Hardy B. *Proceedings of the International Workshop on Direct Seeding in Asian Rice Systems: Strategic Research Issues and Opportunities*, 25-28 January 2000, Bangkok, Thailand. 383 p. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute.

IRRI - International Rice Research Institute. 1979. Proceedings of the workshop on chemical aspects of rice grain quality. Los Baños, laguna, Philippines. 390 p.

Isik, M., Devadoss, S. 2006. An analysis of the impact of climate change on crop yield and yield variability'. *Applied Economics*, vol. 38, No. 07, pp. 835–44.

Islam, Z., B. Bagchi and M. Hossain. 2007. Adoption of leaf color chart for nitrogen use efficiency in rice: Impact assessment of a farmer-participatory experiment in West Bengal, India. *Field Crops Research* 103(1):70-75.

Jaramillo, S., Pulver, P., Duque MC. 2008. Efecto del manejo de la fertilización nitrogenada en arroz de riego, sobre la expresión del potencial de rendimiento de líneas élites y cultivares comerciales- unicauca.edu.co. Visitado el 20 de abril de 2018. Disponible en: https://scholar.google.com/scholar?oe=utf8&client=firefox-b&gfe_rd=cr&um=1&ie=UTF-8&lr&q=related:x_osNaurczoyXM:scholar.google.com/.

Juliano, B. 2003. Rice chemistry and quality. Phillipine Rice Research Institutte, Munoz, Nueva Ecija. pp. 120.

Juliano, B. 1993. Rice in human nutrition. The Food and Agricultural Organization of the United Nations Rome. pp. 162.

Juliano, B. 1985. Rice chemistry and technology. American Association of Cereal Chemist. St. Paul. MN.

Juliano, B, Pascual, C. 1980. Quality characteristics of milled rice grown in different countries. IRRI Research Paper Series, 48:3-5.

Kapoor, V., Singh, U., Patil, S., Magre., Shrivastava, L, Mishra, V., Das, R., Samadhiya, V., Sanabria, J., Diamanond, R. 2008. Rice growth, grain yield, and floodwater nutrient dynamics as affected by nutrient placement method and rate. *Agronomy Journal*, 100(3):526–36.

Khush, G. 1997. Origen, dispersal, cultivation and variation of rice. *Plant Molecular Biology*, 35:25-34.

Kondo, M., Pablico, P., Aragonés, D., Agbisit, R., Abe, J., Morita, S., Courtois, B. 2003. Genotypic and environmental variations in root morphology in rice genotype under upland field conditions. *Plant Soil* 255:189–200.

Kronzucker H., Siddiqi M., Glass A., Kirk G. 2000. Comparative kinetic analysis of ammonium and nitrate acquisition by tropical lowland rice: implications for rice cultivation and yield potential. *New Phytologist*, 145:471–476.

Kumar, V., Ladha, J. 2011. Direct seeding of rice: Recent development and future research needs. *Advance agronomy*, Vol. III, Chapter Six. Visited on March 21, 2018. Available on: https://www.google.com/search?q=Kumar,+V.,+Ladha,+J.+2013.+Direct+seeding+of+rice:+Recent+development+and+future+research+needs.+&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b-ab&gfe_rd=cr&ei=C2lAWZzHEIiw8wewyZtY.

Kumar, I., Khush, G. 1987. Genetic analysis of different amylose levels in rice. *Crop science*, 27(6):1167-1172.

Ladha, J., Pathak, H., Krupnik, T., Six, J., van Kessel, C. 2005. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production. *Advances in Agronomy*, 87: 85-156.

Ladha, J., Kumar, V., Alam, M., Sharma, S., Gathala, M., Chandna, P., Saharawat, Y. S., Balasubramanian, V. 2009. Integrating crop and resource management technologies for enhanced productivity, profitability, and sustainability of the rice-wheat system in South Asia. In “Integrated Crop and Resource Management in the Rice–Wheat System of South Asia” (J. K. Ladha, Y. Singh, O. Erenstein, and B. Hardy, Eds.), pp. 69–108. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

Lafitte, H., Bennet, J. 2002. Requirements for aerobic rice: physiological and molecular considerations. In: Bouman, B, Hengsdijk, H., Hardy, B., Bindraban, P., Tuong, T., Ladha, J. (Eds.), *Water- wise Rice Production*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, pp. 259–274.

Lafitte, R., Courtois B., Arraudeau M. 2002. Genetic improvement of rice in aerobic systems: progress from yield to genes. *Field Crop Research* 75: 171-190.

Lal P., Lim-Applegate H, Scoccimarro M. 2001. The adaptive decision making process as a tool for integrated natural resource management: focus, attitudes and approach. *Conservation Ecology*, 5(2):1-11.

Lampayan, R., Bouman, B., de Dios, J., Lactaen, A., Quilang, E., Tabbal, D., Llorca, L., Norte, T., Soriano, J., Corpuz, A., Espiritu, A., Malasa, R., Vicmudo, V. 2003. Technology Transfer for Water Savings (TTWS) in Central Luzon, Philippines: Results and Implications. Proceedings of the 53rd Philippine Society of Agricultural Engineering Annual National Convention, April 21-25, 2003, Waterfront Insular Hotel Davao, Davao, Philippines, pp 239-251.

Lampayan, R., Bouman, B. 2005. Management strategies for saving water and increase its productivity in lowland rice-based ecosystems. In Proceedings of the First Asian –European Workshop on Sustainable resources Management and Policy options for rice ecosystems, Hangzhou Zhejiang, China, 11-14 May.

Latif, M., Islam, M., Ali, M., Seleque, M. 2005. Validation of the system of rice intensification (SRI) in Bangladesh. *Field Crop Research* 93: 281-292.

La vida agrícola. 1936. Vol. XIII, N°, 140. Lima.

Laulanié, H. 1993. Le Systeme de Riziculture Intensive Malgache. *Tropicultura* (Brussels) 11:110-114.

Leff, E. 2008. Globalización, racionalidad ambiental y desarrollo sustentable. Visitado el 20 de octubre del 2018. Disponible en: www.ambiente.gov.ar/infoteca/leff08.pdf.

Lewwandowski, I., Hardtleinn, M., Kaltscmitt, M. 1999. Sustainable crop production: definition and methodological approach for assessing and implementing sustainability. *Crop Science*, 39:184-193.

Li, C., Zhou, A, Sang, T. 2006. Genetic analysis of rice domestication syndrome with the wild annual species, *Oryza nivara*. *New Phytologist* 170: 185–194.

- Li, D., Xu, M., Qin, H., Shen, H., Sun, N., Hosen, Y., He, X. 2015. Polyolefin-coated urea improves nitrogen use efficiency and net profitability of rice-rice cropping systems. *International Journal of Agriculture & Biología*. DOI. 10.17957/IJAB/15.0036.
- Liu, X., Wang, H., Zhou, J., Hu, F., Zhu, D., Chen, Z., Liu, Y. 2016. Effect of N fertilization on yield rice, N use efficiency and fertilized-N fate in the Yangtze River Basin, China. *PLoS ONE* 11(11): e 0166002. Doi:10.3717/JOURNAL.PONE.0166002.
- Mandal, K., Pramanick, M., Bandopadhyay, P. 2014. Influence of crop establishment systems on yield and quality of rice grain and seeds of aromatic rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Applied Agricultural & Horticultural Sciences*, 5(6):951-955.
- Makarim, A., Balasubramanian, V., Zaini, Z., Syamsiah, I., Diratmadja, I., Handoko, A., Wardana, I., Gani, A. 2002. System of Rice Intensification (SRI): evaluation of seedling age and selected components in Indonesia. In: *Water wise rice production*. Los Banos, Philippines. 129-142.
- Makuno, A. 2011. Photosynthesis, Grain Yield and Nitrogen Utilization in Rice and Wheat, *Plant Physiology*. 155:125-129.
- Matloob, A., Khalig, A., Singh, B. 2015. Weeds of direct seed in Asia Problems and opportunities in: *Advances in Agronomy*, 130:291-336.
- McDonald, A., Hobbs, P, Riha, S. 2006: Does the system of rice intensification outperform conventional best management? A synopsis of the empirical record. *Field Crops Research*, 96, 31–36.
- Mc Michael, P. 2011. *Development and Social Change: A Global Perspective*. Pine Forge Press, Nov 23, 5th ed.
- Meadows, D., Meadows L, Randers, J., Behrens, W. 1972. *The Limits to growth*. New York: Universe Books.

Meadows L., Meadows, D., Randers, J. 2004. *Beyond the limits*. Londres: Earthscan Publications.

Miah, M., Talukder, M., Sarkar, A., Ansari, T. 2004. Effect of number of seedling per hill and urea supergranules on growth and yield of the rice cv. BINA Dhan 4. *Journal of Biological Sciences* 4(2): 122-129.

Milan M., Bartolome, J., Quintanilla, R., Garcia-Cachan, M., Espejo, M., Herraiz, P., Sanchez-Recio, J., Piedrafita, J. 2006. Structural characterisation and typology of beef cattle farms of Spanish wooded rangelands (dehesas). *Journal of Livestock Sciences*, 99(2-3):197-209.

MINAGRI - Ministerio de Agricultura y Riego. 2018. Series históricas de producción agrícola- Compendio estadístico. Visitado el 20 de octubre de 2018. Disponible en: http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/?mod=consulta_cult.

MINAGRI-SIPA-Universidad de Norte. Misión Agrícola de la Universidad de Carolina del Norte. 1969. In curso de capacitación sobre el cultivo de arroz. Programa Nacional de Arroz, Perú.

Mobasser, H., Tari, D., Vojdani, M., Abadi, M., Eftekhari, A. 2007. Effect of seedling age and planting space on yield and yield components of rice (NedaVariety) *Asian Journal of Plant Sciences*, 6(2): 438-440.

Molua, E. 2002. 'Climate variability, vulnerability and effectiveness of farm-level adaptation options: the challenges and implications for food security in South -western Cameroon. *Environment and Development Economics*, 7:529-45.

Montero, B. 1938. *El cultivo de arroz en el Perú*. Reimpresión por la Sociedad Nacional Agraria.

Moya, P., Dawe, D., Pabale, D., Tiongco, M., Chien, N., Devarajan, S., Djatiharti, A., Lai, N., Niyomvit, L., Ping, H., Redondo, G., Wardana, P. 2004. The economics of intensively irrigated rice in Asia, pp. 29-58. In Dobermann, A., Witt, C., Dawe, D. (eds.). *Increasing*

productivity of intensive rice systems through site-specific nutrient management. Science Publishers, Inc., Philippines. pp. 29-58.

Naldang K., Shu, F., Nathabut, K. 1996. Growth of rice cultivars by direct seeding and transplanting under upland and lowland conditions. *Field Crop Research*, 48:115-123.

NRCS (Natural Resource Conservation Service). 2018. Classification for Kingdom plantae down to genus *Oryza* L. USDA, <https://plants.sc.egov.usda.gov/core/profile?symbol=ORSA>

Nishizawa T., Ohshima, Y., Kurihara H. 1971. Survey of the nematode population in the experimental fields of successive or rotative plantation. *Proc. Kanto-Tosan Plant Protection Society*.18: 121-122.

Nishio, M, Kusano, S. 1975. Effect of root residues on the growth of upland rice. *Soil Science and Plant Nutrition*. 21:391-395.

ONU - Organismo de las Naciones Unidas. 2012. El futuro que queremos. Dirección URL: [<http://www.pnuma.org>].

ONU - Organismo de las Naciones Unidas. 2017. Población Mundial. Visitado el 13 de julio del 2017. Disponible en: <http://www.worldometers.info/world-population/>.

Ottis, B.V., Talber, R. 2005. Rice yield components as affected by cultivar and seedling rate. *Agronomy journal* 97:1622-1625.

O'Toole, J. 2004. Rice and Water: The final frontier. The First International Conference on Rice for the Future. 31 August-2 September 2004. Bangkok, Thailand.

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. 2000. Environmental Indicators for Agriculture. Methods and Results. Executive summary, Paris, OECD.

Pandey S., Velasco, L. 2005. Trend in crop establishment methods in Asia and research issues. In *Rice is life: Scientific perspectives for the 21th century*. Toriyama K, Heong KL, Hardy B, eds. International Rice Research Institute, Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba, Japan pp178-181.

Pathak, H., Tewari A., Sankh, Y., Dube, D., Mina, V., Singh, V., Jain, N., Bhatia, A. 2011. Direct-Seeded Rice: Potential, Performance and problem. A review. *Current Advances in Agricultural Science* 3 (2):77-88.

Pampolino, M., Manguiat, I., Ramanathan, S., Gines, H., Tan, P., Chi, T., Rajendran, R., Buresh, R. 2007. Environmental impact and economic benefits of site-specific nutrient management (SSNM) in irrigated rice systems. *Agriculture System*. 93:1-24.

Pearson J., Stewart, G. 1993. The deposition of atmospheric ammonia and its effects on plants. *New Phytologist*, 125:283–305.

Peng, S., Huang, R., Zhong, H., Yang, J. 2010. Improving nitrogen fertilization in rice by site-specific N management. A review. *Agronomy for Sustainable Development*: 30 (39 649-56).

Peng, S., Bouman, B., Visperas R., Castañeda A., Nie L., Park H. 2006. Comparisson between aerobic and flooded rice in the tropics: Agronomic performance in an eight season experiment. *Field Crop Research* 96:252-259. .

Perez, C., Juliano, B., Liboon, S., Alcantara, J., Cassman, K. 1995. Effects of late nitrogen fertilizer application on head rice yield, protein content and grain quality of rice. *Cereal chemical*, 73(5):556-560.

Perrin, R., Winkelman, D., Moscardi, , Anderson. J. 1976. *Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica*. CIMMYT, México DF, MEX.

Pettinger, T. 2011. Difference between economic growth and development. <http://www.economicshelp.org/blog/1187/development/economic-growth-and-development/>.

Pinheiro B., de Castro E., Guimaraes C. 2006. Sustainability and profitability of aerobic rice production in Brazil. *Field Crops Research*, 97 (1): 34-42.

Pittelkow, C., Assa, Y., Burger, M., Mutters, R., Greer, C., Espino, L. Hill, J., Horwath, W., van Kessel, C., Linquist, A. 2014. Nitrogen Management and Methane Emissions in Direct-Seeded Rice Systems. *Agronomy Journal* 106 (3): 968–980.

Place, G., Sims J., Hall, U. 1970. Effects of nitrogen and phosphorous on the growth yield and cooking, characteristics of rice. *Agronomy Journal*, 62: 239– 41.

Quintero, C., Zamero, M., Van Dendonck, G., Boschetti, G., Befani, M., Temporetti, C., Arévalo E., Spinelli, N., Panozzo, J. 2014. Momentos oportunos para fertilización con nitrógeno en arroz en Entre Ríos, Argentina. IAH-13-Marzo, 2014. Facultad de Ciencias Agropecuarias-UNER, Fundación PROARROZ. CC 24 Paraná ER(3.100).

Rafaralahy, S. 2002. An NGO perspective on SRI and its origin in Madagascar. In: *Assessments of Rice Intensification (SRI): Proceedings of the International Conference Sanya, China*, pp. 17-22. (9) Response of basmati (*Oryza sativa* L.) rice varieties to system of rice intensification (SRI) and conventional methods of rice cultivation / *Request PDF*. Available https://www.researchgate.net/publication/311844971_Response_of_basmati_Oryza_sativa_L_rice_varieties_to_system_of_rice_intensification_SRI_and_conventional_methods_of_rice_cultivation

Ramirez, G., Sánchez, P. 1971. Factores que afectan la eficiencia de utilización del N, por el cultivo de arroz bajo riego intermitente en la costa de Perú. *Prog. Nac. Arroz. Informe Técnico* p. 50-51.

Rao, A., Jonhson, D., Sivaprasad, B., Ladha, J. Mortimer, M. 2007. Weed managemet in direct-seeded rice. *Advances in Agronomy*, 93:153-255.

Rice production Handbook, 2013. University of Arkansas. Dr. Jarrod T. Hardke, Rice Extension Agronomist. Editing and layout, Laura Goforth, Communications. *Rice Today*. 4(1):1-10.

Roberts, T. .2008. Improving nutrient use efficiency. Turkish Journal Agriculture and Forestry, 32: 177-182.

Rogers, C., Norman, R., Brye, K., Slaton, N., Smartt, A. 2015. Comparison of Urease Inhibitors for Use in Rice Production on a Silt-Loam Soil. Crop, Forage & Turfgrass Management 1:2014-0062.

Rosset, P. 1998. Hacia una alternativa agroecológica para el campesinado latinoamericano. In Consulta Regional: El futuro de la investigación y el desarrollo de la agricultura campesina en la América Latina del siglo XXI. M. Altieri y D. Vásquez, Berkeley, CA: CGIAR-NGO Committee. pp.7-16.

Rosset, P. Altieri, P. 1998. Agroecology versus input substitution: A fundamental contradiction of sustainable agriculture. www.cnr.berkeley.edu/~agroeco3/input.html

Roy, R., Chan, N., Rainis, R. 2014. Rice Farming Sustainability Assessment in Bangladesh, Sustainability Science 9: 31-44.

Sánchez, A. 2015. Migraciones internas en el Perú. 1^{ra} Edición, Organización para las Migraciones (OIM).

Sanjeevanie, G., Ranamukhaarachchi, S. 2011. Study of age of seedlings at transplanting on growth dynamics and yield of rice under alternating flooding and suspension of irrigation of water management. Science and Technology. 3(3): 76-88.

Sarandon, S., Zuloaga, M., Cieza, R., Janjetic, L., Negrete, E. 2008. Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas en fincas en Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores. Agroecología, Norteamérica, 1. Disponible en: <http://revistas.um.es/agroecologia/article/view/14>.

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. <http://www.zukunftsstiftung-landwirtschaft.de/.../StoopUphoffKa>.

Sauvenier, X., Valckz, J., van Cauwenbergh, N., Wauters, E., Bachev, H., Biala, K., Biielders, C., Brouckaert, V., García Ciudad, V., Goyens, S., Hermy, M., Mathijs, E., Muys, B., Vanclooster, M., Peeters, A. 2006. Framework for assessing sustainability levels in belgian agricultural systems-SAFE. Part 1: Sustainable production and consumption patterns. Final Report-SPSD II CP 28 Belgian Science Policy, Brussels.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 2006. Sistema de Indicadores de Desarrollo Sostenible: República Argentina. Primera edición. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Buenos Aires.

Senthilkumar, K. 2008. Saving water? Analysis of options for rice based farms in Tamil, Nadu, India. Ph d. Thesis, Wagenigen University, The Netherlands.

Schaffer, R., Mendenhall, W., Ott. L. 1990. Elementary Survey Sampling. Fourth Edition. Duxbury Press, Belmont, California.

Shahid, S., Behrawan, H. 2008. Drought risk assessment in the western part of Bangladesh, natural hazards. Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, 46: 391-413.

Shrawat, A., Carroll R., De Pauw, M., Taylor G., Good A. 2008. Genetic engineering of improved nitrogen use efficiency in rice by the tissue-specific expression of alanine aminotransferase. Plant Biotechnology Journal, 6:722-32

Schnier H. F., Dingkuhn M., De Datta S. K., Mengel K., Faronilo J. E., 1990. Nitrogen fertilization of direct seeded flooded vs transplanted rice: I. Nitrogen uptake, photosynthesis, growth and yield. Crop Sciences. 30:1276-1284.

Sinclair, T., Cassman, K. 2004. Agronomics UFOs? Field Crop Res. 88, 9-10.

Sheehy, J., Peng, S., Dobermann, A., Mitchell, P., Ferrer, A., Yang, J., Zou, Y., Zhong, X., Huang, J. 2004. Fantastic yield in the system of rice intensification: fact or fallacy? Field crops Research. 88:1-8.

Sheehy, J., Sinclair, T., Cassman, K. 2005. Curiosities, nonsense, non-science and SRI. *Field Crops Research* 91: 355–356.

Singh, H., Verma, A., Wahid A., M., Shukla, A. 2014. Physiological response of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to elevated nitrogen applied under field conditions. *Plant Signaling & Behavior* 9, e29015; April; © 2014 Landes Bioscience.

Snyder, C. 2009. Eficiencia del uso de nitrógeno: Desafíos mundiales, tendencias futuras. *Informaciones agronómicas*, Octubre 2009. N° 75.

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. *Agriculture System*. 71, 249-274.

Sudhir-Yadav, Humphreys, E., Li, T., Gill, G., Kukal, S. 2012. Evaluation of tradeoffs in land and water productivity of dry seeded rice as affected by irrigation schedule. *Field Crops Research*, 128: 180-190.

Sudhir-Yadav E., Faronilo, G., Humphreys, J., Henry, E., Fernández, L. 2014. Establishment methods effects of crop performance and water productivity of irrigated rice in the tropics. *Field Crops Res*. 166: 112-127.

Sweeney, M., Thomson, M., Cho, Y., Park, Y., Williamson, S., Bustamante, C., Mc Couch, S. 2007. Global dissemination of a single mutation conferring white pericarp in rice. *Plos. Genetics*. 3(8):1-33

Sweeney, M., Mac Couch, S. 2007. The complex history of the rice. *Annals of botany* 100(5): 951-957.

Tabbal, D., Bhinyand, S., Bajan, B. 2005. The dry seeding technique for saving water in irrigated rice production system. In: *Rice is life, 2004*. In *Rice is life: Scientific perspectives for the 21th century*. Toriyama K, Heong KL, Hardy B, eds. International Rice Research Institute, Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba, Japan pp.

Tabbal, D., Bouman, B., Bhuiyan, S., Sibayan, E., Sattar, M. 2002. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice. Case studies in Philippines. *Agricultural Water Management*, 56, 93-112.

Tabbal, D., Lampayan, R., Bhuiyan, S. 1992. Water efficient irrigation technique for rice. In: Ed. Murty, V., Koga, K. *Soil and water engineering for paddy field management* Asian Institute of Technology Bangkok. (1) (PDF) Saturated soil culture: a new concept for irrigated rice production in tropical Australia. Available from: https://www.researchgate.net/publication/277559830_Saturated_soil_culture_a_new_concept_for_irrigated_rice_production_in_tropical_Australia

Tabuchi, T. 1985. In: *Soil Physics and Rice*, Los Banos, IRRI, pp. 147–159.

Traore, S., Wang, Y., Kerh, T. 2010. Artificial neural network for modeling reference evapotranspiration complex process in Sudano-Sahelian zone. *Agricultural Water Management*, 97, 707-714.

Thiyagarajan, T., Senthilkumar, K., Bindraban, P., Hengsdijk, H., Ramasamy, S. Velu, V., Durgadevi, D., Govindarajan, K., Priyadarshini, R., Sudhalakshmi, C., Nisha, P.T., Gayathry, C. 2002. Crop management options for increasing water productivity in rice. *Journal of Agriculture Resource management*, 1(4), 169-181.

Thompson, H. 2012. Food science deserves a place at the table – US agricultural research chief aims to raise the profile of farming and nutrition science. *Nature*, July.

Thompson, J. 1999. Methods for increasing water use efficiency. In *Proceedings. : Rice Water use efficiency Workshop*. Humphreys, E. Ed. Cooperative Research Center for Sustainable Rice Production: Leton, new South wales, Australia, pp.55-57.

UN-United Nations. 2000. *United Nations Millennium Declaration*.

Uphoff, N. 2002. System of Rice Intensification (SRI) for enhancing the productivity of land labor and water. *Journal of Agriculture Resources Manage* 1(1):43-49.

Uphoff, N. 2015. Sistema de Intensificación del Cultivo del Arroz: Respuestas a preguntas frecuentes. Universidad de Cornell. 1-28.

Vaughan D., Morishima H., Kadowaki, K. 2003. Diversity in the *Oryza* genus. *Current Opinion in Plant Molecular Biology* 6: 139–146.

Vijayalakshmi, P., Vishnu Kiran, T., Venkastewara Rao, Y. Srikanth, B., Subhakara Rao, I., Sailaja, B., Surekha, K., Raghuveer Rao, P., Subrahmanyam, D., Neeraja, C. Voleti, S. 2013. Physiological approaches for increasing nitrogen use efficiency in rice. *Indian Journal of Plant Physiology* (July-september 2013) 18(3):208-222.

Wang, H., Zhou J. 2015. Root-zone fertilization a key and necessary approach to improve fertilizer use efficiency and reduce non-point source pollution from the cropland. *Soils*, 45(5):785–90.

Wassmann, R., Dobermann, A. 2007. Climate change adoption through rice production in regions with high poverty levels. ICRISAT and CGIAR 35th anniversary Symposium “climate proofing innovation for poverty reduction and food security. November 22-24, 2007. *SAT e Journal*, 4(1):1-24.

Welch, J., Vincent, J., Aufhammer, M., Moya, P., Dobermann, A., Dawe, D. 2010. Rice yields in tropical/subtropical Asia exhibit large but opposing sensitivities to minimum and maximum temperatures. *Proceeding of the National Academy of the United States of America, PNAS*. 107.(33):14562-14567.

WCED. 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>.

Wen, Z., Shen, J., Blackwell, M., Li, H., Zhao, B., Yuan, H. 2016. Combined applications of nitrogen and phosphorus fertilizers with manure increase maize yield and nutrient uptake via stimulating root growth in a long term experiment. *Pedosphere*, 26 (1):62-73.

WRI - World Resources Institute. 2014. wetting-drying-reducing-greenhouse-gas-emissions-saving-water-rice-production.pdf. <http://www.wri.org/sites/default/files/wetting-drying-reducing-greenhouse-gas-emissions-saving-water-rice-production.pdf>.

Wu, X., Wang, W., Yin, Ch., Hou, H., Xie, K., Xie, X. 2017. Water consumption, grain yield, and water productivity in response to field water management in double rice system in China. *PLoS One* 12(12): 189-280.

Xin, G., Zhu, Z. 2000. An assessment of N loss from agricultural fields to the environment in China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 57: 67-73.

Yan, S., Y, J., Tan, G., Vos, J., Bouman, B. Xie, G., Meinke, H. 2010. Yield formation and tillering dynamic of direct seeded rice in flooded and non flooded soil in the Huai River Basin in China. *Field Crops Research*, 116(3):252-259.

Yang J., Zhang J. 2010. Crop management techniques to enhance harvest index in rice. *Journal of Experimental Botany*, 61(12):3177-3189.

Yang, J., Zhou, Q., Zhang, J. 2017. Moderate wetting and drying increases rice yield and reduces water use, grain arsenic level, and methane emission. *The Crop Journal*. 5, 151–158.

Yang, Y., Zhang, M., Li, Y., Fan, X., Geng, Y. 2012. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, activities of leaf enzymes, and rice yield. *Soil Science American Society Journal*. 76 (6):2307-17.

Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of Rice Crop Science*. International Research Institute, Philippines. 269 pp.

Youngdahl, L.J., M.S. Lupin and E.T. Craswell. 1986. New developments in nitrogen fertilizers for rice. *Fertilizer Research*, 9: 149-160.

Yusuf, R., Noor, A., Abba, A. Arifin, M., Hassan, M. 2012. Methane emission by sectors: A comprehensive review of emission sources and mitigation methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16:5059-5070.

Zhang, Y., Tang O., Peng, S., Xing, D., Laza, R.C., and Punzalon, B. 2012. Water Use Efficiency and Physiologied Response of Rice Cultivar under Alternative wetting and Drying Conditions. *The Scientific World Journal*, 61(12):1-10.

Zheng, Y, Crawford, G., Jiang, L., Chen, X. 2016. Rice Domestication Revealed by Reduced Shattering of Archaeological rice from the Lower Yangtze valley. *Scientific Reports* 61(12):28-36.

Zhao Z. 1998. The middle Yangtze region in China is one place where rice was domesticated: phytolith evidence from Teh Diaotonghuan Cave, northern Jiangxi. *Antiquity* 72: 885–897.

Zhu, G., Peng, S., Huang, F. 2016. Genetic improvements in rice yield and concomitant increases in radiation and nitrogen –use in middle reaches of Yangtze River. *Scientific Reports* | 6:210-249

Zhu, D., Zhang, H., Guo, B., Xu, K., Dai, K. Wei, H. Gao, H.; Hu, Y. Cui, P., Huo, Z. 2017. Effects of nitrogen level on yield and quality of japonica soft super rice. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(5): 1018–1027.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	
ENCUESTA PARA EL PRODUCTOR AGRÍCOLA	
- Colocar una X donde corresponda, de acuerdo a la respuesta del encuestado	
Nombres y apellidos	
DNI	Teléfono:
Dirección:	
1. Sexo del responsable de la parcela Hombre () 0 Mujer () 1	
2. Edad del responsable de la parcela (años)	
3. Donde reside responsable del predio agrícola el r: Chacra () Centro Poblado () Ciudad ()	
4. Número de hectáreas en propiedad o en posesión	
5. Cría animales: Sí () No ()	Tipo de animales:
6. Qué cultiva siembra o tiene en su predio agrícola:	
7. Realiza otra actividad económica, además de la agricultura sí () No ()	
8. Qué otra actividad realiza: Comercio () Artesanía () Otras ()	
9. Recibe capacitación agrícola Sí () No () Ministerio agricultura () Junta de riego ()	
Organización de productores () INIA () ONG's () Otros ()	
<i>DIMENSIÓN SOCIO-CULTURAL</i>	
A. SATISFACCIÓN DE LAS NECESIDADES BÁSICAS	
A.1 ACCESO Y CONDICIONES DE LA VIVIENDA	
3	Material noble y buen diseño
2	Material de quincha y buen diseño
1	Material de quincha y mal diseño
0	Un solo cuarto de quincha con piso de tierra
A.2 ACCESO A LA EDUCACIÓN	
3	Acceso a la educación superior
2	Acceso a la educación secundaria
1	Acceso a la educación primaria
0	Sin acceso a la educación
A.3 ACCESO A LA ATENCIÓN MÉDICA DONDE VIVES	
3	Cuentan con una posta médica bien equipada con profesionales permanentes
2	Cuentan con una posta médica bien equipada con profesionales a tiempo parcial
1	Cuentan con una posta médica regularmente equipada con profesionales a tiempo parcial
0	Sin acceso a la atención médica
A.4 ACCESO A LA EDUCACIÓN	
3	Cuenta en su domicilio con agua, desagüe, luz y teléfono
2	Cuenta en su domicilio con agua, luz y teléfono
1	Cuenta en su domicilio con agua y teléfono
0	Cuenta en su domicilio sólo con agua de pozo

B. ACCEPTABILIDAD DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN	
B 1. ACCEPTABILIDAD DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN	
3	Satisfecho, no cambiaría a otro cultivo
2	Satisfecho pero demanda estabilidad del precio
1	Poco satisfecho, pero no tiene otra opción
0	Insatisfecho
C. INTEGRACIÓN SOCIAL	
C 1. INTEGRACIÓN SOCIAL	
3	Pertence a más de 4 organizaciones. Ej: junta de usuarios, club de futbol, iglesia, etc.
2	Pertence a 3 organizaciones
1	Pertence a 2 organizaciones
0	Pertence a 1 organización
D. CONOCIMIENTO Y CONCIENCIA ECOLÓGICA	
D.1 CONOCIMIENTO Y CONCIENCIA ECOLÓGICA	
3	Posee visión y fundamentos de la ecología y trata de minimizar las prácticas que afectan al ambiente
2	Tiene una visión parcial de la ecología, pero parcialmente realiza prácticas con impacto negativo
1	Desconoce el concepto de la ecología e ignora los efectos de las malas prácticas
0	Desconoce y afecta al medio ambiente con sus prácticas
DIMENSIÓN ECONÓMICA	
A. RENTABILIDAD DEL PREDIO AGRÍCOLA	
A.1 PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO	
3	12 a 13 toneladas por hectárea u 86 a 94 fanegas/ha
2	10 a 11 toneladas por hectárea u 72 a 80 fanegas /ha
1	8 a 9 toneladas por hectárea u 58 a 65 fanegas/ha
0	6 a 7 toneladas por hectárea u 44 a 50 fanegas/ha
A.2 INGRESO NETO DEL AGRICULTOR POR HECTAREA	
3	S/. 5000 a 4500
2	S/. 4000 a 3500
1	S/. 3000 a 2500
0	S/. 2000 a 1500
B. TAMAÑO DE PREDIO	
B.1 TAMAÑO DE PREDIO	
3	Más de 50 has
2	Más de 30 has
1	Más de 10 has
0	1 a 3 has

DIMENSIÓN AMBIENTAL	
A. DEPENDENCIA DE INSUMOS EXTERNOS	
A.1 CANTIDAD DE FERTILIZANTE NITROGENADO POR HECTAREA	
3	200 A 220 Kg N/ha - 9 a 10 bolsas de urea
2	240 a 260 Kg N/ha - 11 a 12 bolsas de urea
1	280 a 300 Kg N/ha - 12 a 13 bolsas de urea
0	320 a 340 Kg N/ha - 14 a 15 bolsas de urea
A.2 CANTIDAD DE AGUA UTILIZADA POR HECTÁREA	
3	Menos de 14,000 metros cúbicos
2	15,000 metros cúbicos
1	16,000 metros cúbicos
0	más de 17,000 metros cúbicos
A.3 MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS	
3	Realiza una aplicación de control químico + control cultural + control biológico
2	Realiza 2 aplicaciones de control químico + control cultural
1	Realiza 3 a 4 aplicaciones de control químico sin control cultural
0	Realiza 5 a 6 aplicaciones de control químico sin control cultural
B. EFICIENCIA DE USO DE AGUA	
B.1 METROS CÚBICOS PRODUCIDOS POR KG DE ARROZ CÁSCARA	
3	SE CONSTRUIRÁ CON LA INFORMACIÓN QUE SEÑALEN EN EL RENDIMIENTO Y LOS METROS CÚBICOS QUE UTILIZAN POR HA
2	
1	
0	
C. SISTEMA DE SIEMBRA	
C.1 SISTEMA DE SIEMBRA	
3	Sistema de siembra directa con riegos de inundación continua
2	Sistema de siembra directo con riego de inundación y secas
1	Sistema indirecto-Trasplante en pozas al batido con riego de inundación y secas
0	Sistema indirecto-Trasplante en pozas al batido con riego de inundación permanente
D. CALIDAD DEL SUELO	
D.1 CALIDAD DEL SUELO	
3	Deja en barbecho, después de la cosecha de arroz
2	Siembra una campaña arroz y siembra leguminosas fijadoras de nitrógeno para su incorporación como abono verde
1	Siembra dos campañas al año arroz-leguminosas
0	Siembra dos campañas al año arroz-maíz

10. En qué le gustaría ser capacitado: Comercialización () Manejo de agua en inundación y secas () Control de plagas y enfermedades () Manejo de fertilizantes ()

ANEXO 2. Fotografías



Sistematización de experimento de formas y niveles de nitrógeno (lado izq.). Trasplante de experimento (lado der).



Fertilización nitrogenada en experimento de formas y niveles



Vista general de experimento de formas y niveles en el Fuzdo Luzben, valle Jequetepeque



Sistematización de experimento de sistemas de siembra (lado izq.). Siembra sistema directo (lado der).



Almácigo para el sistema indirecto trasplante (lado izq.). Traspalnte SICA (lado der).



Vista general de experimento de sistemas de siembra



Sistematización del experimento de identificación de cultivares adaptados a condiciones de suelo saturado e inundado



Vista general de experimento de identificación de cultivares adaptados a condiciones de suelo saturado e inundado

