

MANEJO EN EL CULTIVO DEL ARROZ



Editores:

María Bernarda Ruilova Cueva

Fernando Javier Cobos Mora

Juan Carlos Gómez Villalva

Editores:

María Bernarda Ruilova Cueva

Fernando Javier Cobos Mora

Juan Carlos Gómez Villalva

ISBN: 978-9942-606-08-2



Manejo en el cultivo del arroz





Fernando Javier Cobos Mora
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Técnica de Babahoyo
fcobos@utb.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8462-9022>



María Bernarda Ruilova Cueva
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Técnica de Babahoyo
mruilova@utb.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3750-7385>



Ph.D. Juan Carlos Gómez Villalva
Docente carrera de Medicina Veterinaria
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Técnica de Babahoyo
jgomez@utb.edu.ec
1202333470



Primera Edición, septiembre 2022

978-9942-606-08-2

ISBN: 978-9942-606-08-2 (eBook)

Editado por:

Universidad Técnica de Babahoyo

Avenida Universitaria Km 2.5 Vía a Montalvo

Teléfono: 052 570 368

© Reservados todos los derechos 2020

Babahoyo, Ecuador

www.utb.edu.ec

E-mail: editorial@utb.edu.ec

Este texto ha sido sometido a un proceso de evaluación por pares externos.

Diseño y diagramación, montaje y producción editorial

Universidad Técnica de Babahoyo

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

Queda prohibida toda la reproducción de la obra o partes de la misma por cualquier medio, sin la preceptiva autorización previa.

PRESENTACIÓN

El arroz es uno de los cereales más importante en la alimentación mundial, siendo el más consumido en la mayoría de los países asiáticos y el resto del mundo superando muy por arriba al consumo de otros cereales. La razón principal para que el arroz sea el sustento de la mayoría de la población mundial es su facilidad de cultivo. Es una planta muy versátil, que se adecúa a muchos tipos de suelos y climas. Además, no requiere de cuidados especiales y cada hectárea de plantación es muy productiva. Con el presente libro sobre el manejo del cultivo de Arroz, se pretende poner a la disposición de los productores, agrónomos que ofrecen la asistencia técnica y estudiantes, una guía base para el conocimiento y el manejo agronómico del cultivo moderno del arroz, el cual se deberá actualizar de tiempo en tiempo, en aquellos aspectos dinámicos de la producción y no necesariamente constituyen recomendaciones únicas, ya que estas pueden variar según el producto, la época y la condición del cultivo. En el libro se discuten los aspectos generales del cultivo y sus relaciones con algunos otros factores de la producción, la situación mundial, regional y nacional en la producción de arroz. Los autores de cada uno de los capítulos tratan de dar a conocer las técnicas modernas en este cultivo, utilizando un lenguaje técnico científico acorde a los tiempos presentes en donde nos encontramos inmersos en la era de la comunicación y más aun con los retos actuales que nos plantean subir la productividad de las siembras con una conciencia ecológica sostenible y sustentable. Tengo el enorme agrado de presentar esta obra, cuyo autor principal no solo es un colega si no el amigo con el que cursamos estudios de Doctorado en la UNALM. Si bien aprecio todo el trabajo realizado por este excelente editor considero importante confesar mi preferencia por esta última obra. Confío que este libro pasará a ser un clásico en las bibliotecas de muchas familias y un buen material de estudio en secundarias y universidades. Esto se debe a la riqueza tanto en información que se nos brinda, como en el plano científico y de investigación.

Ph.D. Juan Carlos Gómez Villalva.

Docente- Investigador de la Universidad Técnica de Babahoyo.

CONTENIDO

Capítulo I. Origen e historia	12
1.1. Introducción	12
1.2. Domesticación del arroz desde su antepasado salvaje	13
1.3. Rasgos de domesticación	15
1.4. Especies de arroz cultivadas.....	16
<i>Oryza sativa</i>	16
<i>Japonica</i>	16
<i>Javanica o Japónica Tropical</i>	17
<i>Indica</i>	17
<i>Oryza glaberrima</i>	17
1.5. Características del grano	17
<i>Tipo aromático</i>	18
<i>Características del arroz aromático</i>	18
<i>Arroz no aromático y no glutinoso</i>	20
<i>Arroz glutinoso, meloso o mochi</i>	20
1.6. Características del grano	21
<i>Variedades</i>	21
1.7. Pérdida de diversidad genética.....	22
1.8. Posición taxonómica de <i>Oryza</i> en las Poaceae.....	22
1.9. Morfología y desarrollo del arroz.....	24
<i>Raíz</i>	25
<i>Tallo</i>	25
<i>Hoja</i>	26
<i>Flores</i>	26
<i>Grano</i>	26
1.10. Fases del cultivo	27
1.11. Conclusiones.....	29
1.12. Bibliografía.....	29
Capítulo II. Situación mundial, regional y nacional en la producción de arroz.	34
2.1. Introducción.	34
2.2. Importancia del cultivo.....	35
2.3. Apuntes de la agricultura ecuatoriana y su problemática.....	36

<i>Sectores de producción agrícola en Ecuador, su dinámica</i>	36
<i>Taxonomía y botánica</i>	37
<i>Fisiología</i>	39
<i>Necesidades climáticas</i>	40
2.4. Épocas de siembra por región	41
2.5. Zonificación agroecológica	41
2.6. Sistemas de producción.....	42
2.7. Variedades de arroz.....	43
2.8. Cambio climático y su incidencia en el arroz	43
2.9. Sistemas de manejo del cultivo del arroz por agricultores (en general).....	43
<i>Aspectos Claves en la Producción de Arroz</i>	44
<i>Caracterización del sistema de producción del cultivo de arroz</i>	46
2.10. Sustentabilidad en el cultivo de arroz.....	46
<i>La agricultura en el Ecuador</i>	46
<i>Agricultura sustentable</i>	47
<i>Agricultura sustentable del arroz</i>	48
2.11. Amenazas a la sustentabilidad del arroz en Ecuador.....	49
<i>Manejo del suelo</i>	50
<i>Manejo de plagas</i>	50
<i>Manejo de agua</i>	51
<i>Mejoramiento del cultivo</i>	52
<i>Los agricultores abandonan las tierras arroceras</i>	52
<i>Cultivo de arroz con miras a una sostenibilidad</i>	53
2.12. Conclusiones.....	54
2.13. Bibliografía.....	54
Capítulo III. Sistemas de cultivo.....	63
3.1. Introducción	63
3.2. Clasificación de los sistemas de producción	64
3.3. Clasificación en base al entorno del cultivo.....	65
3.4. Sistemas de producción basado en el método de establecimiento.	68
3.5. Productividad en diferentes sistemas de producción.....	69
3.6. Huella ambiental en diferentes sistemas de producción.....	70
3.7. Preparación de suelos arroceros	71

<i>Operaciones básicas en la labranza</i>	71
3.8. Métodos de preparación de suelos	72
<i>Preparación en condiciones de seco</i>	72
<i>Condiciones bajo riego</i>	73
3.9. Condiciones de fangueo o bajo inundación.....	74
<i>Equipo utilizado en la preparación de tierras por fangueo</i>	74
<i>Suelos en donde se puede emplear el fangueo</i>	75
<i>Equipos de fangueo</i>	76
3.10. Evaluación de tipos de fangueo	76
3.11. Conclusiones.....	77
3.12. Bibliografía.....	77
Capítulo IV. Trasplante mecánico en arroz	82
4.1. Introducción	82
4.2. Requerimientos agro-ecológicos para el cultivo de arroz	83
<i>Temperatura y radiación solar</i>	83
<i>Nivelación de suelos</i>	84
<i>Preparación de suelos</i>	84
<i>Elaboración de semillero</i>	84
<i>Siembra o trasplante</i>	86
4.3. Trasplante mecanizado	87
4.4. Índices tecnológicos explotativos.....	90
4.5. Impacto del trasplante mecánico	94
<i>Impacto en la población de plantas</i>	94
<i>Impacto sobre los atributos de crecimiento</i>	95
<i>Impacto sobre los atributos de rendimiento</i>	95
<i>Impacto sobre el rendimiento de grano</i>	95
<i>Impacto en la economía</i>	95
<i>Investigaciones realizadas</i>	96
4.6. Conclusiones	97
4.7. Bibliografía.....	97
Capítulo V. Nutrición y manejo de fertilizantes	104
5.1. Introducción	104
5.2. Elementos esenciales para el arroz.....	105

5.3.	Síntomas de deficiencia de macronutrientes	106
	<i>Nitrógeno</i>	106
	<i>Fósforo</i>	106
	<i>Potasio</i>	107
5.4.	El Nitrógeno	107
	<i>Transformación del nitrógeno en suelos de arroz inundados</i>	108
	<i>Absorción de nitrógeno por el arroz</i>	109
	<i>Eficiencia en el uso de nitrógeno nitrogenado en arroz</i>	110
5.5.	Fósforo	113
	<i>Absorción de P por el arroz</i>	113
5.6.	Potasio.....	115
	<i>Absorción de K por el arroz</i>	116
5.7.	Zinc.....	117
5.8.	Azufre.....	119
5.9.	Boro.....	119
5.10.	Manejo Integrado de Nutrientes Vegetales en Arroz	120
5.11.	Conclusiones.....	120
5.12.	Bibliografía.....	120
Capítulo VI. Insectos y enfermedades.....		127
6.1.	Introducción	127
6.2.	Épocas críticas en el cultivo de arroz	128
6.3.	Principales insectos plaga en el cultivo de arroz.....	128
6.4.	<i>Hydrellia wirthi</i> (Korytkowski) Diptera: Ephydridae.....	129
	<i>Daños ocasionados por Hydrellia wirthi</i>	129
6.5.	<i>Spodoptera frugiperda</i> (J. Smih) Lepidoptera: Noctuidae.....	130
	<i>Daños ocasionados por Spodoptera frugiperda</i>	131
6.6.	<i>Tagosodes oryzicolus</i> (Muir) Homoptera: Delphacidae.....	131
	<i>Daños ocasionados por Tagosodes oryzicolus</i>	132
6.7.	<i>Oebalus insularis</i> (Stal.) Heteroptera: Pentatomidae	132
	<i>Daños ocasionados por Oebalus insularis</i>	133
6.8.	<i>Rupela albinella</i> (Cramer) Lepidoptero: Pyralidae.....	133
	<i>Daños ocasionados por Rupela albinella</i>	134
6.9.	<i>Steneotarsonemus spinki</i> (Smiley) Acari: Tarsonemidae.....	135

<i>Daños ocasionados por Stenotarsonemis spinki</i>	135
6.10. <i>Diatraea sacharalis</i> (Fabricius) Lepidoptera: Pyralidae	136
<i>Daños ocasionados por Diatraea sacharalis</i>	136
6.11. Control de insectos en arroz	136
Control químico	137
Control genético	137
Control biológico.....	138
Control cultural	138
Manejo integrado de insectos	138
6.12. Principales enfermedades en el cultivo de arroz.	139
6.13. <i>Pyricularia oryzae</i>	139
Síntomas de la enfermedad.....	140
Daños de la enfermedad	140
6.14. <i>Helminthosporium oryzae</i>	140
Síntoma de la enfermedad	141
Daño de la enfermedad.....	141
6.15. <i>Burkholderia glumae</i>	141
Síntoma de la enfermedad	141
Daños ocasionados de la enfermedad	142
6.16. <i>Rhizoctonia solani</i>	142
Síntoma de la enfermedad	142
Daños de la enfermedad	143
6.17. Virus de la hoja blanca del Arroz (VHBA).....	143
Síntoma de la enfermedad	143
Daños ocasionados de la enfermedad	143
6.18. Métodos de control para enfermedades	144
Control químico	144
Resistencia varietal.....	144
Medidas culturales	145
6.19. Conclusiones.....	145
6.20. Bibliografía.....	145
Capítulo VII. Manejo integral de arvenses.....	148
7.1. Introducción	148

7.2.	Malezas de importancia en arroz.....	148
7.3.	Componentes de competencia.....	149
7.4.	Pérdidas de rendimiento por malezas.....	150
7.5.	Métodos de control.....	151
	<i>Medidas Preventivas</i>	151
	<i>Medidas Culturales</i>	151
	<i>Control físico</i>	157
	<i>Control químico</i>	157
	<i>Control biológico</i>	167
	<i>Manejo integrado de malezas</i>	168
	<i>Arroz tolerante a herbicidas</i>	169
7.6.	Conclusiones.....	170
7.7.	Bibliografía.....	170

Capítulo I. Origen e historia

Fernando Javier Cobos Mora

Universidad Técnica de Babahoyo
<https://orcid.org/0000-0001-8462-9022>

Jackson Alejandro Cornejo Ortiz

División Semillas, Agripac S.A
<https://orcid.org/0000-0001-7934-3089>

Juan Carlos Gómez Villalva

Universidad Técnica de Babahoyo
<https://orcid.org/0000-0002-3310-3722>

Hugo Alvarado Álvarez

Universidad Técnica de Babahoyo
<https://orcid.org/0000-0002-4400-5941>

1.1. Introducción

El arroz se puede cultivar en una amplia gama de condiciones climáticas, incluidas las de las zonas cercanas al nivel del mar, así como la región del Himalaya, que se encuentra a 2700 m sobre el nivel del mar (Fuller *et al.*, 2010). Los progenitores naturales de las especies cultivadas brindan información sobre la evolución de especies relevantes y son una fuente de variación genética (Kovach *et al.*, 2007). Se han recolectado evidencias de domesticación del arroz en las regiones entre el río Yangtze bajo y medio en el sur de China (Doebley *et al.*, 2006). Recientemente, Civián *et al.*, (2015) concluyeron que había tres centros independientes diferentes de domesticación del arroz en diferentes regiones de Asia. Los tipos de arroz silvestre y domesticado difieren en varios de los rasgos, como el color del pericarpio, número de macollos, tamaño de las semillas, latencia, arquitectura de la panícula y número de semillas (Vaughan *et al.*, 2008).

En todo el mundo, el arroz cultivado incluye dos especies que son el arroz africano (*Oryza glaberrima*) y el arroz asiático (*Oryza sativa*). El arroz africano se cultiva principalmente en los países africanos, mientras que el arroz asiático generalmente se cultiva en el resto del mundo, incluidas algunas partes de África. Las dos especies de *Oryza* se han cultivado durante siglos, lo que ayudó a mejorar sus características para lograr un mejor crecimiento y rendimiento. Basado en el estudio de 3000 accesiones, *O. sativa* se clasifica en cuatro clases principales: tipos Indica, Japonica, Aus y Aromática.

1.2. Domesticación del arroz desde su antepasado salvaje

Al igual que en otras especies de plantas que se convirtieron en cultivos, la secuencia en la domesticación de un cultivo alimentario como el arroz por parte de los pueblos prehistóricos es: recolección y cultivo y domesticación. Antes de la recolección, los pueblos prehistóricos también cazaban, pescaban y recolectaban otras partes de plantas comestibles fácilmente disponibles como alimento. Inicialmente, el arroz podría haber sido un suplemento alimenticio para otras plantas o partes de plantas más fáciles de recolectar, pero a medida que las personas desarrollaron un gusto por el cereal sabroso y fácil de cocinar, seleccionaron las panículas más pesadas y los granos más pesados. También acercaron las plantas de arroz a las viviendas. En áreas tropicales, se genera una cosecha de plantas de caída libre a partir de semillas caídas o retoños. La temporada de cosecha puede durar meses. Sin embargo, en regiones más frías, donde el período de cosecha es más corto y más sincronizado, la selección de plantas para la siguiente cosecha se volvió más imperativa (Smith *et al.*, 2003).

El arroz silvestre probablemente se encontró en todo el este de China y la cuenca del Yangtze hasta el norte, como Shandong. Además, se han descubierto microfósiles de silicio y fitolitos de estructuras de células de arroz que datan del 11 000 al 12 000 a. C. en sitios de Diotonghuan y Xianrendong. Durante 3000-2000 a. C., el arroz se trasladó a la cuenca del río Amarillo, que se encuentra en el centro de China. Durante el mismo período (2500-2000 a. C.), se encontraron restos de arroz en Vietnam y Taiwán. En la India, el trabajo arqueológico indicó que existía consumo de arroz en el sitio neolítico Lahuradewa en el valle del Ganges (es decir, que data del 7000 al 5000 a. C.) (Fuller *et al.*, 2010; Wei *et al.*, 2012). Los datos arqueológicos y la estimación del reloj molecular indican que la domesticación del arroz comenzó hace aproximadamente 8200–13 500 años, y el arroz se cultivó por primera vez en el valle del Yangtze de China (Molina *et al.*, 2011).

Las especies de cultivos cultivadas derivadas de sus ancestros silvestres no solo brindan fuentes valiosas de diversidad genética para el mejoramiento de cultivos, sino que también brindan información valiosa para echar un vistazo a la historia evolutiva de nuestras especies de cultivos domesticados (Kovach *et al.*, 2007). Los arroces domesticados tienen 21 parientes silvestres del género *Oryza*. El género *Oryza* se divide en cuatro complejos de especies: especies *O. sativa*, *O. ridleyi*, *O. granulata* y *O. officinalis* (Vaughan *et al.*, 2003). En el complejo *O. sativa* se incluyen seis especies silvestres, es decir, *O. rufipogon*, *O.*

barthii, *O. glumaepatula*, *O. nivara* (considerada un ecotipo de *O. rufipogon*), *O. meridionalis* y *O. longistaminata*, y dos especies domesticadas en el complejo son *O. glaberrima* y *O. sativa*. Todas estas especies son diploides. *O. longistaminata* y *O. barthii* son especies africanas; *O. barthii* está muy extendida en África occidental y *O. longistaminata* se encuentra en toda África. *O. meridionalis* es habitante de Australia, y *O. glumaepatula*.

Está muy extendida en América Central y del Sur. *O. rufipogon* se estableció en Oceanía y Asia. Estas distribuciones son útiles para rastrear los conjuntos heredados de variedades de arroz (Vaughan *et al.*, 2003; Sweeney y McCouch, 2007).

Hay dos tipos divergentes de arroz domesticado, el arroz asiático (*Oryza sativa*) y el arroz africano (*Oryza glaberrima*), que tienen historias de domesticación distintas. Una hipótesis indicó que *O. sativa* probablemente fue domesticada de *O. rufipogon* hace aproximadamente 10.000 años por personas de Asia oriental (Wei *et al.*, 2012). *O. sativa* se subdivide en indica y japónica, dos subespecies principales (Fuller *et al.*, 2010). Varios investigadores habían sugerido que el grupo indica se domesticó originalmente a partir de *O. rufipogon* y, posteriormente, la japónica se obtuvo de la indica.

(Lu *et al.*, 2002). En comparación con japónica, se ha observado una mayor diversidad genética en el grupo indica (Garris *et al.*, 2005). La estrecha asociación genética entre las poblaciones existentes de formas anuales y perennes de *O. rufipogon* e indica apoya esta hipótesis. La segunda hipótesis indicó que la separación de japónica e indica se produjo como resultado de la adaptación a diversos entornos geográficos y ecológicos conforme a una sola domesticación de *O. rufipogon*. Una tercera hipótesis, propuesta por primera vez por Chou (1948), indicó que hubo al menos dos domesticaciones independientes del arroz a partir de un ancestro predistinguido de *O. rufipogon* acervo genético (Kovach *et al.*, 2007).

La datación molecular del tiempo de divergencia demostró que los genomas de japónica e indica se separaron hace entre 0,2 y 0,4 millones de años, lo que mostró que este tiempo de divergencia fue sustancialmente anterior al tiempo de domesticación del arroz. Los resultados de algunos estudios indican que Himalaya (India, Myanmar y Tailandia) es el lugar de domesticación del grupo indica y el sur de China es el lugar de domesticación del arroz japónica (Doebley *et al.*, 2006; Sang y Ge, 2007). Además, Molina *et al.*, (2011) señalaron a partir de un solo origen y varios modelos de domesticación independientes que japónica e indica fueron domesticados directamente de *O. rufipogon* (arroz silvestre) y por

separado de una gama diversa de especies de arroz silvestre. Además, Wei *et al.*, (2012) indicaron que japónica e indica fueron domesticadas a partir de distintas poblaciones de *O. rufipogon*. Recientemente, Civán *et al.*, (2015) utilizaron las huellas de los tipos de arroz cultivados (genomas) para demostrar que hubo tres domesticaciones independientes diferentes en varias partes de Asia. Identificaron poblaciones silvestres que constituyen la fuente del acervo genético de japónica en el sur del valle del Yangtze de China, y poblaciones en el valle de Brahmaputra e Indochina que constituyen la fuente del acervo genético de indica. Revelaron un origen hasta ahora no reconocido para la variedad aus en el centro de India o Bangladesh. Concluyeron que el resultado de la hibridación entre aus y japónica fue arroz aromático y que las versiones templadas y tropicales de japónica fueron luego adaptaciones de un cultivo.

Estudios previos han reconocido que *O. glaberrima* fue domesticada a partir de *O. barthii* en África occidental cerca del río Níger hace casi 3500 años (Callaway, 2014; Wei *et al.*, 2012). *O. glaberrima* tiene características únicas, como su hábito estrictamente anual, lígula corta y redondeada, pocas ramas secundarias en panícula y color rojo del pericarpio, que lo diferencian del arroz asiático (Vaughan *et al.*, 2008).

1.3. Rasgos de domesticación

Debido a la considerable variación e introgresión del arroz silvestre, algunos caracteres son consistentemente distintos entre los arroces domesticados y silvestres. Estos incluyen cambios en el tamaño de las semillas, rotura, tipo de apareamiento, arquitectura de la panícula, pericarpio color, número de hijos, número de semillas y latencia (Sweeney y McCouch, 2007; Vaughan *et al.*, 2008).

Muchas distinciones fenotípicas se manifiestan entre los parientes silvestres de *O. sativa* (Li *et al.*, 2006; Sweeney y McCouch, 2007; Thomson *et al.*, 2003). Típicamente, los arroces silvestres exhiben aristas largas, para garantizar la propagación, exhibición y dispersión de semillas mediante un desgrane intenso, mientras que en los tipos domesticados se observan aristas cortas y un desgrane reducido para cosechar el máximo número de semillas (Ji *et al.*, 2006; Kovach *et al.*, 2007; Lin *et al.*, 2007 ; Vaughan *et al.*, 2008). Además, Yao *et al.*, (2015), mientras estudiaban el desmoronamiento de semillas en arroz maleza, detectaron tres loci de rasgos cuantitativos (QTL) y demostraron que los QTL identificados (wd-qsh5, wd-qsh3 y wd-qsh1) no tenían superposiciones por los loci principales de desmoronamiento (ej., qSH1, SHAT1, SH4 y sh-h). Teniendo en cuenta estos resultados, se sugirió que los

estudios genómicos de los rasgos de domesticación podrían ser útiles para producir arroz maleza sin la contención del tipo de arroz salvaje en los agroecosistemas.

El pericarpio de los granos de arroz silvestre tiene un color rojo debido al pigmento de la cubierta de la semilla. Sin embargo, casi todas las variedades de arroz modernas aparecen de color blanco o beige en ausencia de pigmentación roja. Rc es el único locus que se ha indicado para afectar una alteración del pericarpio de rojo a blanco. A diferencia de sus progenitores, la forma de la panícula del arroz ha cambiado de una panícula abierta a lo largo de escasas ramas secundarias con pocos granos, a una panícula compacta agregada, que puede contener más semillas. Por lo tanto, los resultados de los estudios de domesticación, como los genes asociados y la distribución geográfica y de los alelos, serán útiles para que los mejoradores comprendan mejor a los ancestros y mejoren el arroz para el futuro (Kovach *et al.*, 2007; Sweeney y McCouch, 2007)

1.4. Especies de arroz cultivadas

Oryza sativa

Las subespecies importantes en *Oryza sativa* son (1) japónica (de grano corto y pegajoso), (2) indica (de grano largo, el arroz no pegajoso) y (3) javanica. Las variedades Japónica generalmente se cultivan en elevaciones altas (sur de Asia), en campos secos (templadas en el este de Asia) y en áreas de tierras altas (sureste de Asia). Asia tropical contiene las variedades indica como la mayoría de las especies de arroz cultivadas. Estos se siembran principalmente en condiciones sumergidas y de tierras bajas. Lo más probable es que japonica e indica fueran el resultado de una sola domesticación que ocurrió en China hace casi 8000–13 000 años (Kovach *et al.*, 2007).

Japonica

El arroz Japónica se originó en China y se cultiva en Japón. Suele cultivarse en zonas templadas y más frías de los subtrópicos. Las plantas tienen una altura menor que otros tipos de arroz, mientras que sus hojas tienen un color verde oscuro. Los granos bajos, duros, cortos y redondeados son algunas de las características del arroz japónica.

Javanica o Japónica Tropical

Javanica o tropical japónica es otra subespecie con un contenido intermedio de amilosa y pegajosidad. Las variedades “Unoy” y “Tinawon” son los ejemplos de este arroz que se cultivan en una zona de Filipinas. Las plantas de Javanica son altas y tienen hojas anchas de color verde claro y granos gruesos y largos, que no se rompen fácilmente. Sus granos son pegajosos por el bajo contenido de amilosa.

Indica

Este es un tipo principal de arroz cultivado en subtrópicos y trópicos del mundo. Las hojas del arroz índica son de color verde claro y sus plantas son largas en altura. Los tipos de arroz índica y japónica tienen granos glutinosos o no glutinosos.

Arroz glutinoso: De este arroz se elaboran postres y meriendas. Se cultiva principalmente en el sudeste asiático; este arroz es pegajoso, blanco y opaco después de la cocción.

No glutinoso: El arroz no glutinoso tiene menor pegajosidad que el arroz glutinoso.

Arroz aromático, incluido el basmati de Pakistán e India y el jazmín de Tailandia: tiene una participación del 12 al 13 % en el comercio mundial y gana un precio superior en los mercados mundiales.

Oryza glaberrima

El lugar de domesticación de *Oryza glaberrima* (arroz africano) es la parte superior del río Níger. Su domesticación se remonta a casi 2000-3000 años, mientras que su ancestro salvaje (*Oryza barthii*) se puede encontrar en algunas partes de África incluso hoy en día. La calidad del grano y el rendimiento de este arroz son generalmente más pobres que *O. sativa*, mientras que posee una mejor resistencia/tolerancia contra el estrés que *O. sativa* (McCouch, 2007).

1.5. Características del grano

Las especies de arroz cultivadas se han clasificado en los siguientes grupos principales según las características de su grano.

Tipo aromático

Los arroces aromáticos tienen granos medianos a largos. Investigaciones recientes establecieron que los arroces aromáticos tienen aroma debido a los químicos naturales que les dan una fragancia o aroma distintivo. Además de esto, tienen niveles muy bajos de arsénico en relación con las variedades de arroz no aromático. Los arroces aromáticos aportan fragancia al igual que las palomitas o los frutos secos tostados. El basmati y el jazmín son, respectivamente, los arroces aromáticos más importantes del mundo (Vaughan *et al.*, 2008).

El aroma es un rasgo importante asociado con granos de alta calidad como los del arroz basmati y jazmín. La mayoría de las variedades de arroz aromático comparten el mismo gen aromático, *badh2*. Los agricultores tienen arroz que contiene este gen desde hace miles de años. Sin embargo, lo que hace que los granos de arroz sean aromáticos sigue siendo un misterio científico en la actualidad. Aunque la 2-acetil-1-pirrolina (2AP), el principal compuesto aromático responsable de la fragancia de las variedades de arroz jazmín y basmati, se identificó hace mucho tiempo, ahora se sabe que existen más de 150 compuestos aromáticos diferentes desconocidos. Los investigadores aún no han entendido completamente la contribución de estos compuestos al aroma (Vaughan *et al.*, 2008).

Características del arroz aromático

El arroz aromático incluye basmati, texmati, jazmín, arroz con nueces silvestres y wehani. Los granos de estas variedades son de textura ligera y esponjosos después de la cocción.

Arroz basmati Basmati es un nombre personalizado para ciertas variedades de arroz que son cultivadas de manera intensiva en un área específica de las llanuras indo ganéticas. Basmati es delgado, en forma de espada, largo/extralargo y esponjoso con una expansión de gran volumen que casi se duplica al cocinarse y tiene el aroma típico de basmati. El arroz basmati es fotoperiódico y termosensible y posee las siguientes características:

Tabla 1. Características del grano arroz basmati

Característica	Indicador
Relación mínima de elongación en la cocción	1,7 mm
Longitud media mínima del grano precocido	6,5 mm

Característica	Indicador
Contenido de amilosa	Intermedio (19-26%)
Relación largo/ancho	Más de 3.5
Consistencia de gel	Suave
Temperatura de gelatinización	Intermedio (69-74 %)
Aroma típico basmati	Presente
forma de grano	Delgado (espada)
Apariencia	Translúcido

Fuente: In Chauhan *et al.*, (2017)

Basmati se cultiva históricamente desde hace siglos en las provincias indias y pakistaníes de Punjab y al pie de las cadenas montañosas del Himalaya. Tanto Pakistán como la India han desarrollado muchas variedades de arroz basmati. Los granos de arroz basmati son aromáticos y largos, y basmati significa "reina de los aromas" o "perla de los aromas". La palabra basmati se deriva de la palabra sánscrita vas, que significa "aroma", y mayup, que significa "incrustado" o "presente desde el principio" (Singh *et al.*, 2000). Basmati es un arroz que emana un olor dulce y delicioso cuando se cocina. El arroz basmati es parte de la cultura alimentaria en muchos de los países europeos, árabes y americanos.

Texmati. Es un arroz aromático producido en América. Esto se desarrolló después de un cruce de arroz basmati y arroz de grano largo (americano).

Arroz wehani. Este tipo de arroz fue desarrollado en USA a partir de basmati, posee granos largos y un aroma.

US black japónica. Este arroz tiene salvado negro y aroma.

US Della, Delrose y Delmont. Este arroz posee las características tanto del arroz basmati como del arroz de grano largo y, por lo tanto, expresa aroma después de cocinado.

Arroz rojo. Este arroz se cultiva en Bután y Francia (así como en otras partes del mundo). Los granos son de color marrón rojizo y poseen un aroma.

Arroz arborio. Este es un arroz italiano de grano corto y posee un alto contenido de almidón. Esto también se cultiva en algunos estados de los EE. UU.

Arroz carnaroli. Este es el arroz arborio con granos más grandes y se cultiva en algunas regiones de Italia.

Arroz jazmín. Este tipo de arroz está presente en China y Tailandia, posee granos largos y tiene fragancia (similar al jazmín). Este arroz tiene una buena calidad culinaria que se asemeja al arroz basmati; sin embargo, el arroz jazmín es pegajoso.

Arroz Kalijira o Kalo nunia. Este arroz se cultiva en Bangladesh y tiene pequeños granos fragantes no pegajosos y se cocina rápidamente con una buena textura y sabor (In Chauhan *et al.*, 2017)

Arroz no aromático y no glutinoso

Los tipos de arroz glutinoso o no aromático suelen tener un sabor neutro y son de grano corto. Algunos tipos de arroz tienen su valor por su color. Este color suele estar determinado por los niveles de pigmento antocianina en diferentes capas de la cubierta de la semilla, el pericarpio y la capa exterior del grano.

Arroz negro

Se considera que este arroz tiene un alto valor nutritivo al ser rico en vitamina B y contener muchos otros oligoelementos como el calcio y el manganeso. Otra característica importante de este tipo es que se puede almacenar en refrigeración para su uso dentro de los 3 meses, sin deterioro. Hay varias cosas que distinguen este arroz de otros cultivares de arroz, por ejemplo, es menos pegajoso. Tiene un sabor dulce, alto contenido en hierro, minerales, fibra y vitaminas.

Arroz glutinoso, meloso o mochi

Glutinoso significa pegajoso, este tipo de arroz tiene granos cortos y se vuelve pegajoso después de cocinado. Los otros nombres son arroz dulce, botánico, ceroso y perlado. El arroz glutinoso (pegajoso) se consume principalmente en las zonas secas del norte de Tailandia, Camboya y Laos. Eso se utiliza con frecuencia para la elaboración de cerveza y como ingrediente importante en aperitivos y platos dulces. Laos con un 85 % de producción es el mayor productor y consumidor de arroz glutinoso. Este arroz no tiene gluten dietético pero tiene un alto contenido de amilopectina y una amilosa muy baja (Singh *et al.*, 2000).

1.6. Características del grano

El número de cultivares de arroz que se cultivan en el mundo supera los 40.000. El Banco Internacional de Genes de Arroz en Filipinas mantiene el germoplasma de casi 127.000 cultivares de arroz y sus parientes silvestres. Este recurso es útil para los investigadores de todo el arroz (Singh *et al.*, 2000).

Variedades.

Según el tamaño del grano y la longitud promedio del grano (AGL), el grano de arroz se puede agrupar en arroz de grano extralargo (>7,5 mm), largo (6,6–7,5 mm), mediano (5,5–6,6 mm) y corto (<5,5 mm). mm). Según la forma {proporción de largo (L) a ancho (W)}, el grano de arroz puede ser delgado (relación LW >3), medio (relación LW = 2,1–3), negrita (relación LW = 1,1–2) y redondo forma (relación LW <1.1). Caliza del endospermo, ninguna (0 %), pequeña (<10 %), mediana (11–20 %) y grande (>20 %) (Singh *et al.*, 2000).

Se han desarrollado y nombrado diferentes tipos de variedades de arroz en los siguientes países/regiones del mundo:

Tabla 2. Variedades de arroz en el mundo

No.	Variedades	No.	Variedades
1	Variedades chinas	12	Laos/variedades tailandesas
2	Variedades indias	13	Variedades camboyanas
	Variedades de		
3	Bangladesh	14	Variedades canadienses
	Variedades de		
4	Indonesia	15	Variedades de estados unidos
5	Variedades iraníes	16	Variedades españolas
6	Variedades japonesas	17	Variedades italianas
7	Variedades filipinas	18	Variedades francesas
	Variedades de Sri		
8	Lanka	19	Variedades portuguesas
9	Variedades vietnamitas	20	Variedades australianas
10	variedades africanas	21	Variedades dominicanas
11	Variedades paquistaníes	22	Variedades tailandesas

Fuente: In Chauhan *et al.*, (2017)

1.7. Pérdida de diversidad genética

La notable diversidad genética que se encuentra en las especies silvestres, así como en los tradicionales, alcanzó su apogeo en la primera mitad del siglo XX, antes el fitomejoramiento científico asumió una posición central en muchos procesos nacionales de mejoramiento del arroz. Fue prudente que muchos países asiáticos comenzaran a recolectar y conservar sus cultivares de arroz criollos e introducidos antes de la década de 1950. Como la revolución verde en el arroz se centró en gran medida en el gen *sd-1* y el citoplasma del cultivar Cina (China), la base genética de los cultivares mejorados de *O. sativa* en todo el mundo se redujo en gran medida (Smith *et al.*, 2003). Mientras tanto, numerosas variedades tradicionales fueron desplazadas y perdidas de los campos arroceros. Al mismo tiempo, la perturbación o destrucción de muchos hábitats naturales ha reducido las poblaciones de parientes silvestres (Chang, 1994). La tendencia hacia la erosión de la diversidad genética es preocupante, debido al aumento de las epidemias de plagas bajo el cultivo intensivo y el cambio del clima global (Cobos *et al.*, 2020).

Afortunadamente para los consumidores de arroz, los recursos genéticos de las especies de *Oryza* y los cultivos tradicionales, han sido recolectados por organizaciones internacionales y conservados bajo el liderazgo del Instituto Internacional de Investigación del Arroz en los últimos años. (Chang, 1992). El uso de los recursos genéticos en mejoramiento genético, se refleja en el aumento y la producción sostenida del arroz desde que comenzó la revolución verde a principios de la década de 1970. Las plantas de arroz también son más susceptibles que otros cereales al cultivo y la regeneración *in vitro*. Los productores de arroz, que fueron héroes anónimos en la selección y mejora del arroz antes de que la ciencia entrara en juego, así como en la mejora de las prácticas culturales y las herramientas agrícolas, deberían participar más activamente en los futuros programas de mejora del arroz. Mientras tanto, se prevé que los aumentos en la producción de arroz no seguirán el ritmo del crecimiento de la población humana y la preferencia cada vez mayor por el arroz en el mundo. Muchas áreas terrestres desfavorecidas donde los ambientes locales son duros (por ejemplo, áreas pantanosas o salinas), permanecerán en el nivel de subsistencia en el que comenzó el cultivo de arroz hace varios milenios (Chang, 1999).

1.8. Posición taxonómica de *Oryza* en las Poaceae

El arroz cultivado pertenece a la familia Poaceae (Gramineae), subfamilia Bambusoideae, tribu Oryzeae y género *Oryza*. El género *Oryza* se ha dividido en cuatro complejo de

especies: (1) complejo *sativa*, (2) complejo *officinalis*, (3) complejo *meyeriana* y (4) complejo *ridley* (Khush, 2005). Solo el complejo *Oryza sativa* tiene dos especies cultivadas, a saber, *O. sativa* y *O. glaberrima* Steud.

Oryza sativa, el arroz asiático, se cultiva en todo el mundo, mientras que *O. glaberrima* se cultiva en una superficie limitada en algunos países africanos. Las especies en otros complejos de *Oryza* son tipos salvajes. El principal problema con los tipos silvestres fue el acame y el desgrane del grano y la selección de domesticación se centró en las plantas que tenían menos acame y desmoronamiento (Callaway, 2014).

Las dos subespecies principales de *O. sativa*, a saber, *japonica* e *indica*, están más estrechamente relacionadas con distintas variedades silvestres que entre sí, lo que apunta a dos regiones separadas de domesticación: *japonica* en China e *indica* en India (Gross y Zhao, 2014). *Japonica* e *indica* comparten mutaciones idénticas no fragmentadas en el gen *sh4*. Sin embargo, se sugiere (Sang y Ge, 2013) que la mutación surgió primero en un ancestro del arroz japonica y luego encontró su forma de indicar. En China, la domesticación puede haber tenido lugar en el extremo inferior del valle del río Yangtze (Vughan *et al.*, 2008; Fuller *et al.*, 2009) o en el valle del río Pearl (Huang *et al.*, 2012). Es cierto que el origen del arroz se encuentra en la región de Asia que cubre el área de Assam-Meghalaya de la India y las regiones de los valles fluviales del sureste de China (Fuller, 2011). Las índicas se cultivan en los trópicos y subtrópicos. Se caracterizan por una estatura alta, tallo débil, hojas caídas, alta capacidad de macollamiento, granos largos y poca respuesta a condiciones de alto aporte de nutrientes. Las japonicas tienen un tallo rígido, corto y de tipo erecto con granos redondos y responden muy bien a los aportes de nutrientes. Estos se limitan a las zonas templadas.

Una tercera subespecie, que es de grano ancho y prospera en condiciones tropicales, se identificó en función de la morfología e inicialmente se denominó *javanica*, pero ahora se conoce como tropical japonica. Los ejemplos de esta subespecie incluyen los cultivares de grano medio "Tinawon" y "Unoy", que se cultivan en las terrazas de arroz de gran altura de las montañas de la Cordillera del norte de Luzón, Filipinas. Debido a los altos rendimientos y beneficios económicos, el Instituto Internacional de Investigación del Arroz (IRRI), Filipinas, desarrolló dos cultivares de japonica adecuados para los trópicos, que son NSIC Rc170 o IRRI 142 (ahora llamado MS11) y NSCIC Rc220 o IRRI 152 para cultivo a gran escala. en Filipinas (Kang, 2010).

La tribu Oryzeae consta de 12 géneros y más de 70 especies (Tabla. 3).

Tabla 3. Género, número de especies, número de cromosomas y estructura de espiguillas en la Tribu Oryzeae.

Género	Número de Especies	Distribución	Número de Chromosoma (2n)	Estructura de espiguillas
<i>Oryza</i>	22	Pantropical (T)	24,48	Bisexual
<i>Lccrsia</i>	17	Worldwide	24, 48, 60, 96	Bisexual
<i>Chikusichloa</i>	3	China, Japan (t)	24	Bisexual
<i>Hygroryza</i>	1	Asia (t + T)	24	Bisexual
<i>Portcrisia</i>	1	South Asia (T)	48	Bisexual
		Europe, Asia,		
<i>Zizania</i>	4	North America (t + T)	30,34	Unisexual
		T)		
<i>Luziola^h</i>	11	North America (t + T)	24	Unisexual
		T)		
<i>Zizaniopsis</i>	5	North and South America (t + T)	24	Unisexual
<i>Rhynchoryza</i>	1	South America (t)	24	Bisexual
<i>Maltebrunia</i>	5	Southern Africa (T)	Unknown	Bisexual
<i>Prosphytochloa^l</i>	1	Southern Africa (t)	Unknown	Bisexual
<i>Potamophila^c</i>	1	Australia (t + T)	24	Unisexual and bisexual

Fuente: Singh *et al.*, (2000).

1.9. Morfología y desarrollo del arroz

La morfología del cultivo de arroz (Figura 1) se cursa en dos etapas, la cual corresponde a la fase vegetativa, que incluye los estadios como son: germinación, plántula, inicio y el macollamiento y lo referente a fase reproductiva lo cual comprende, la iniciación del primordio floral a emergencia de la panoja y emergencia de la panoja a madurez (CIAT, 1981).



Figura 1. Morfología de la planta de arroz

Fuente: Huiracocha (2018)

Entre ellos tenemos las siguientes características:

Raíz

Cuando un grano de arroz germina en un suelo bien drenado, la cubierta (coleOryza) emerge primero. Si germina en tierras bajas sumergidas, el coleóptilo emerge por delante de las coleOryza. Las raíces embrionarias primarias (radícula) salen a través de la coleOryza poco después de que aparece. Esto es seguido por dos o más raíces secundarias, todas las cuales desarrollan raíces laterales. Las raíces embrionarias mueren y son reemplazadas por raíces adventicias secundarias producidas a partir de los nudos subterráneos del culmo (Degiovanni *et al.*, 2010).

Tallo

El tallo es de forma redonda y está constituido por un indeterminado número de nudos y entrenudos que se extienden durante la etapa vegetativa hasta la floración. Los entrenudos maduros son huecos, su grosor y longitud son inestables, siendo mucho más cortos y gruesos los que se ubican en la parte basal, sus paredes se van endureciendo mediante el desarrollo. Cada nudo consta de una hoja, en cuya axila se ubica una yema, que puede producir un vástago o retoño.

El número de retoño es indeterminado dependiendo de la variedad, pero sobre todo de las condiciones edafoclimáticas y las prácticas laborales del cultivo. Por lo general las

variedades de la subespecie Indica su incremento de macollos son más que las de subespecie japónica (Torró, 2010).

Hoja

Son envainadoras, con el limbo lineal largo y plano. Se encuentran distribuidas en forma alterna a lo largo del tallo. La hoja que se encuentra debajo de la panícula se la conoce como hoja bandera. En el punto de encuentro de la vaina y el limbo se encuentra unas estructuras llamada lígula y aurículas que son dos estructuras que presentan una serie de cirros largos y sedosos en los bordes inferiores y las cuales fijan la hoja alrededor del tallo (INIAP, 2007).

Flores

Son de color verde blanquecino las cuales se constituyen por espiguillas, cuyo conjunto forma una panoja y/o panícula terminal, estrecha y colgante después de la etapa de la floración. Sus flores son hermafrodita constituida por 6 estambres y un ovario con dos estigmas plumosos. (Torró, 2010).

Grano

El grano de arroz es el ovario maduro (Figura 2), el cual está constituido de la cascara formada por la lemma y palea con sus partes asociadas tales como: lemmas estériles, la raquilla y la arista. El Pericarpio de consistencia fibrosa, varía de espesor y está formado por la cutícula, mesocarpio y la capa de células estructuradas. El endospermo es la mayor parte del grano y está conformado por sustancia almidonosas (Villar, 1995).

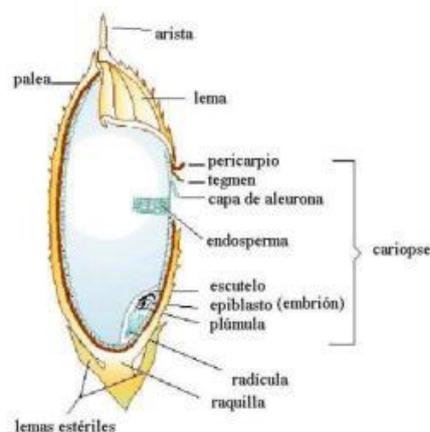


Figura 2. Morfología del grano de arroz

Fuente: Huiracocha (2018).

1.10. Fases del cultivo

El crecimiento vegetativo es un proceso fisiológico continuo (INIAP, 2007). Comprende tres fases bien diferenciadas:

- **Fase vegetativa.** - Es la que se entiende por las etapas de germinación, macollaje, crecimiento de raíces y emergencia de las hojas (Figura 3).

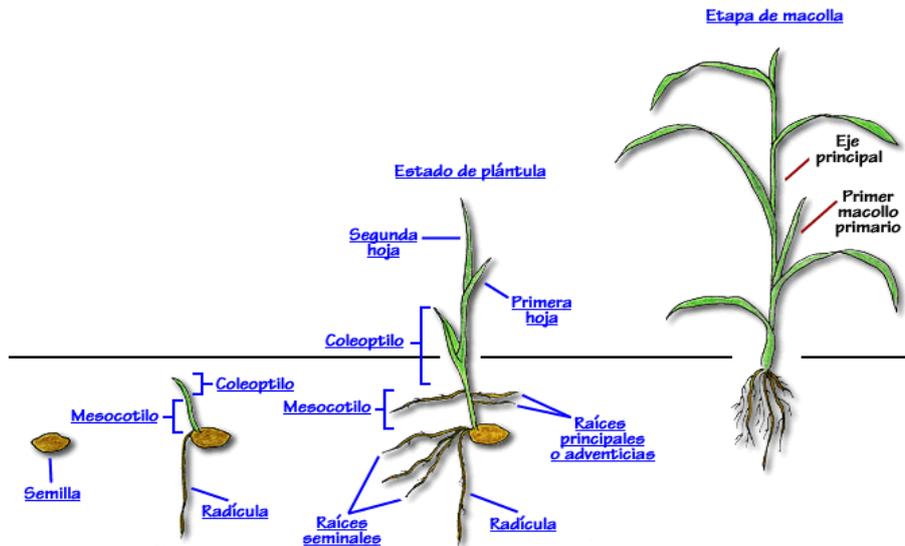


Figura 3. Fase Vegetativa

Fuente: Huiracocha (2018)

- **Fase reproductiva.** - Comienza con la diferenciación del primordio de panículas, luego con el crecimiento de la panoja y la elongación de los tallos o entrenudos, hasta la floración (Figura 4).

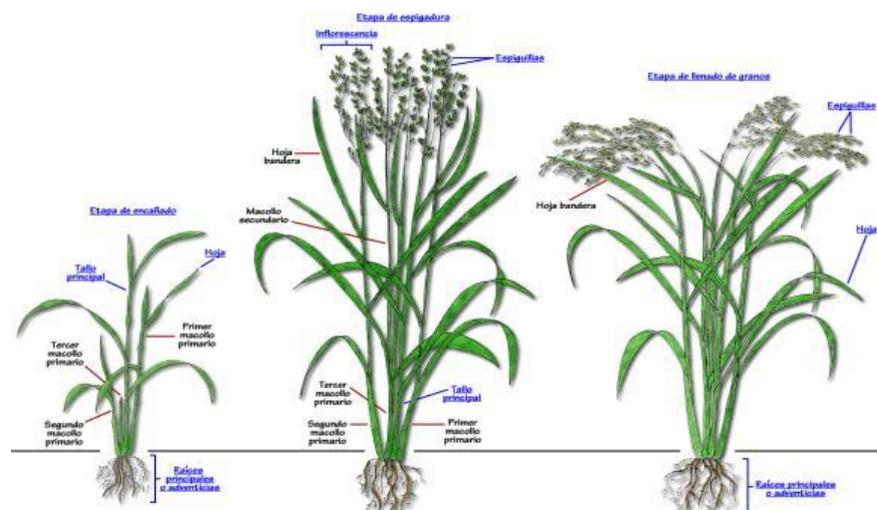


Figura 4. Fase Reproductiva

Fuente: Huiracocha (2018).

- **Fase de maduración.** - Durante el llenado de los granos, los nutrientes se dirigen hacia la panoja, siendo los granos su principal destino.

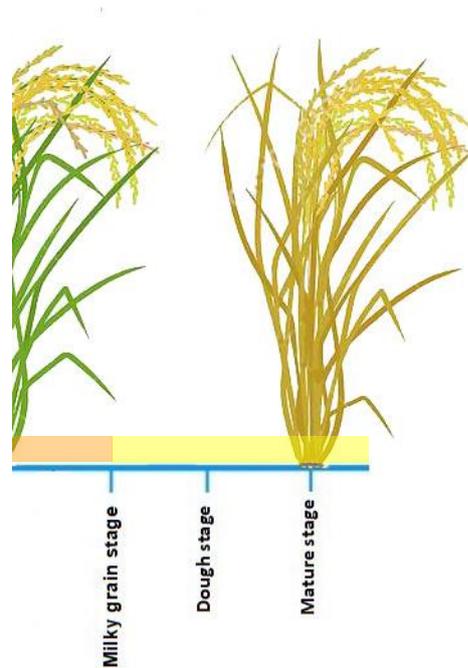


Figura 5. Fase de maduración

Fuente: Cobos *et al.*, (2021).

Estas fases se subdividen en diez etapas o periodos fisiológicos distintos, como se puede observar en el Tabla 4.

Tabla 4. Etapas del crecimiento del arroz

Etapas	Descripción	Código
Germinación	Esta etapa va de la siembra a la aparición de la primera hoja a través del coleóptilo.	1
Plántula	Esta etapa va desde la emergencia hasta justo antes de que la plántula empiece a macollar.	2
Macollamiento	Inicia con la aparición del primer hijo o macolla y termina cuando la planta desarrolla un número máximo de hijos.	3
Elongación del tallo	Esta fase comienza cuando el cuarto entrenudo del tallo principal, situado debajo de la panícula, comienza a hacerse notorio por su longitud, y termina cuando ese entrenudo está totalmente elongado (o cuando empieza la siguiente etapa).	4
Embuchamiento	Esta etapa comienza cuando la panícula ya diferenciada es visible y finaliza cuando el extremo de las florecillas está justamente debajo del cuello de la hoja bandera.	5

Etapa	Descripción	Código
Floración	Esta etapa inicia cuando la panícula sale de la vaina de la hoja bandera.	6
Polinización y antesis	En este punto, las anteras derraman el polen e inicia el proceso de fecundación de las espiguillas.	7
Grano lechoso	Esta etapa tiene lugar desde la antesis y la fecundación del ovario hasta que el contenido de los granos sea un líquido lechoso blanco.	8
Grano pastoso	En este periodo, el contenido del grano inicia como un líquido lechoso blanco y su consistencia se hace gradualmente pastosa suave, hasta que el grano se endurece. El color de la pasta se transforma en amarillo verdoso.	9
Madurez fisiológica	El arroz en el trópico llega a la madurez aproximadamente 30 días después de la floración.	10

Fuente: Cobos (2022).

1.11. Conclusiones

Comprender cómo y cuándo los humanos domesticaron los cultivos de sus antepasados silvestres podría proporcionar más que una retrospectiva. Aprender la dinámica de domesticación de un cultivo puede brindar lecciones importantes para el futuro. Este conocimiento será útil en los programas de mejoramiento y mejorará nuestro conocimiento sobre los tipos de arroz cultivados en el mundo con sus características únicas y específicas.

1.12. Bibliografía

Callaway E (2014) El nacimiento del arroz. *Naturaleza* 514(7524):S58–S59. <http://doi.org/10.1038/514S49a>.

Callaway E (2014) The birth of rice. *Nature* 514:S58–S59.

Chang, TT (1992). Disponibilidad de germoplasma vegetal para uso en mejoramiento de cultivos. En HT Stalker y JP Murphy (eds.), *Plant Breeding in the 1990s*. CAB International, Wallingford, Oxon, Inglaterra, págs. 17–35.

Chang, TT (1994). La crisis de la biodiversidad en la producción de cultivos asiáticos y medidas correctivas. En CI Peng y CH Chou (eds.), *Biodiversidad y Ecosistemas Terrestres*.

Chang, TT 1999. La perspectiva del aumento de la producción de arroz. En Necesidades alimentarias del mundo en desarrollo a principios del siglo XXI. Pontificia Academia de Ciencias y Oxford University Press, Oxford.

Chou S (1948) China es el lugar de origen del arroz. J Rice Soc China 7:53–54. Obtenido de https://scholar.google.com.ph/scholar?hl=en&q=China+is+the+place+of+origin+of+rice&btnG=&as_sdt=1%2C5&as_sdtp=#1.

CIAT. (1981). Morfología de la planta de arroz. Rosero, M., y González, J (ed.). Colombia, s.e. 31 p.

Civán P, Craig H, Cox CJ, Brown T A (2015) Three geographically separate domestications of Asian rice. Nature Plants 1(11):15164. <http://doi.org/10.1038/nplants.2015.164>

Cobos Mora, F., Hasang Moran, E., Lombeida García, E., & Medina Litardo, R. (2020). Importancia de los conocimientos tradicionales, recursos genéticos y derechos de propiedad intelectual. Journal of Science and Research, 5(CININGEC), 60–78. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/998>.

Cobos F, (2022). Identificación de líneas tolerantes en poblaciones segregantes de arroz como alternativa en el manejo sustentable de suelos degradados por salinidad. Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú, 153 pp. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5367>.

Cobos Mora, F., Gómez Pando, L., Reyes Borja, W., Hasang Moran, E., Ruilova Cueva, M., & Duran-Canare, P. L. (2021). Effects of salinity levels in *Oryza sativa* in different phenological stages under greenhouse conditions. Revista De La Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia, 39(1), e223905. Retrieved from <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/37392>.

Degiovanni, B., Víctor, M., Martínez, R., César, P., & Motta, O. (2010). Producción ecoeficiente del arroz en América Latina. Palmira: CIAT. 110.

Doebley JF, Gaut BS, Smith BD (2006) The molecular genetics of crop domestication. Cell 127:1309–1321. <http://doi.org/10.1016/j.cell.2006.12.006>.

Fuller DQ (2011) Finding plant domestication in the Indian sub-continent. Curr Anthropol 52(S4):S347–S362.

Fuller DQ, Sato Y, Castillo C, Qin L, Weisskopf AR, Kingwell-banham EJ, Jixiang, Song, Sung-Mo, Ahn Etten, J. Van (2010) Consilience of genetics and archaeobotany in the entangled history of rice. *Archaeol Anthropol Sci* 2:115–131. <http://doi.org/10.1007/s12520-010-0035-y>.

Fuller DQ, Zheng Y, Zhao Z, Chen X, Hosoye LA, Sun GP (2009) The domestication process and domestication rate in rice: spikelet bases from the lower Yangtze. *Science* 323:1607–1610.

Garris AJ, Tai TH, Coburn J, Kresovich S, McCouch S (2005) Estructura y diversidad genética en *Oryza sativa* L. *Genetics* 169(3):1631–8. <http://doi.org/10.1534/genetics.104.035642>.

Gross BL, Zhao Z (2014) Archaeological and genetic insights into the origins of domesticated rice. *Proc Natl Acad Sci U S A* 111:6190–6197.

Huang X, Kurata N, Wei X, Wang Z, Wang A, Zhao Q, Zhao Y, Liu K et al (2012) A map of rice genome reveals the origin of cultivated rice. *Nature* 490:497–501.

Huiracocha, J. 2018. Evaluación del riesgo toxicológico por cadmio y plomo en granos de arroz (*Oryza sativa*) comercializados en la ciudad de Cuenca. Universidad de Cuenca, Cuenca- Ecuador. 5-6 pp.

In Chauhan, B. S., In Jabran, K., & In Mahajan, G. (2017). Rice production worldwide. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=1360357>.

INIAP. 2007. MANUAL DEL CULTIVO DE ARROZ. GUAYAS-ECUADOR. Disponible en <https://books.google.com.ec/books?id=IXozAQAAMAAJ&pg=PA11&dq=arroz+tipo+indica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi6quLE0MrSAhWGQYKHFhyBmwQ6AEIJDAC#v=onepage&q=arroz+tipo+indica&f=false>.

Kang KH (2010) Made for the tropics. *Rice Today* 9(2):34–35.

Khush GS. (2005) Taxonomía, ecología y agronomía del cultivo de arroz frente a la ingeniería genética del arroz. En: Chopra VL, Santharam S, Sharma RP (eds) Bioseguridad del arroz transgénico. Academia Nacional de Ciencias Agrícolas, Nueva Delhi, p. 26–37.

Kovach MJ, Sweeney MT, McCouch SR (2007) New insights into the history of rice domestication. *Trends Genet* 23(11):578–587. <http://doi.org/10.1016/j.tig.2007.08.012>.

Li C, Zhou A, Sang T (2006) Análisis genético del síndrome de domesticación del arroz con la especie anual silvestre, *Oryza nivara*. *Nuevo Fitol* 170(1):185–194. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01647.x>.

Lu BR, Zheng KL, Qian HR, Zhuang JY (2002) Diferenciación genética de parientes silvestres del arroz evaluada

mediante análisis RFLP. *TAG Theor Appl Genet* 106 (1): 101–6. <http://doi.org/10.1007/s00122-002-1013-2>.

Molina J, Sikora M, Garud N, Flowers JM, Rubinstein S, Reynolds A, Huang P, Jackson S, Schaal BA, Bustamante CD, Boyko AR, Purugganan MD (2011) Molecular evidence for a single evolutionary origin of domesticated rice. *Proc Natl Acad Sci* 108(20):8351–8356. <http://doi.org/10.1073/pnas.1104686108>.

Sang T, Ge S (2007) Genética y filogenética de la domesticación del arroz. *Curr Opinión Genet Dev* 17:533–538. <http://doi.org/10.1016/j.gde.2007.09.005>.

Sang T, Ge S. (2013) Understanding rice domestication and implications for cultivar improvement. *Curr Opin Plant Biol* 16:139–146.

Singh RK, Singh US, Khush GS (2000) *Aromatic Rices*, Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd. New Delhi, India.

Smith, C. W., & Dilday, R. H. (2003). *Rice: Origin, history, technology, and production*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Sweeney M, McCouch S (2007) La compleja historia de la domesticación del arroz. *Anobot* 100(5):951–7. <http://doi.org/10.1093/aob/mcm128>.

Thomson MJ, Tai TH, McClung AM, Lai XH, Hinga ME, Lobos KB, Xu Y, Martinez CP, McCouch SR (2003) Mapeo de loci de rasgos cuantitativos para rendimiento, componentes de rendimiento y rasgos morfológicos en una población retrocruzada avanzada entre *Oryza rufipogon* y la variedad *Oryza sativa* var Jefferson. *TAG Theor Appl Genet Theoretische Und Angewandte Genetik* 107(3):479–93. <http://doi.org/10.1007/s00122-003-1270-8>.

Torró, I. 2010. Análisis de los factores que determinan la resistencia al encamado y características de grano en arroz (*Oryza sativa* L.), y su asociación con otros caracteres, en varias poblaciones y ambientes: bases genéticas y QTLs implicados.

Vaughan DA, Lu BR, Tomooka N (2008) The evolving story of rice evolution. *Plant Sci* 174(4):394–408. <http://doi.org/10.1016/j.plantsci.2008.01.016>.

Vaughan DA, Morishima H, Kadowaki K (2003) Diversidad en el género *Oryza*. *Planta de opinión actual Biol* 6(2):139–146. [http://doi.org/10.1016/S1369-5266\(03\)00009-8](http://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00009-8).

Villar, L. 1995. Ministerio de Agricultura y Ganadería. (en línea, sitio web). Disponible en <https://bibliotecadeamag.wikispaces.com/file/view/ARROZ+-+CULTIVOS.pdf>.

Vughan DA, Lu B, Tomooka N (2008) The evolving story of rice evolution. *Plant Sci* 174(4):394–408.

Wei X, Qiao WH, Chen YT, Wang RS, Cao LR, Zhang WX, Yuan NN, Li ZC, Zeng HL Yang QW (2012) Domestication and geographic origin of *Oryza sativa* in China: insights from multilocus analysis of nucleotide variation of *O. sativa* and *O. rufipogon*. *Mol Ecol* 21(20):5073–5087. <http://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2012.05748.x>.

Yao N, Wang L, Yan H, Liu Y, Lu B (2015) Mapping quantitative trait loci (QTL) determining seedshattering in weedy rice: evolution of seed shattering in weedy rice through de-domestication. *Euphytica* 513–522. <http://doi.org/10.1007/s10681-014-1331-x>.

Capítulo II. Situación mundial, regional y nacional en la producción de arroz.

Reina Concepción Medina Litardo

Universidad de Guayaquil

<https://orcid.org/0000-0002-3305-3112>

Emma Lombeida García

Universidad Técnica de Babahoyo

<https://orcid.org/0000-0002-2798-9045>

Iris Betzaida Pérez Almeida

Universidad ECOTEC

<http://orcid.org/0000-0001-5929-892X>

Fernando Javier Cobos Mora

Universidad Técnica de Babahoyo

<https://orcid.org/0000-0001-8462-9022>

2.1. Introducción.

El arroz es originario de la China, se lo cultiva en todo el mundo y es el cereal de mayor consumo humano, el segundo más cultivado a nivel mundial después del trigo y constituye la base alimenticia de más de 3.5 billones de personas (Ricepedia, 2016) Su producción mundial de 514.9 tm, es superada, solo, por el trigo con 757.4 tm. En la nota informativa de la FAO publicada el 8 de julio del 2022, el comercio internacional de arroz en 2022 (enero-diciembre) se cifra en 53,4 millones de t, es decir, un 3,7 % más que el máximo de 2021 y 400 000 t más de lo previsto anteriormente, a comienzos de junio (FAO, 2022).

En Ecuador el cultivo del arroz es de mucha importancia en las provincias Guayas, Los Ríos y Manabí; durante el 2017 se cosecharon, en promedio, 370.406 ha con un rendimiento promedio de 4.19 tm. INEC - ESPAC (2017). El movimiento económico de esta gramínea fue superior a los 146 millones de dólares. Los precios recibidos por el productor de arroz en cáscara en promedio fueron de 0.23 USD kg⁻¹, con un rango entre 0.12 y 0.35 USD kg⁻¹, mientras que la variable precios por kilogramo de arroz pilado a nivel del consumidor, registró en promedio 0.75 USD, con un rango entre 0.47 y 1.05 USD kg⁻¹ (Viteri *et al.*, 2017)

Se calcula que su uso como alimento representa 411.7 millones de t con un consumo mundial per cápita de 53.9 kg (FAOSTAT, 2019). El consumo de arroz per cápita promedio mundial para el periodo 2015/2016 fue de 54.1 kg persona⁻¹, en Latinoamérica ha mejorado

significativamente durante los últimos años, este consumo, registrando un promedio actual de 30 kg persona⁻¹ año⁻¹.

Esta gramínea aporta al ser humano el 20 % de las calorías diarias a nivel mundial y el 11.5 % de calorías diarias en América hispana. Destacándose en países como Ecuador, con un aporte a la dieta diaria en un 20% (GRiSP, 2013). Y como alimento es una fuente importante de calorías, vitaminas y aminoácidos como el ácido glutámico y aspártico (FAO, 2004).

Debido a las características climatológicas y geográficas favorables de las zonas arroceras en el Ecuador, algunas veces se pueden realizar hasta tres ciclos de cultivo anualmente (INEC, 2017); sin embargo, su cultivo enfrenta problemas que limitan un incremento en su productividad, entre los más importantes podemos nombrar la salinidad, baja tecnología, siembra de variedades foráneas con insuficiente adaptabilidad a cada zona arroceras.

El presente trabajo ha sido estructurado de la siguiente manera, desarrollo donde se incluyen los siguientes temas. Importancia del cultivo. Etapas fenológicas, Necesidades climáticas, Épocas de siembra por región, Zonificación agroecológica, Variedades de arroz. Características importantes en las variedades cultivadas de arroz. Cambio climático y su incidencia en el arroz. Sistemas de manejo del cultivo del arroz por agricultores (en general). Caracterización del sistema de producción del cultivo de arroz. Características de la producción arroceras. Sustentabilidad en el cultivo de arroz. La agricultura en el Ecuador. Agricultura sustentable. Luego se presentan las conclusiones que se derivan del presente trabajo sobre el cultivo de arroz, entre ellas se menciona los aspectos puntuales y finalmente las referencias bibliográficas.

2.2. Importancia del cultivo.

El arroz es uno de los cereales con mayor superficie de siembra y de producción (FAO, 2017). En referencia al consumo mundial se estima en 350 millones de t en el periodo 2022 al 2023, destacándose a China, con un 30% como el principal consumidor, le siguen Filipinas con 14 Tailandia 10.8 y, EEUU con 8.5, millones de toneladas (Maluenda, 2018). En cuanto al consumo por persona observamos que en Colombia es de 43 kg al año.

El arroz es importante en la dieta de los 5 continentes por ser una excelente fuente de hidratos de carbono sano que proporciona energía y que no causa obesidad, siendo una opción para una dieta alimenticia saludable (El Campesino, 2019).

En Ecuador, según la FAO (2018), el consumo de arroz per cápita es de 42.3 kg, es decir, muy cercano al consumo promedio mundial, que según la FAO (2019), fue de 58,4 kg, el cual es alto en comparación con el consumo promedio en Latinoamérica de 38 kg.

2.3. Apuntes de la agricultura ecuatoriana y su problemática.

En los últimos años Ecuador ha intensificado su diversificación agrícola, creando nuevas opciones de ingreso a divisas al país y las exportaciones no solamente se concentran en los cultivos tradicionales como el banano, cacao, arroz, maíz sino en otros productos con valor agregado, esparrago, brócoli, mango, plátano, pitahaya, guanábana. En la actualidad la participación del sector agrícola en el PIB es del 10 %, porcentaje que podrá incrementarse, pero existen limitaciones debido a que aún no ha podido solucionar su deficiente estructura agrícola.

Sectores de producción agrícola en Ecuador, su dinámica

Discerniendo la estructura de producción agrícola del Ecuador, el sector tradicional de producción lo constituyen cultivos como el cacao, banano, café, siendo el más importante en exportación, con un aporte del 11 % a la economía ecuatoriana.

En referencia al tamaño de las unidades de producción, según el III Censo Nacional Agropecuario el 84,48% del total de las UPAs, con menos de 20 ha, están en manos de pequeños agricultores, diferencia marcada frente al 2,32% con tamaño sobre las 100 ha que son de grandes hacendados (ESPAC, 2019).

Ahora, sobre la superficie en los cultivos, el 71% es destinada para la siembra de cultivos transitorios tales como la soya, el maíz, la papa, y el arroz; sin embargo, el 63% del volumen de la producción (TM) no proviene de estos cultivos sino de los permanentes, como el banano, cacao, café, caña de azúcar, palma africana y plátano.

En tema de tecnificación en los cultivos se presenta un desequilibrio de gestión, las UPAs pequeñas mantiene una inadecuada tecnificación, baja productividad y limitado acceso al crédito y, por las tienen una orientación a abastecer los mercados internos. En cambio, las

grandes unidades de reproducción agrícola sus cosechas son de exportación y tienen un amplio acceso a tecnificación, recursos, altos niveles de productividad, y un número muy extenso de superficies para producir.

Sin embargo, el crecimiento de la producción agrícola en el Ecuador se basa generalmente en la ampliación de la frontera agrícola, dejando de lado muchas veces el mejoramiento de la productividad de los sistemas de producción (Viteri, 2018).

Taxonomía y botánica

El arroz pertenece a la familia Poaceae, se han identificado alrededor de 25 especies del género *Oryza*, de las cuales dos son cultivadas: *Oryza sativa* y *Oryza glaberrima* (Kumagai, et al., 2010; Singh & Khush, 2000).

La *Oryza sativa* es la de mayor distribución a nivel mundial, tiene tres subespecies que se conocen como: Indica, distribuida en trópicos y subtropicos; Japónica, cultivada en las zonas templadas; y Javánica o Japónica tropical, ubicada principalmente en las regiones de Indonesia (Oka, 1988; Sharma, 2010).

Las especies Indica y Japónica son las que cubren la mayor parte de las necesidades de consumo a nivel mundial. La Indica se caracteriza por tener un alto número de tallos, granos largos a medianos y un contenido de amilosa moderado. Es la preferida por los consumidores de América y Europa, y representa el 85% del mercado mundial. La especie Japónica se caracteriza por tener un bajo número de tallos, panículas largas y un porte alto. El arroz de esta sub-especie es el arroz tipo pegajoso y preferido en su mayoría por los consumidores asiáticos (Degiovanni B et al., 2010; Smith & Dilday, 2003).

El arroz, + nombre botánico *Oryza sativa* L., es una monocotiledónea, con la siguiente clasificación taxonómica según Torró (2010):

Reino	Plantae;
Subreino	Tracheobionta
Superdivisión	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae

Orden	Cyperales
Familia	Poaceae
Género	<i>Oryza L</i>

El sistema radical del arroz está formado por raíces delgadas, fibrosas y fasciculadas, con dos tipos: seminales, que se originan de la radícula y son de naturaleza temporal y las raíces adventicias secundarias, que tienen una libre ramificación y se forman a partir de los nudos inferiores del tallo joven. Estas últimas sustituyen a las raíces seminales (Muñoz, 2016).

El tallo es redondo y está compuesto por nudos y entrenudos que se alargan durante la fase vegetativa hasta la floración. La altura final de las plantas es de 0.5 a 1.5 m, aunque alguna variedad flotante puede llegar a los 6 m. Los entrenudos maduros son huecos y su longitud y grosor son variables, siendo más cortos y gruesos los de la parte basal; sus paredes se van endureciendo con el desarrollo. Cada nudo tiene una hoja, en cuya axila se encuentra una yema, que puede originar un vástago o hijuelo (Torró, 2010).

Las hojas se distribuyen en forma alterna a un lado y a otro a lo largo del tallo. En una hoja completa se distinguen tres partes principales: la vaina, el cuello y la lámina. La vaina, o base de la hoja, sale de un nudo y envuelve el entrenudo inmediatamente superior llegando, en algunos casos, hasta el nudo siguiente. El cuello es la unión de la vaina y la lámina; en él se encuentran la lígula y las aurículas (Gonzales, 2015).

Sus flores son de color verde blanquecino, dispuestas en espiguillas, cuyo conjunto constituye una panoja grande, terminal, estrecha y colgante después de la floración. Cada espiguilla es uniflora y está provista de una gluma con dos valvas pequeñas, algo cóncavas, aquilladas y lisas; la glumilla tiene igualmente dos valvas aquilladas.

La inflorescencia, es una panícula determinada que se localiza sobre el vástago terminal, siendo una espiguilla la unidad de la panícula, y consiste en dos lemmas estériles: la raquilla y el flósculo (Heros, 2019).

El fruto del arroz, es una cariósida, está formado por el embrión, el endospermo y el complejo pericarpio-testa que lo envuelve. La superficie está formada por capas delgadas pericarpio, tegumentos y 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 (Heros, 2019).

Fisiología

Etapas fenológicas

Sobre la fenología, Counce *et al.*, (2000), propusieron dividir el crecimiento de la planta en 3 etapas: La primera, llamada plántula, que va desde la siembra hasta la emergencia; segunda denominada vegetativa, a partir de la emergencia hasta la aparición de la hoja bandera y, la tercera etapa nombrada reproductiva que se inicia en la diferenciación de panícula llegando a la madurez fisiológica. Remarcando que las referencias investigativas deberán ser consideradas para un mejor adiestramiento en identificar las etapas fenológicas, se destaca que sobre la primera etapa, al germinar la semilla aparece la primera hoja, no verdadera, rudimentaria, sin lamina, que se denomina profilo, En atención a este tema y para una aplicación expedita Velázquez *et al.*, (2015) nos muestran una terminología para todas las etapas empleando la letra S que va desde la germinación hasta el profilo, luego aparece la hoja verdadera, que corresponde a la 2^{da} etapa y la identifican con V, que si va acompañada de un número nos indica la cantidad de hojas y el estado fenológico, en ejemplo, cuando aparece la hoja verdadera sería V1; en V4 tendríamos 4 hojas desarrolladas e inicio del macollamiento, para V13 además de las 13 hojas se observa la hoja bandera y, desde aquí se pasa a la etapa reproductiva, etapa 3 y, se reemplaza la V por la letra R, discerniéndola, sería así, con R0 se ha iniciado el desarrollo de la panoja, en R4 la planta se encuentra en floración, en R6 el grano está lechoso, en R7 el grano pastoso y en R9 el grano presentan un color castaño y está para cosecha. Al combinar el conteo de números de hojas y R y relacionarlos con los grados día acumulados, se puede observar el efecto del factor temperatura en el desarrollo fenológico de la planta de arroz.

La fenología en el arroz, es importante conocerla bien para efectos de un buen manejo del cultivo y conocer las limitaciones que se presentan en el desarrollo de la planta. En este tema la temperatura es uno de los factores que ejerce mayor efecto, causando variación en su rendimiento Streck *et al.*, (2003). Velázquez *et al.*, (2015). El arroz necesita temperaturas óptimas en un buen desarrollo fenológico, la semilla para germinar requiere entre 30 y 35°C, por encima de 40°C no se produce la germinación. En el crecimiento del tallo, hojas y raíces

su óptimo es 23°C., con temperaturas superiores a ésta, las plantas crecen más rápidamente, pero los tejidos se hacen más blandos (Datta, 1986).

Temperaturas críticas Las temperaturas extremas causan serias perturbaciones en el desarrollo de la planta de arroz y, por ello, no favorecen el ambiente en que puede completarse el ciclo de vida de la planta. Las temperaturas críticas para la planta de arroz están, generalmente, por debajo de 20 °C y por encima de 30 °C, y varían según el estado de desarrollo de la planta. Varían también según la variedad de arroz

Necesidades climáticas

Influencia del clima en la producción de Arroz. El grado de vulnerabilidad al clima de la planta de arroz, depende mucho de las características de la ubicación geográfica donde esté situado.

Entre los principales factores climáticos que influyen sobre el rendimiento, crecimiento y formación del arroz están: la temperatura, la radiación solar y el viento.

- **Viento:** para evitar efectos negativos ante vientos intensos es conveniente cultivar variedades de arroz que tengan tallos fuertes resistentes al viento.
- **Las lluvias:** El nivel recomendado de agua o de humedad en el suelo es esencial para mantener un adecuado manejo de los nutrientes, de las malezas y de las plagas y enfermedades.

Valores del clima recomendados para un buen cultivo de arroz son los siguientes:

- Niveles de lluvia de 800 – 1200 mm.
- Radiación debe ser de por lo menos 1000 horas de sol durante su ciclo vegetativo.
- La Temperatura debe bordear entre los 22 – 30 °C (Vargas, 2010).

Radiación

La radiación solar para el cultivo del arroz varía según los diferentes estados de desarrollo de la planta. Una radiación solar baja afecta muy ligeramente los rendimientos y sus componentes durante la fase vegetativa, mientras que en la fase reproductiva causa una notoria disminución en el número de granos. Por otra parte, durante el período del llenado del grano a su maduración, baja drásticamente el rendimiento de la planta cuando se reduce

(si se presenta un nivel bajo de radiación solar) el porcentaje de granos llenos (Vargas, 2010).

Temperatura

La temperatura afecta el crecimiento y el desarrollo de la planta de arroz. Las plántulas de arroz expuestas a temperaturas bajas pueden sufrir un estancamiento en su crecimiento porque se retardan o cesan sus reacciones químicas y sus procesos físicos. Las plantas expuestas a temperaturas bajas pueden sufrir un daño irreversible o un colapso de sus funciones y en ocasiones, la muerte. Las temperaturas bajas, de 15 a 19 °C, que afectan las plantas dentro de 10 a 11 días antes de la floración, causan una alta esterilidad en las plantas.

Temperaturas críticas Las temperaturas extremas causan serias perturbaciones en el desarrollo de la planta de arroz y, por ello, no favorecen el ambiente en que puede completarse el ciclo de vida de la planta. Las temperaturas críticas para la planta de arroz están, generalmente, por debajo de 20 °C y por encima de 30 °C, y varían según el estado de desarrollo de la planta. Varían también según la variedad de arroz (Márquez, 2013).

2.4. Épocas de siembra por región

En Ecuador se establece principalmente en dos épocas de siembra, la primera en la época lluviosa donde es más voluminosa y genera excedentes de producción y la época seca, de menor cuantía que se concentra en los sistemas de riego y pozas veraneras (Salas, 2013).

El cultivo del arroz en Ecuador se siembra generalmente en dos ciclos, no obstante, en algunos cantones de Guayas, se pueden realizar hasta tres ciclos. Por el contrario, en algunas regiones de Los Ríos, se realiza un solo ciclo de producción por la poca tecnificación y el riesgo de inundación; adicionalmente, en época de verano, deciden rotar con soya (Alava *et al.*, 2018). La época de siembra es importante en la consecución de una mejor productividad en el cultivo, ya que los factores climáticos, como la precipitación, la radiación solar y las temperaturas en sus valores óptimos, permiten un mejor crecimiento y desarrollo de la planta, permitiéndole alcanzar así su rendimiento potencial (Fedearroz, 2015).

2.5. Zonificación agroecológica

Comprende cuatro zonas potenciales con las siguientes características:

Potencialidad Alta: Se concentra en las provincias de Guayas (84,893 ha), principalmente en los cantones: Daule, Naranjal, Pedro Carbo, Urbina Jado y Alfredo Baquerizo Moreno. En la provincia de Los Ríos (78,013 ha), principalmente dentro de los cantones: Babahoyo, Baba, Vinces, Pueblo Viejo y Montalvo. En Esmeraldas (2,483 ha), principalmente en los cantones: Eloy Alfaro y San Lorenzo. Dentro de la Provincia de Manabí (930 ha), en los cantones Portoviejo, Chone, Santa Ana, Rocafuerte y 24 de mayo.

Potencialidad Media: comprende las provincias de: Guayas (441,903 ha), en los cantones: Colimes, Balzar, San Jacinto de Yaguachi, Samborondón, Milagro, Naranjal. Los Ríos (316,339 ha), en los cantones: Valencia, Urdaneta, Babahoyo, Vinces, Montalvo y Mocache, en la Provincia de Manabí (80,327 ha), en los cantones: Chone, Paján, Santa Ana, Tosagua, 24 de Mayo y en la provincia de Esmeraldas (65,392 ha) en los cantones: Eloy Alfaro, Quinindé, Muisne y Río Verde.

Potencialidad Baja: se ubica en las provincias de: Manabí (329,814 ha), en los cantones: Chone, El Carmen, Paján, Pedernales, 24 de Mayo, Jipíjapa, entre otros. En Guayas (261,729 ha) en los cantones de: Guayaquil, Balzar, Pedro Carbo, Balao, Naranjal, El Empalme, entre otros. Los Ríos (177,053 ha) principalmente en los cantones: Valencia, Buena Fé, Vinces, Palenque, Quevedo, entre otros. Esmeraldas (165,058 ha) en los cantones: Quinindé, La Concordia, Río Verde, Muise, San Lorenzo. Otras provincias con porcentajes menores al 9% en esta categoría. (Ministerio de Agricultura, Acuacultura y Pesca, 2014).

2.6. Sistemas de producción

En el sistema productivo existen diferentes métodos por lo que los rendimientos son diversos:

a) Tecnificados.- Conformado por grandes productores que aplican todas las técnicas adecuadas de producción. Los rendimientos en este sistema llegan hasta las 7 toneladas métricas por ha.

b) Semitecnificado.- Producciones promedias entre 3 a 4 toneladas métricas por ha.

c) No tecnificadas.- Llegan a producciones de 3 y hasta menos de 3 toneladas por ha (Ministerio de Agricultura, Acuacultura y Pesca, 2014).

2.7. Variedades de arroz.

Las principales variedades de arroz que se siembran en Ecuador son INIAP 14 (33,7%), INIAP 11 (10,4%) e INIAP 15 (4,7%), liberadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) así como las variedades SFL 09 (29,6%) y SFL011 (7%) distribuidas por la empresa Procesadora Nacional de Alimentos (PRONACA). La Universidad Técnica de Babahoyo puso a disposición de los arroceros las variedades Vines UG-03 y Vines UG-10 con un rendimiento de 6388 kg ha⁻¹ a nivel experimental (Painii *et al.*, 2018). Así como también se encuentran en el mercado las variedades Yuma, Conquistador y San Juan de la empresa INTEROC S.A, proveniente de Colombia. En Ecuador existen variedades de arroz como INIAP-17, cuyo rendimiento puede superar los 4000 kg ha⁻¹ en condiciones experimentales óptimas de manejo. Sin embargo, este rendimiento aún es bajo si se le compara con el obtenido en países como Brasil bajo condiciones experimentales similares, donde se obtienen 7000 kg ha⁻¹ (Santos *et al.*, 2017).

2.8. Cambio climático y su incidencia en el arroz

En la actualidad ante el evidente cambio climático y la incidencia que tienen los componentes del clima sobre la diversidad vegetal, se hace imprescindible investigar mediante la modelación de cultivos, en este caso del arroz, para conocer los cambios que se están presentando en la morfología de la planta y, en el comportamiento de las diferentes variedades de arroz a los nuevos ambientes que se están formando, esto permite proyectar no solo los cambios en rendimiento y manejo del cultivo sino también entender los procesos eco-fisiológicos que causan dichos cambios Rebolledo *et al.*, (2018).

Así, en este problema de connotación mundial, en América Latina, el uso de los modelos de simulación permitiría explorar alternativas para adaptar la producción de arroz a diferentes escenarios climáticos (Fernandes *et al.*, 2012). Además, los modelos de simulación también permitirían orientar a los programas de mejoramiento genético en el desarrollo varietal, estudios fisiológicos y agronómicos dirigidos a la adaptación de los sistemas productivos al cambio climático (Petri *et al.*, 2015; White *et al.*, 2011).

2.9. Sistemas de manejo del cultivo del arroz por agricultores (en general)

En la producción las prácticas agrícolas son diferenciales de una región a otra, así como los rendimientos, por lo que se requiere caracterizar y clasificar los sistemas de producción

arrocera para desarrollar un plan de mejoras tecnológicas. Esta caracterización describe los problemas sociales, productivos, económicos y ambientales que ocurren en la finca (Criollo *et al.*, 2016). Por otra parte, Coronel y Ortuño (2005), señalaron que adecuadas clasificaciones de los sistemas productivos pueden apoyar el diseño de políticas agropecuarias en una zona, facilitar la transferencia de tecnología, entre otros temas. Además, permite analizar y proponer alternativas de solución apropiadas para lograr una mayor sustentabilidad de la finca, lo que implica ubicar, delimitar, identificar y describir todos los componentes que la integran, para realizar un ordenamiento de la misma bajo criterios de sustentabilidad (Fernández *et al.*, 2008).

En esta misma línea de pensamiento, es pertinente puntualizar que los entes productivos no están formados por explotaciones homogéneas, estos son diversos, donde se destacan caracteres físicos, socio económicos o técnicos. En la finca (hogar agropecuario), sus recursos con sus flujos se generan e interactúan en la misma parcela. Tipificar se refiere al establecimiento y construcción de posibles grupos basados en características observadas (Rocha *et al.*, 2016). Los estudios de caracterización y clasificación son de gran utilidad para proponer estrategias de mejora en los aspectos más críticos identificados (Borja *et al.*, 2018).

En el mismo lado, como etapa determinante para el desarrollo del método de investigación en sistemas de producción, según Fernández *et al.*, (2008), la caracterización consiste en determinar un conjunto de variables para distinguir una zona o unidad de producción en particular y que la hace diferente a otras.

Conseguida la caracterización, su importancia radica porque nos permite establecer una línea de base de un sistema de producción con sus inter relaciones de variables sociales, económicas, ambientales y productivas (Holguín *et al.*, 2008).

En una investigación realizada a agricultores dedicados al cultivo del arroz, en un sector del cantón Yaguachi, se distinguió lo siguiente:

Aspectos Claves en la Producción de Arroz

¿Cuáles son las mayores dificultades que enfrentan los productores de arroz.

Uno de los problemas para el cultivo del arroz, son los agentes bióticos, responsables de las enfermedades (bacterias, espiroplasmas, hongos, protozoarios, micoplasmas, nematodos y

virus), los cuales influyen en la reducción de la producción y por ende la rentabilidad del productor dedicado a la siembra de la gramínea. En Ecuador, el cultivo es afectado por enfermedades fungosas, bacterianas y virales, entre las principales se encuentran: la quemazón o brusone, la pudrición de la vaina, el manchado del grano, la pudrición negra, el tizón de la vaina y el virus de la hoja blanca. La quemazón produce la pudrición de la vaina que se presenta de forma esporádica; mientras la Pudrición Negra se ha registrado en las principales provincias productoras (Guayas, Los Ríos, Manabí y El Oro). El VHB y entorchamiento, son patologías producidas por virus que causan daños considerables. Para mantener un adecuado control fitosanitario de las plantaciones de arroz es conveniente, mantener un monitoreo constante de la incidencia de estas amenazas, con la finalidad de determinar el umbral económico de daños, encaminados a establecer controles en el momento oportuno y disminuir las pérdidas (Pérez *et al.*, 2019).

Por otro lado, otro problema que enfrentan los agricultores son las plagas que atacan en el cultivo del arroz y se consideran las principales causas de los bajos rendimientos, por lo que provocan un aumento en los costos de producción y una disminución de la calidad del grano (Pérez *et al.*, 2016). Este cultivo se cultiva en ambientes húmedos y cálidos, donde las plagas prosperan rápidamente y dañan el cultivo. Más de 100 especies de insectos son considerados plagas del arroz, pero solamente unas 20 tienen importancia económica en el mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2003). A nivel las plagas del arroz (enfermedades, malezas, insectos, vertebrados e invertebrados) destruyen cerca del 35% de la producción, donde el 12% corresponde a los insectos dañinos (Rodríguez *et al.*, 2018).

Además, se puede mencionar que otro problema que enfrenta los productores es sobre la cadena de arroz donde el mercado presenta serios problemas pese a la intervención del Estado quien fija a nivel de productor la saca de 200 libras, con 20% de humedad y 5% de impurezas, un precio techo de 35,50 dólares y el precio piso de 32,30 dólares. El precio a nivel de consumidor lo regula la oferta y demanda que oscila entre 45 y 52 dólares el quintal (Cobos *et al.*, 2020).

Para mejorar la competitividad del arroz se debe destacar en la adopción de paquetes tecnológicos generados por entes de investigación para cada provincia arrocera y a que normalmente los productores en su afán de incrementar rendimientos realizan modificaciones sin fundamento técnico. El sector arrocero se enfrenta a grandes desafíos,

los mismos que hacen imprescindible formar asociaciones arroceras para que los pequeños y medianos productores se encarguen de la industrialización del producto (Zambrano *et al.*, 2019)

Caracterización del sistema de producción del cultivo de arroz

- a) El más importante es la producción de invierno el que produce picos de producción en los meses de abril y mayo. Período en el que se genera el 46% de la producción y los excedentes exportables.
- b) El segundo ciclo en importancia se registra en los meses de octubre a noviembre en que se produce un 32% del total anual.
- c) El restante 22% corresponde a las cosechas de Enero a Marzo y Junio a Septiembre (Cobos *et al.*, (2021).

Tipos de semillas:

- a) Registrada. Es la que provee el gobierno a través del INIAP (Instituto de Investigaciones Agropecuarias) para que la empresa privada lo multiplique.
- b) Certificada. - La produce la empresa privada.
- c) Seleccionada. - Algunos agricultores seleccionan las semillas en sus mismos campos.
- d) Reciclada. - La siembran la mayoría de los campos y es obtenida por los mismos productores en sus campos. Del total del área sembrada de arroz a nivel nacional, el 20 %, se siembra con semilla certificada, el resto es semilla reciclada o pirata. Generalmente la región costa cultiva el arroz blanco de grano largo (envejecido) y el blanco de grano medio (El más consumido a nivel nacional) (ESPAC, 2019). En contraste, en las provincias de El Oro y Loja, los productores, en promedio, tienen un área sembrada de 8 y 7,3 ha, respectivamente. Para el caso de El Oro, hubo un aumento significativo en el promedio de 2 ha del área dispuesta para el cultivo entre los años 2014 y 2019 (Marín *et al.*, 2021).

2.10. Sustentabilidad en el cultivo de arroz

La agricultura en el Ecuador

La agricultura en el Ecuador se ha visto afectada por los agricultores, en mucho de casos el precio de los productos se ha incrementado drásticamente en algunas ciudades hasta llegar al consumidor final, por no tener una regulación de los canales de comercialización. En Ecuador la agricultura se ha convertido en la parte positiva en el desarrollo económico del país desde sus inicios y ha generado cambios importantes (Cobos *et al.*, 2020). Mediante los mercados internacionales, favoreciendo con ello el desarrollo de la costa; otros, por factores

internos, como el mercado nacional, con un incipiente desarrollo agrícola en la sierra. Durante años el país ha marcado la diferencia como uno de los principales exportadores de cacao, banano y camarón a nivel mundial, también el café y los denominados no tradicionales, que han venido generando una mayor dinámica a la producción agropecuaria (La hora, 2018).

Agricultura sustentable

La implantación de una agricultura sustentable se requiere de muchas de técnicas adecuadas como la: rotación de cultivos para un suelo sano, la plantación de árboles y arbustos para proteger cultivos más pequeños y la reducción del arado, en general, la agricultura sostenible en Ecuador promueve la biodiversidad y también minimiza la contaminación, afortunadamente, la nación tiene éxito en sus sectores agrícolas y lo más probable es que continúe con esta tendencia en el futuro (Medina *et al.*, 2020). Dado que la agricultura es la principal actividad económica, es muy importante aumentar el conocimiento de los sistemas agrícolas que brinden un mejor rendimiento económico y social al tiempo que protegen el medio ambiente, esto es especialmente cierto en las comunidades, donde se han convertido recientemente de vivir como habitantes de los bosques a tener que copiar rápidamente los métodos mestizos de la agricultura (Agricultura, 2018).

La agricultura sustentable y la soberanía alimentaria, es una de las soluciones para enfrentar la actual crisis, y establecer un modelo de desarrollo sustentable que permita, no sólo el acceso de la población mundial a los alimentos sino la capacidad de adquirir alimentos que salvaguarden el medioambiente y nuestra salud se enfoca en la agricultura , priorizando los mercados locales y la producción sostenible en el contexto del derecho a los alimentos y el derecho de la gente a definir su política agrícola (Gómez *et al.*, 2019) . La sostenibilidad está señalada a generar sistemas de producción que sean económicamente viables, culturalmente adecuados y ambientalmente respetuosos. La obtención de una producción agrícola sostenible genera alimento a las familias y produce excedentes que son canalizados a los mercados locales y regionales para el consumo de la población urbana. De esta manera preserva los recursos naturales permitiendo que las familias puedan seguir cultivando sus predios sin sufrir problemas de contaminación, escasez del agua, erosión y pérdida de fertilidad de los suelos. De esta manera, contribuye a preservar materia vegetativa que renueva el aire que respiramos (Dossier, 2009).

Agricultura sustentable del arroz

Los agricultores de la costa ecuatoriana, están dispuestos a trabajar para lograr la seguridad alimentaria y ayudar a los campesinos pobres con cultivos más resilientes, la adaptación al cambio climático, mejorar la seguridad alimentaria y los medios de subsistencia, salvaguardando al mismo tiempo los recursos. La FAO y el Instituto Internacional de Investigación sobre el arroz (IRRI) han acordado estrechar su cooperación para apoyar la producción sostenible de arroz en los países en desarrollo con la finalidad de mejorar la seguridad alimentaria. Mediante un acuerdo firmado se busca aprovechar mejor los conocimientos científicos y competencias técnicas de ambas organizaciones, para poder así ampliar e intensificar su trabajo a nivel mundial. Este convenio está destinada principalmente a mejorar los sistemas agrícolas sostenibles basados en el arroz mediante actividades de creación de capacidad, incluyendo la ayuda a los gobiernos para elaborar y aplicar políticas y estrategias nacionales y regionales, que están dirigidos en beneficio de los pequeños agricultores, especialmente las mujeres (Poveda, 2018).

La agricultura de una manera ha contribuido en la diversidad de diferentes especies y de hábitats. En los últimos años se ha visto afectada con el uso excesivo de ciertos productos como: plaguicidas y fertilizantes sintéticos y malas prácticas agrícolas (monocultivo), ha tenido un impacto negativo sobre la diversidad de los recursos genéticos de las variedades de cultivos y de razas de animales, sobre la diversidad de las especies silvestres de la flora y de la fauna y sobre la diversidad de los ecosistemas. Por este motivo se propone un desarrollo agrícola sustentable que contengan las tres áreas fundamentales como: la parte económica, ecológica y social (Hasang *et al.*, 2021).

Altieri y Nichols (2007) instituyen como uno de los retos que enfrentan tanto agricultores, como extensionistas e investigadores, es saber en las condiciones salud se encuentra el agro-ecosistema después de iniciada la conversión a un manejo agroecológico. Especialistas en agricultura sostenible han ideado una serie de indicadores de sostenibilidad para evaluar el estado de los agro-ecosistemas. Algunos indicadores desarrollados, consisten en la evaluación que se realizan a escala de finca, para ver si el suelo es fértil y se encuentra bien conservado, y si las plantas están sanas, vigorosas y productivas. No hay duda que muchos agricultores poseen sus propios indicadores para estimar la calidad del suelo o el estado fitosanitario de su cultivo. Algunos reconocen ciertas malezas que indican, por ejemplo, un suelo ácido o infértil. Para otros, la presencia de lombrices de tierra es un signo de un suelo

vivo, y el color de las hojas refleja el estado nutricional de las plantas. En cualquier zona se podría agrupar una larga lista de indicadores locales, el problema que muchos de estos indicadores son específicos de sitio y cambian de acuerdo al conocimiento de los agricultores o a las condiciones de cada finca.

Según Cadena *et al.*, (2022) menciona que la sustentabilidad en el cultivo de arroz de acuerdo al análisis en las dimensiones económicas, ecológicas y socioculturales realizadas a productores CEDEGE, señala que no es sustentable, donde se identifica por las causas de baja sustentabilidad como; la poca diversificación por la venta, pocas vías de comercialización, la falta de fuentes de financiamiento, manejo de cobertura vegetal, diversificación de cultivos e interferencia de las malezas con el cultivo. Donde recomienda especial atención para alcanzar la sustentabilidad en estos sistemas de cultivo.

Según lo estudiado por Lombeida *et al.*, (2021), en dos sistemas de producción en cuanto a sustentabilidad en el cultivo de arroz en diferentes condiciones de infestación del nematodo *M. graminicola*, donde se encontró no sustentable de manera general, sin embargo en la dimensión social es sustentable por mantener un indicador mayor que dos, en cuanto a las dimensiones económicas y ecológicas realizadas a productores en la zona Babahoyo y Quevedo, las causas de la baja sustentabilidad se encontró en la dimensión económica como: es la poca diversificación para la venta, pocas vías de comercialización y la falta de fuentes de financiamiento, en la dimensión ecológica como: poseen problemas en cuanto a manejo de la cobertura vegetal y diversificación de cultivos. Estos factores presentan los valores más bajos de toda la evaluación y requieren especial atención para alcanzar la sustentabilidad en estos sistemas de cultivo (Lombeida *et al.*, 2020).

2.11. Amenazas a la sustentabilidad del arroz en Ecuador

La sustentabilidad del rendimiento de arroz en el Ecuador se ha visto amenazada por un sin número de problemas, donde requiere de una mayor atención. La intensificación de la producción de arroz en las tierras bajas húmedas ha significado que sistemas relativamente extensos, de un cultivo anual, con agua de lluvia o con riego, y de cultivos resistentes a la sequía o la vegetación de barbecho se hayan convertido en tierras de monocultivo intensivo de arroz, de dos o tres cosechas por año. Ha surgido cambios en los sistemas de producción: Producción todo el año con un número limitado de variedades de arroz, campos de arroz inundados durante la mayor parte del año, sin períodos adecuados de secado, alta dependencia en fertilizantes inorgánicos y plaguicidas y Mayor uniformidad de las

variedades cultivadas. Donde ha llevado alteraciones biofísicas a largo plazo de la base de los recursos naturales. Estos cambios del sistema de producción han llevado a una alteración biofísica a largo plazo de la base de recursos naturales. Esto amenaza la sostenibilidad ecológica de los cultivos de arroz. Las tasas de producción de arroz y del crecimiento están declinando debido a las grades problemáticas que se enfrenta el país donde se ve amenazada la sostenibilidad ecológica y la sostenibilidad económica de la producción intensiva de arroz en tierras bajas (Cabir s.f).

Manejo del suelo

La superficie de los suelos dedicadas al cultivo del arroz, se han visto afectadas, siendo notorio en los indicadores de erosión y baja retención de humedad, baja fertilidad y acidez de los suelos, provocando perdidas en la producción local de alimentos, es decir, la autosuficiencia alimentaria Sostenible. Ocasionando el desarrollo de muchas enfermedades y la presencia de malezas entre otras, la presencia de malezas en el cultivo, ocasiona tiene efectos negativos como: competencia de nutrientes, reduce el crecimiento del arroz y el rendimiento en grano, también las malezas albergan plagas y enfermedades, todo esto por la no utilización de buenas prácticas de conservación del suelo (Castro *et al.*, 2022).

La aplicación de las enmiendas como: compost, cachaza de caña de azúcar y leonardita mejoró la respuesta productiva del arroz, mostrando un mejor rendimiento, longitud de panícula, proporción de grano lleno y principalmente peso del grano. Teniendo la mejor respuesta con la enmienda de compost para mejorar suelos con problemas de salinidad (Medina *et al.*, 2021).

La utilización de maquinaria agrícola, está íntimamente relacionado con el efecto negativo sobre la calidad de los suelos, por la compactación que provoca al suelo, además deteriora al medio ambiente mediante la emisión de gases a la atmósfera posibilitando su contaminación. En lo económico constituye un gasto excesivo de dinero que la granja se puede ahorrar y mantener para el empleo de otros insumos como lo constituye el combustible fósil. Por esto se debe trabajar con más eficiencia con los recursos, para un uso más racional del equipo en la preparación de suelo y cultivo (Ríos, 2016).

Manejo de plagas

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) es una alternativa de control más eficiente en el manejo sustentable del cultivo. En donde se ha logrado una disminución significativa de la

cantidad de insecticidas y nematocidas sintéticos, que tanto daño a causado al medio ambiente, salud animal y humana por el mal uso que han realizado los agricultores.

La producción de arroz debe ser sostenible y en incremento permanente para satisfacer la demanda nacional. En los últimos años, se observan descensos en el rendimiento de este cultivo que producen impacto negativo en los aspectos económicos y sociales. La disminución en el rendimiento de este cultivo se atribuye principalmente a la presencia de plagas y enfermedades afectando en el desarrollo del cultivo (Castro, 2017).

Ante los resultados presentados en estudios se verifica dentro de las plagas que presenta el cultivo de arroz que ha ocasionado pérdidas al cultivo del arroz se ha encontrado presencia del nematodo *Meloidogyne graminicola* en las zonas arroceras de Ecuador. Estos resultados plantean algunos cuestionamientos interesantes acerca de esta problemática. Una de las probables causas para la elevada ocurrencia de ese nematodo es el monocultivo de arroz con cultivares susceptibles a lo largo de años debido a la dificultad de hacer rotación de cultivos con plantas no hospedadoras, lo que contribuye significativamente al rápido crecimiento poblacional de este nematodo en el suelo. Otra posible causa se relaciona con el desconocimiento y la falta de diagnóstico del problema por técnicos y productores, donde los daños causados por *M. graminicola*, siendo los daños confundidos con otros eventos, tales como deficiencias nutricionales, ataque de otros patógenos de suelo, fitotoxicidad causada por los herbicidas o por daños indirectos por el exceso de hierro en el suelo a pesar de ya ser conocidos todos los síntomas citados en las planta de arroz, puede pasar de ser desapercibido fácilmente por productores y técnicos (Lombeida *et al.*, 2021).

Manejo de agua

La búsqueda de alternativas de control para contribuir a 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, mantenimiento el equilibrio ambiental. También, 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 (Heros, 2019).

Mejoramiento del cultivo

El monocultivo intensivo de arroz está dominado por variedades modernas, con una base genética poco diversificada. Las variedades tradicionales de arroz son cada vez más raras y son usadas por pocos agricultores. Desde la década de 1960, ha habido poco incremento en el potencial de rendimiento de las variedades modernas. Solamente las variedades híbridas tienen un alto potencial, pero éstas son caras y necesitan condiciones de irrigación bien controladas, que generalmente los agricultores pobres y marginales no pueden costear. En las regiones donde las condiciones de producción son favorables, los niveles de rendimiento de muchos agricultores pueden estar cerca al potencial de rendimiento asumido para las variedades modernas. La utilización de la ingeniería genética para obtener variedades mejoradas y lograr un mayor rendimiento es una alternativa de una agricultura sustentable (Cabir, s.f).

La utilización de las líneas parentales que se presentan el desarrollo de las poblaciones provenientes de los cruces de especies silvestres y variedades comerciales para la obtención de germoplasma mejorados con una base genética ampliada. Contribuyen positivamente no sólo para incrementar el rendimiento en cultivares mejorados de arroz sino también en términos de resistencia a estrés (Martínez *et al.*, 1998).

Los agricultores abandonan las tierras arroceras

Estudios realizados de muestran que las condiciones de vida de los pequeños agricultores, la mayoría de ellos no cuenta con la preparación profesional, no cuentan con tierras propias para cultivar su propio producto, generando un bajo nivel de ingresos, el cual no les permite cubrir sus necesidades básicas. Por otra parte, existe mucho descuido por parte de las autoridades en brindarles los servicios básicos a sus habitantes, los cuales deben en su gran mayoría conseguir agua a través de ríos, vertiente y canal, además el servicio de energía eléctrica si está cubierto por parte del municipio, donde apenas el 6% de los participantes son los que no poseen por falta de infraestructuras y se debe destacar que los desechos humanos en su gran mayoría son enviados a los ríos, lo cual está dado la poca infraestructura de alcantarillado genera que se contamine los ríos (Vera y Gutiérrez, 2020).

La mayoría de los agricultores tienen de 41 a 64 años y el 31 por ciento son de la tercera edad, siendo apenas un 6 por ciento productores jóvenes con una edad de 24 y 35 años, son

los que están abandonando los campos, siendo las causas bajos ingresos (Figura 1), escasa tecnificación y el bajo acceso a educación (INEC, 2021).

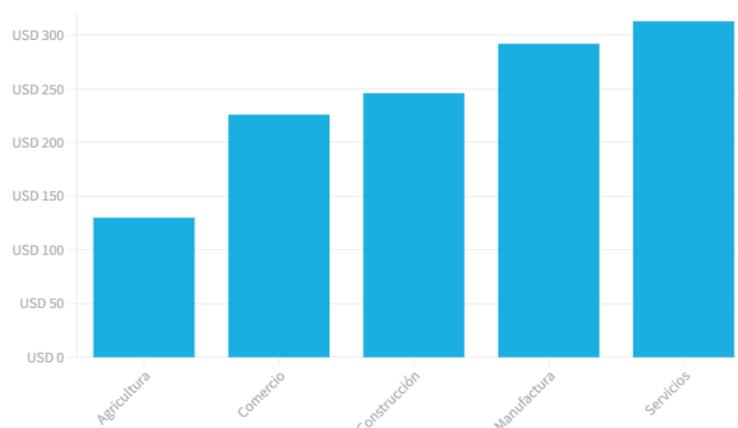


Figura 1. Salario por rama de actividad

Fuente: INEC (2021)

Los productores arroceros del país dejaron de sembrar porque se encuentran totalmente desanimados por los bajos precios y la falta de acceso a créditos, por la falta de políticas públicas; y a la vez aseguró que la falta de comercialización, de productividad y de tecnología son varias de las problemáticas que aquejan al sector, no están de acuerdo por el precio del arroz fijado por el Gobierno, de entre \$ 30 y \$ 32; y la falta y elevado costo de los insumos agrícolas para la producción (El universo, 2021).

Cultivo de arroz con miras a una sostenibilidad

El arroz es una gramínea para la alimentación básica y cada día adquirido mayor importancia en los últimos años en América Latina y el Caribe reflejándose en el aumento del consumo per cápita. Para muchas familias son medios de subsistencia la producción de arroz, por tanto, se enfrenta a una diversidad de desafíos, uno de los más apremiantes es el aumento de la variabilidad climática, poniendo en riesgo la disponibilidad de agua durante ciertas etapas de desarrollo del arroz. Por otra parte, la práctica convencional de inundación continua durante el cultivo da lugar a sistemas de arroz que tienen consecuencias ambientales negativas significativas, relacionadas con el aumento de las emisiones de metano. En consecuencia, el potencial de calentamiento global (Fontagro, 2017).

Para obtener un incremento en la producción de arroz en los próximos años, se deberían, elegir tecnología y políticas que apoyen a la sostenibilidad de la economía del arroz, estas

tecnologías deben ser analizadas cuidadosamente por el impacto económico, ambiental y social. Se deben desarrollar nuevas tecnologías, de esta manera se asegure una producción sostenible del arroz.

2.12. Conclusiones

- La provincia del Guayas juega un papel primordial en dicha producción ya que es el principal proveedor de la gramínea seguida por la provincia de Los Ríos a nivel nacional. En Ecuador, las provincias con mayor aptitud para la producción del cultivo de arroz son: Guayas, Los Ríos, Manabí y Esmeraldas.
- Los principales problemas que enfrentan los agricultores son las plagas y enfermedades que provocan un aumento en los costos de producción y una disminución de la calidad del grano.
- La Agricultura en el Ecuador, ha presentado problemas en cuanto a precio y comercialización de sus productos por la gran cantidad de intermediarios que presentan hasta llegar al consumidor.
- La agricultura sustentable del arroz en la costa ecuatoriana, se ha visto afectada por un sin número de variables como: problemas de plagas y enfermedades, cambios climáticos, precios, la cadena de comercialización, aplicación de dosis altas de fertilizante y pesticidas que ha venido afectando la rentabilidad del arroz y la contaminación de los suelos, ríos y el medio ambiente

2.13. Bibliografía

Alava, M., Poaquiza, J., Castillo G. (2018). La producción arroceras del Ecuador. Caso Samborondon 2011-2015. Revista Espacios 39(34).

Altieri, M., Nicholls, C. (2007). Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. Artículo de Ecosistemas Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. P. 6

AGRICULTURA. (2018). la Agricultura en Ecuador. Sostenible. Disponible en: <https://hablemosdeculturas.com/>

Cadena Piedrahita, D.; Helfgott Lerner, S.; Drouet Candell, J.; Cadena Piedrahita, L.; Montecé Mosquera, F. (2021). Sustentabilidad de los sistemas de producción de arroz situados dentro del sistema de riego y drenaje Babahoyo, Ecuador. Revista Científica y Tecnológica UPSE, 8 (2) pág. 84-94. DOI: 10.26423/rctu.v8i2.522.

Castro Murillo C., Morales Pérez M. & Pacheco Fera U. (2022). Evaluación de la sustentabilidad de la Autosuficiencia Alimentaria Sostenible en Esmeraldas, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*

Castro, M. (2017). Rendimiento de arroz en cáscara, primer cuatrimestre 2017. Quito-Ecuador. 50 p.

Cabir, H. (sf). La sostenibilidad de la producción intensiva de arroz se ve amenazada. *Revista Agroecológica*. Disponible en <https://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-15-numero-2-1/2429-la-sostenibilidad-de-la-produccion-intensiva-de-arroz-se-ve-amenazada>.

Counce, P., Keisling, T., Mitchell, A . (2000). A Uniform, Objective and Adaptive System for Expressing Rice Development. *Crop Science* 40:436-443.

Cobos Mora, F., Hasang Moran, E., Lombeida García, E., & Medina Litardo, R. (2020). Caracterización de fincas arroceras en sistemas de producción bajo riego, en el cantón Daule. *Journal of Science and Research*, 5(CININGEC), 156–168. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/1004>.

Cobos Mora, F., Gómez Villalva, J., Hasang Moran, E., & Medina Litardo, R. (2020). Sostenibilidad del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) En la zona de Daule, provincia del Guayas, Ecuador. *Journal of Science and Research*, 5(4), 1–16. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/692>.

Cobos Mora, Fernando Javier, Gómez Pando, Luz Rayda, Reyes Borja, Walter Oswaldo, & Medina Litardo, Reina Concepción. (2021). Sustentabilidad de dos sistemas de producción de arroz, uno en condiciones de salinidad en la zona de Yaguachi y otro en condiciones normales en el sistema de riego y drenaje Babahoyo, Ecuador. *Ecología Aplicada*, 20(1), 65-81. <https://dx.doi.org/10.21704/rea.v20i1.1691>.

Coronel de Renolfi, M; Ortuño, S. (2015). Tipificación de los sistemas productivos agropecuarios en el área de riego de Santiago del Estero, Argentina. [en línea]. *Problemas del desarrollo. Revista latinoamericana de economía*. 36(140):1-121. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/prode>

Criollo, H; Lagos, T; Bacca, T; Muñoz, J. (2016). Caracterización de los sistemas productivos de café en Nariño, Colombia. *Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1):105-113.

DOSSIER.(2009). Producción y consumo sustentable: medidas aplicables para frenar la crisis alimentaria. Disponible en: <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/886/1/05.%20Dossier.%20Crisis%20alimentaria.%20Producci%20y%20consumo%20sustentable%20a6%20Diego%20Andrade%20Ortiz.pdf>.

Degiovanni, V., Martinez, C.P., & Motta, F. (2010). Producción ecoeficiente del arroz en América Latina: Tomo I. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/2010_Degiovanni-Produccion_ecoeficiente_del_arroz.pdf

El universo. (2021). Economía. Sector arrocero advierte escasez por posible abandono de cultivos del 30 % de productores en el 2022 y plantea soluciones. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/sector-arrocero-advierte-escasez-por-posible-abandono-de-cultivos-del-30-de-productores-en-el-2022-y-plantea-soluciones-nota/>

ESPAC (Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. (2019). Estadísticas Agropecuarias. Disponible en <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>

FAO (2004). El arroz y la nutrición humana. Año internacional del arroz (2004). El arroz es vida, Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.fao.org/rice2004/es/f-sheet/hoja3.pdf

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2013). Baja la productividad en el sector agrícola de Ecuador. Disponible en <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/513023/>

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2018). Seguimiento del mercado del arroz de la FAO (SMA). Disponible en <http://www.fao.org/economic/est/publicaciones/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz/sma/es/>

Fedearroz. (2015). Adopción masiva de tecnología (AMTEC). Guía de trabajo. Grupo Técnico Fedearroz –FNA, Bogotá, Colombia. 29 p.

Fernandes, E., Soliman, A., Confalonieri, R., Donatelli, M. & Tubiello, F. (2012). Climate change and agriculture in Latin America, 2020-2050 : Projected impacts and response to adaptation strategies. World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/12582>

Fernández, E; Brooks, M; Cordón, E. (2008). Estudio biofísico de la finca académica Snaki - URACCAN, en la comunidad de Moss, municipio de Waspam Río Coco, RAAN. *Ciencia e Interculturalidad* 2, 44-66.

FONTAGRO. (2017). Avanzando hacia un manejo más sostenible en el cultivo del arroz. Disponible en: <https://www.fontagro.org/new/proyectos/mas-arroz-menos-agua>

FAO (2022) Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales <https://www.fao.org/worldfoodsituation/cadb>.

FAOSTAT. (2019). Food and Agriculture Organization statistical database. Consultado el 30 de noviembre de 2019. Disponible en: <http://faostat.fao.org/default.aspx>.

FAOSTAT. (2020). Área, producción y rendimiento del cultivo de arroz en el mundo. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

Gonzales, R. (2015). Evaluación agroproductiva de cuatro cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) en el Sur del Jíbaro. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara-Cuba. 8-11 pp.

GRiSP (Global Rice Science Partnership). (2013). Rice Almanac, 4th edition. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Philippines. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg189>

Guido Poveda Burgos y Carmen Andrade Garófalo (2018): “Producción sostenible de arroz en la provincia del Guayas”, *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*, (marzo 2018). En línea: <https://www.eumed.net/rev/cccss/2018/03/produccion-arroz-ecuador.html> [//hdl.handle.net/20.500.11763/cccss1803produccion-arroz-ecuador](https://hdl.handle.net/20.500.11763/cccss1803produccion-arroz-ecuador).

Gómez, J., Cobos, F & Hasang, E. (2019). Sostenibilidad de los sistemas de producción de ganadería extensiva. *Journal of Science and Research*, 4(1), 180–195. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7368619.pdf>.

Heros, E. (2019). Alternativas Tecnológicas para Contribuir a la Sustentabilidad del Cultivo de Arroz (*Oryza sativa* L.) en el Perú. Tesis doctoral. Doctoris Philosophiae (Ph.D.) en Agricultura Sustentable. Lima-Perú.

Holguín, V; Ibrahim, M; Mora, J. (2008). Caracterización de fincas ganaderas de doble propósito en la zona del Pacífico Central de Costa Rica. Revista Colombiana de Ciencia Animal, 1(1):1-

Hasang-Moran, Edwin Stalin, García-Bendezú, Sady Javier, Carrillo-Zenteno, Manuel Danilo, Durango-Cabanilla, Wuellins Dennis, & Cobos-Mora, Fernando Javier. (2021). Sustentabilidad del sistema de producción del maíz, en la provincia de Los Ríos (Ecuador), bajo la metodología multicriterio de Sarandón. Journal of the Selva Andina Biosphere, 9(1), 26-40. Epub 00 de mayo de 2021. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2021.090100026>.

INEC. (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2017). Visualizador de Estadísticas Agropecuarias del Ecuador ESPAC. Recuperado de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec>.

INEC. (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2021). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria.

Kumagai, M., Wang, L. & Ueda, S. (2010). Genetic diversity and evolutionary relationships in genus *Oryza* revealed by using highly variable regions of chloroplast DNA. Gene, 462: 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2010.04.013>

La hora. (2018). La importancia de la agricultura en el Ecuador. Disponible en: La importancia de la agricultura en el Ecuador – Diario La Hora.

Lombeida García, E., Medina Litardo, R., Hasang Moran, E., & Cobos Mora, F. (2020). Incidencia de *Meloidogyne graminicola* en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en la provincia de Los Ríos. Journal of Science and Research, 5(CININGEC), 110–121. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/1001>.

Lombeida, E; Gómez, L; Reyes, W; Medina, R; y Caicedo, O. (2021). Evaluation the sustainability of rice production systems under different conditions of infestation with *M. graminicola*. Neutrosophic Sets and Systems, Vol. 46, 2021 University of New Mexico. Disponible en: <http://fs.unm.edu/NSS2/index.php/111/article/view/2054>

Márquez, O. (2013). Incidencia del fósforo en el macollamiento de arroz (*Oryza sativa*) variedad INIAP 15. Tesis de Grado. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo-Ecuador. 67 p.

Martínez, C; Tohme, J; López, J; Borrero, J; Couch, J; Roca, W; Chate, M y Guimaraes, E. (1998). Estado actual del mejoramiento del arroz mediante la utilización de especies silvestres de arroz en CIAT.

Maluenda, J. (2018). Previsión para el sector de arroz en las próximas cinco campañas y en 2030. Recuperado de <https://www.agrodigital.com/wpcontent/uploads/2018/05/arroz300518.pdf>

Marín D; Urioste S; Celi R; Castro M; Pérez P; Aguilar D; Labarta R; Andrade R. (2021). Caracterización del sector arrocero en Ecuador 2014-2019: ¿Está cambiando el manejo del cultivo? Publicación CIAT No. 511. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego (FLAR); Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de Ecuador; Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) de Ecuador. Cali, Colombia. 58 p.

Medina, R; García, S; Carrillo, M; Perez, I; Paris, L & Lombeida, E. (2021). Effect of mineral and organic amendments on rice growth and yield in saline soils, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, Volume 21, Issue 1. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1658077X21000862>.

Medina Litardo, R., Cobos Mora, F., Lombeida Garcia, E., & Hasang Moran, E. (2020). Evaluación de un sistema silvopastoril para la gestión sostenible de los recursos naturales de la Hacienda Aurora, Guayas – Ecuador. Journal of Science and Research, 5(CININGEC), 79–95. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/999>.

Ministerio de Agricultura, Acuacultura y Pesca. (2014). Zonificación agroecológica económica del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en el Ecuador continental a escala 1:250 000 resumen ejecutivo.

Muñoz, R. (2016). Diagnóstico de la degradación de los suelos en cultivos de arroz riego intermitente y secano bajo el sistema de labranza tradicional aplicado, en los llanos del Casanare. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.

Painii Montero, V., González Manjarrez, O., Santillán Muñoz, O., & Garcés Fiallos, F. (2018). Vines UG-03 y Vines UG-10, nuevas variedades de arroz para la costa ecuatoriana. *Rev. Fitotec. Mex.*, 41(1), 93-95. Recuperado de <http://www.redalyc.org/jatsRepo/610/61054744013/61054744013.pdf>

Pérez, J., Castro, N., González, R. I., Aguilar, M. C., & García, O. (2016). Semilla original de dos cultivares de arroz cubanos: resistencia a *Tagosodes orizicolus* Muir (Sogata). *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 243-251. Recuperado de http://www.mag.go.cr/rev_meso/v27n02_243.pdf

Petri, G.N., Petri, J.G., Nicolás, J., Horton, D., Benson, T., Ramírez, D.O. & Frattini, F. (2015). Modelos de simulación y herramientas de modelaje: Elementos conceptuales y sistematización de herramientas para apoyar el análisis de impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre las actividades agrícolas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (Proyecto EUROCLIMA-IICA). <http://euroclima.iica.int/content/modelos-de-simulaci%C3%B3n-y-herramientasde-modelaje>.

Pérez Iglesias, H. I. Rodríguez Delgado, I., & García Batista, R.M. (2018). Principales enfermedades que afectan al cultivo del arroz en Ecuador y alternativas para su control. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(1), 16-27. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>.

Poveda, G. Andrade, C. (2018). “Producción sostenible de arroz en la provincia del Guayas”, *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*, (marzo 2018). En línea: <https://www.eumed.net/rev/cccss/2018/03/produccion-arroz-ecuador.html>
[//hdl.handle.net/20.500.11763/cccss1803produccion-arroz-ecuador](http://hdl.handle.net/20.500.11763/cccss1803produccion-arroz-ecuador).

Ricepedia (2016). Rice as a food: The global staple. Ricepedia The online authority on Rice. accedido el 12 de diciembre de 2016 desde <http://ricepedia.org/rice-as-food/the-global-staple-rice-consumers>

Ríos, Y.(2016). Sostenibilidad del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.), cultivar INCA LP-7, en la UBPC “El Cedro. Tesis Facultad de Ciencias Agropecuaria.

Rebolledo, M., Ramírez, J., Graterol, E., Hernández, M., Rodríguez, J. Petro, E., Pinzón, S., Heinemann, A., Rodríguez, J., Maurits van den Berg. (2018). Modelación del arroz en

Latinoamérica: Estado del arte y base de datos para parametrización. Centro Internacional de Agricultura Tropical. 74 p. <https://ec.europa.eu/jrc>.

Rodríguez Delgado, I., Pérez Iglesias, H. I., & Socorro Castro, A. R. (2018). Principales insectos plaga, invertebrados y vertebrados que atacan el cultivo del arroz en Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(1), 95-107. Recuperado de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>.

Sharma, S. (Ed.) (2010). *Rice: Origin, Antiquity and History*. CRC Press, Science Publishers.

Salas Tutiven, L. (2013). Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de arroz orgánico en la provincia del Guayas. (Trabajo de titulación de Ingeniera Comercial). Guayaquil: Universidad Católica Santiago de Guayaquil.

Singh, U.S. & Khush, G.S. (Eds.) (2000). *Aromatic Rices*. Mohan Primlani for Oxford & IBH Publishing. http://books.irri.org/8120414209_content.pdf

Smith, C.W. & Dilday, R.H. (Eds.) (2003). *Rice: Origin, History, Technology, and Production*. John Wiley & Sons.

Santos Baeta, A., Stone Fernando, L., Heinemann Bryan A., & Baeta Santos T. (2017). Índices fisiológicos de arroz irrigado afetados pela inundação e fertilização nitrogenada. *Revista CERES*, 64(2), 122-131. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/rceres/v64n2/2177-3491-rceres-64-02-00122.pdf>

Torró, I. (2011). Análisis de los factores que determinan la resistencia al encamado y características de grano en arroz (*Oryza sativa* L.), y su asociación con otros 71 caracteres, en varias poblaciones y ambientes: bases genéticas y QTLs implicados. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

Vargas, J (2010). El arroz y su medio ambiente. In: Degiovanni Beltramo, Víctor M.; Martínez Racines, César P.; Motta O. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/82484>.

Viteri, C., Zambrano, C. (2017). El arroz y su medio ambiente – CGSpac. *Ciencia y Tecnología* 9(2):11-17. doi:10.18779/cyt.v9i2.192. https://www.researchgate.net/publication/342659983_Comercializacion_de_arroz_en_Ecuador_Analisis_de_la_evolucion_de_precios_en_el_eslabon_productor-consumidor

Velázquez, R., Rosales, A., Rodríguez, H., Salas, R. (2015). Determinación de las etapas de inicio de macollamiento, inicio de primordio, floración y madurez en la planta de arroz con el sistema s, v y r correlacionado con la sumatoria térmica. *Agronomía Costarricense*, vol. 39, núm. 2, pp. 121-130, 2015.

Vera, J & Gutiérrez, O. (2020). análisis socioeconómico: pequeños agricultores de arroz de la localidad Juan Bautista Aguirre, provincia de las guayas, Ecuador. *Revista científica teorías, enfoques y aplicaciones*.

Zambrano, C. E., Andrade Arias, M. S., & Carreño Rodríguez, W. V. (2019). Factores que inciden en la productividad del cultivo de arroz en la provincia Los Ríos. *Universidad y Sociedad*, 11(5), 270-277. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>

Gómez, J., Cobos, F & Hasang, E. (2019). Sostenibilidad de los sistemas de producción de ganadería extensiva. *Journal of Science and Research*, 4(1), 180–195. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7368619.pdf>.

Capítulo III. Sistemas de cultivo.

Orlando Díaz Romero

Universidad Técnica de Babahoyo
<https://orcid.org/0000-0002-1469-642X>

David Mayorga Arias

Universidad Técnica de Babahoyo
<https://orcid.org/0000-0002-4240-4260>

Marlon Pazos Roldán

Universidad Técnica de Babahoyo
<https://orcid.org/0000-0001-6798-8736>

Martha Uvidia Vélez

Universidad Técnica de Babahoyo
<https://orcid.org/0000-0002-6715-9951>

3.1. Introducción

El arroz es uno de los alimentos básicos más importantes, con más de 3500 millones de personas que dependen de él para obtener el 20 % de su ingesta calórica diaria (CIAT, 2010). Este cultivo forma parte de un grupo de 19 especies de plantas anuales de la familia de las gramíneas; por lo tanto, el arroz común es la única especie importante para el consumo humano (Reyes *et al.*, 2020). Se estima que la producción de arroz aumentará en 114 millones de toneladas para 2035, pero los agricultores tendrán que hacerlo en medio de las graves amenazas del cambio climático (Suzanne *et al.*, 2012). Sumado a esto, una disminución en la cantidad de tierra agrícola, agua y baja mano de obra disponibles para la agricultura, aumento el costo de todos los insumos.

En América del Sur, debido a los altos costos de mano de obra, el arroz se cultiva principalmente con el método de labranza cero. Este sistema se practica en una variedad de agroecosistemas, desde áreas de secano hasta áreas irrigadas (Maclean *et al.*, 2002). Sin embargo, el trasplante está muy extendido en Perú y la costa de Ecuador, mientras que los sistemas de arroz de siembra en agua (pre-emergencia) están muy extendidos en Venezuela, Guyana y Chile. Las fincas grandes utilizan sistemas centralizados con mecanización, pesticidas y fertilizantes que son más competitivos que las fincas pequeñas. Los sistemas de labranza cero se utilizan principalmente para el cultivo de arroz en las tierras bajas, ya que permiten la labranza durante todo el año, reducen los costos de producción y aumentan los

rendimientos con la siembra oportuna. Por ejemplo, en el estado de Santa Catarina, toda el área de cultivo de arroz por riego, el arroz germina y se siembra en los arrozales, mientras que en el estado de Rio Grande do Sul, alrededor del 93% de la cosecha de arroz se siembra en secando (Raimondi *et al.*, 2014).

El mayor desafío para la seguridad alimentaria es aumentar la producción mundial de alimentos y minimizar los impactos negativos sobre los recursos y el medio ambiente (Ladha *et al.*, 2015). Por lo tanto, para garantizar la seguridad alimentaria y nutricional de los productores de arroz, es importante comprender y desarrollar sistemas innovadores de producción de arroz que usen los recursos de manera eficiente, generen mayores ganancias netas y sean amigables con el medio ambiente.

3.2. Clasificación de los sistemas de producción

El arroz se cultiva en más de 100 países en seis continentes en una amplia variedad de entornos. A nivel mundial, el arroz se ocupa una superficie total de alrededor de 158 millones de hectáreas, produciendo más de 700 millones de toneladas (470,6 millones de toneladas de arroz procesado) anualmente en 2015 (USDA 2016). Aproximadamente el 90% del arroz del mundo (alrededor de 640 millones de toneladas) se cultiva en Asia, siendo China e India los principales productores. África y América Latina producen cada uno alrededor de 25 millones de toneladas. En Asia y África subsahariana, casi todo el arroz se cultiva en pequeñas fincas de 0,5 a 3 hectáreas por hogar. El arroz se produce en una variedad de ambientes y por una variedad de métodos. Los sistemas de producción de arroz han sido clasificados por diferentes estudiosos en diferentes países, dependiendo del contexto. Las condiciones ecológicas y socioeconómicas para la producción de arroz varían mucho entre países y lugares. Esto afecta el rendimiento del arroz en el pasado y afecta el potencial de futuras mejoras en la producción de este cultivo.

El arroz se cultiva en condiciones climáticas templadas, subtropicales y tropicales, con climas que varían de árido y semiárido a subhúmedo y húmedo. Con base en las condiciones de humedad del suelo, los ecosistemas productores de arroz incluyen tierras bajas irrigadas, tierras altas irrigadas, tierras bajas de secano, tierras altas de secano y ecosistemas de aguas profundas/ flotantes (Figura 1). Desde una perspectiva socioeconómica, las explotaciones agrícolas gestionadas por los hogares suelen ser de tamaño pequeño, desde menos de una

hectárea hasta varias hectáreas. La superficie sembrada es más grande en los países desarrollados.

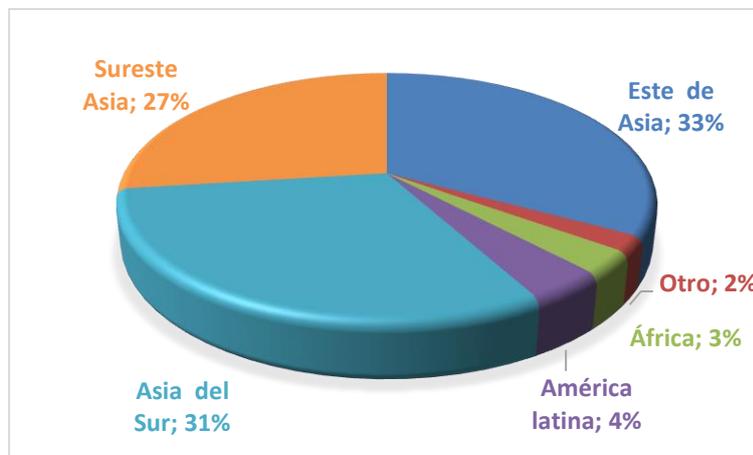


Figura 1. Porcentaje de la producción mundial de arroz por región
Fuente: GRiSP, (2013).

3.3. Clasificación en base al entorno del cultivo.

La clasificación ambiental del arroz se basa en la altitud (tierras altas, tierras bajas, aguas profundas) y la fuente de agua (de regadío o de secano).

1. Sistema de producción de arroz de tierras bajas: Cultivo continuo (arroz-arroz) bajo inundación. Las tierras bajas se clasifican en:

Sistemas de producción de arroz de riego en tierras bajas: Los sistemas de producción de arroz de riego en tierras bajas cubren aproximadamente 93 millones de hectáreas y producen el 75% de la producción mundial. Asia representa alrededor del 56% de todos los cultivos mundiales en el área total de regadío, de los cuales el 40-46% es arroz. (GRiSP, 2013). Los países con las mayores áreas de arroz de tierras bajas irrigadas son China (31 millones de ha), India (19 millones de ha), Indonesia (7 millones de ha) y Vietnam (3 millones de ha) (Dobermann y Fairhurst, 2000). Los sistemas de producción de arroz de riego de tierras bajas son los sistemas de producción de arroz más importantes para la seguridad alimentaria mundial. El método más común para establecer este sistema de producción es el trasplante. El arroz también se cultiva mediante labranza húmeda o sin agua en sistemas de producción de riego de tierras bajas.

En el método de trasplante de cultivo de arroz, las plántulas se cultivan en semilleros durante 20 a 40 días y luego se trasplantan a campos inundados de forma manual o mecánica. El

arroz de regadío se cultiva en terraplenes o arrozales rodeados de pequeños terraplenes que rodean el agua. Los agricultores con fincas pequeñas (0,5 a 2 ha) suelen mantener una capa de agua de 5 a 10 centímetros (cm) en sus campos durante la mayor parte del ciclo de cultivo (Bouman *et al.*, 2006). Si se asegura el suministro de agua, es posible cultivar arroz más de una vez al año. Se sigue el sistema de cultivo de arroz con lluvia. El arroz de regadío recibe alrededor del 40% del agua de regadío del mundo y el 30% de los recursos de agua dulce desarrollados del mundo. La productividad media del arroz de tierras bajas de regadío es mayor (alrededor de 5,4 t/ha) (GRiSP, 2013).

El arroz se cultiva bajo sistemas de riego en condiciones climáticas templadas en Australia, Bután, Asia Central (Kazajstán y Uzbekistán), Chile, Ecuador, China, Japón, Corea, Nepal, Rusia, Turquía, EE. UU. y Uruguay (Jena y Hardy 2012). En Bután, Nepal y partes de China, el arroz se cultiva mediante trasplante. En las tierras bajas de regadío, predomina el trasplante mecánico, y solo el 1,2% de los arrozales marginales se trasplantan a mano. Sin embargo, la disminución de la disponibilidad de mano de obra y el aumento de los costos laborales están motivando a los agricultores a pasar del trasplante a la labranza cero, como se hace en otros países templados productores de arroz. Se logran 10 toneladas o más por hectárea (Cobos, 2022).

Sistemas de producción de tierras bajas de secano: El arroz de tierras bajas de secano se cultiva en deltas de ríos y áreas costeras donde los campos de arroz están cercados e inundados con agua de lluvia durante al menos parte de la temporada de crecimiento. En este sistema, la siembra de arroz es el principal método de cultivo, pero también se utilizan métodos de labranza cero húmedos y secos. A nivel mundial, 52 millones de hectáreas de tierras bajas de secano producen alrededor de 19% de arroz (GRiSP, 2013). Las tensiones abióticas, como la sequía (alrededor de 27 millones de ha) y las inundaciones incontroladas, tienen impactos significativos en las precipitaciones y las lluvias, que van desde inundaciones repentinas de corta duración hasta sumersiones profundas de 100 cm durante meses (20 millones de ha). prevalecen debido a la gran incertidumbre sobre las precipitaciones y la salinidad. (Dobermann y Fairhurst 2000; Mackill *et al.*, 2010). La profundidad del agua oscila entre 1 y 5 metros y se alimenta de las mareas de ríos, lagos o desembocaduras de ríos. Dependiendo del área de producción, la profundidad del agua puede exceder los 5 m. El arroz de aguas profundas, o arroz flotante, se produce sembrando semillas de arroz en campos arados y generalmente se cultiva sin barreras en áreas donde los niveles del agua aumentan rápidamente después de la lluvia. A medida que avanza el

flujo de salida, las plantas de arroz se estiran y flotan. Por eso, se le llama "arroz flotante". Debido a los riesgos asociados con el cultivo de arroz en entornos tan hostiles, los agricultores tienden a utilizar menos fertilizantes y evitan el uso de variedades mejoradas de arroz. Por lo tanto, la productividad del arroz en las tierras bajas de secano es muy baja (1–2,5 t/ha) (Dobermann y Fairhurst, 2000).

2. Sistema de cultivo de arroz de secano con lluvia: Un sistema para cultivar arroz en un ambiente con mucha lluvia. Los agricultores de subsistencia a menudo utilizan el sistema de arrozales de lluvia. Se encuentran en una variedad de entornos, desde suelos de valles bajos hasta terrenos empinados con alto drenaje. El arroz en este sistema se esparce o se siembra en suelo seco antes o durante la temporada de lluvias. Durante el período de crecimiento del arroz, el suelo está sujeto a condiciones aeróbicas. Tradicionalmente, el arroz se cultiva anualmente con insumos mínimos. El arroz se cultiva en alrededor de 15 millones de hectáreas, y las tierras altas de secano representan alrededor del 4 % de la producción mundial de arroz (GRiSP 2013). El ecosistema es muy diverso, con campos llanos, ondulados o escarpados hasta los 2.000 m de altitud, con una precipitación anual de 1.000 a 4.500 mm. Los suelos varían de muy fértiles a altamente erosivos, estériles y ácidos, pero solo el 15% de todo el arroz de lluvia se cultiva en áreas con suelos fértiles y largas temporadas de crecimiento. La productividad del arroz de secano es baja (alrededor de 1 tonelada/ha) debido a muchas limitaciones bióticas, abióticas y sociales y al uso de variedades locales por parte de agricultores que no responden a prácticas de gestión mejoradas. Las principales limitaciones de este sistema son la sequía, los suelos problemáticos y las plagas (malezas, enfermedades, insectos y nematodos) (GRiSP 2013).

3. Sistemas de producción de arroz aeróbico de riego o de secano: En los sistemas de arroz aeróbico, el arroz se establece mediante labranza cero en campos libres de inundaciones y se maneja de manera intensiva como un cultivo de secano (Tuong y Boumann, 2003). Los sistemas aeróbicos de arroz pueden reducir el agua requerida para la producción de arroz en más del 44 % en comparación con los sistemas de cultivo convencionales al reducir la lixiviación, la infiltración y las pérdidas por evaporación mientras se mantienen los rendimientos en niveles aceptables (Bouman *et al.*, 2005). En la década de 1980, se realizaron esfuerzos para desarrollar y popularizar la producción de arroz con riego por lluvia, o aeróbico, utilizando sistemas de riego por aspersión en Brasil.

3.4. Sistemas de producción basado en el método de establecimiento.

Los principales métodos de cultivo de arroz en el mundo son el trasplante y la siembra directa. Por lo tanto, los sistemas de cultivo de arroz se pueden clasificar en (a) sistemas de arroz trasplantado (SPT) y (b) sistemas de arroz sin labranza (SSD). Los sistemas de producción de arroz sin labranza se pueden clasificar en (i) sistemas de producción de arroz con semilla seca (SP seco), (ii) sistemas de producción de arroz con semilla húmeda (SP húmedo) y (iii) arroz con semilla de agua (SP húmedo). A continuación, se presenta una breve descripción de estos sistemas de producción.

1. Sistema de Producción de Arroz Trasplantado (SPT)

El arroz se planta a mano o con máquina. en el método de siembra manual, las plántulas se cultivan en semillero y las plántulas de arroz de 20 a 30 días se trasplantan a suelo húmedo. En semilleros de arroz, se puede cultivar en lecho húmedo o seco, o en el método dapog o estera en el que se coloca una fina capa de sol mezclada con estiércol de granja o compost sobre una lámina de polietileno y se cultivan las plántulas de arroz., según la ubicación, el tipo de suelo, el ecosistema del arroz y la disponibilidad de recursos. Hasta ahora, se han implementado sistemas de producción de arroz trasplantado en varios países donde, el crecimiento de la población ha proporcionado una oferta adecuada de mano de obra. Para el trasplante mecánico, las plántulas se cultivan en un vivero tipo bandeja o estera, con una capa delgada de sol mezclada con estiércol o compost sobre una lámina de polietileno para hacer crecer las plántulas. El trasplante mecánico utiliza esteras de plántulas en bandejas o semilleros de esteras. Los sistemas de producción tradicionales tienen ventajas como la disponibilidad suficiente de nutrientes (fósforo, zinc, hierro, etc.) al crear condiciones anaeróbicas, establecimiento confiable de plántulas, vigor temprano de las plántulas y competitividad contra las malezas (Rao *et al.*, 2007).

Sin embargo, SPT consume grandes cantidades de agua para llevar a cabo procesos como preparación, evaporación superficial e infiltración (Farooq *et al.*, 2011). Este sistema de producción requiere mucha mano de obra, agua y energía, y se vuelve menos rentable a medida que estos recursos se vuelven más escasos. También degrada las propiedades físicas del suelo, afecta negativamente el rendimiento de los cultivos aguas abajo y contribuye a las emisiones de metano. Sin embargo, SPT sigue siendo dominante bajo ciertas condiciones ambientales y socioeconómicas en el mundo.

2. Sistema de producción de arroz de siembra directa (SSD)

El arroz sin labranza se logra mediante (1) siembra seca (SSD seco), (2) siembra húmeda (SSD húmedo) y (3) siembra con agua (SSD acuático) (Kumar y Ladha, 2011). Dado que las semillas de arroz se siembran directamente, los métodos de construcción de SSD seco, húmedo y húmedo a menudo se denominan colectivamente SSD. Actualmente, 23% de arroz se siembran directamente en todo el mundo (Kumar y Ladha, 2011). El SSD seco consiste en sembrar semillas secas en suelo seco (no saturado). Tradicionalmente practicada en la mayoría de los países en ecosistemas de tierras altas de secano, la producción de SSD seco también se usa en áreas irrigadas con manejo preciso del agua como arroz aeróbico. En ciertos países, los agricultores cultivan SSD seco a principios de mes y lo convierten en arroz de riego de tierras bajas después de introducir agua de canal segura en el sistema (Rao *et al.*, 2015). En SSD húmedo, las semillas de arroz pregerminadas se siembran en suelo húmedo (saturado) húmedo. El SSD húmedo se realiza sembrando semillas en suelo húmedo o usando una sembradora de tambor.

El SSD húmedo se ha implementado en tierras bajas bien irrigadas y áreas muy irrigadas (Weerakoon *et al.*, 2011). Los SSD están emergiendo como una alternativa atractiva a SPT. Los productores de arroz están cambiando a SSD para reducir los costos de mano de obra, trabajo pesado y cultivo (Rao *et al.*, 2007; Kumar y Ladha, 2011). Las variedades de arroz de vida corta y la disponibilidad de herbicidas selectivos de bajo costo han alentado a los agricultores a experimentar con este método de plantación de arroz (Balasubramanian y Hill, 2002). En América Latina, el arroz se siembra predominantemente directamente, con solo 6 litros de superficie (GRiSP, 2013). En SSD de agua, las semillas de arroz pregerminadas (24 h de remojo y cultivo, respectivamente) se plantan en suelo sumergido (SSD de agua húmeda) o no sumergido (SSD seco). Las semillas de arroz relativamente pesadas se hunden en el agua estancada y proporcionan un buen anclaje. Agua – SSD se utiliza para el cultivo de arroz en tierras bajas planas y bien irrigadas. con buena nivelación de la tierra en América Latina, Australia y países europeos para controlar las malezas problemáticas, especialmente el arroz negro.

3.5. Productividad en diferentes sistemas de producción

Varios estudios han demostrado que la productividad del arroz SPT y SSD es similar en ciertos entornos siempre que se cultiven utilizando las mejores prácticas de manejo (Kumar y Ladha, 2011). Tradicionalmente, en áreas SPT de secano, la necesidad de almacenar agua

en estanques comunes retrasa la siembra de arroz de una a tres semanas (Ladha *et al.*, 2009) y reduce los rendimientos. Los sistemas de producción de SPT requieren grandes cantidades de agua y mano de obra y son cada vez más escasos y más caros. Los crecientes costos de agua y mano de obra para SPT también han reducido los márgenes de ganancia (Pandey y Velasco, 1999). Por lo tanto, las áreas irrigadas en muchos países en desarrollo están experimentando un gran cambio de los sistemas de producción sumergidos SPT a los sistemas SSD (Rao *et al.*, 2007). Sin embargo, en comparación con SPT, los sistemas de producción de SSD húmedos y secos informaron rendimientos más bajos debido al asentamiento desigual o deficiente del cultivo. Pobre control de malezas; mayor esterilidad de las espiguillas que los trasplantes inundados. Aumenta el almacenamiento de cultivos, especialmente para la siembra y la siembra en húmedo. y deficiencias de micronutrientes (Rao *et al.*, 2007).

El rendimiento de los diferentes tipos de sistemas de producción de SSD varía de un país a otro, según las prácticas culturales utilizadas, el entorno y sus interacciones (Kumar y Ladha, 2011). Entre los sistemas de producción de SSD, la siembra en línea/perforación (frente a la difusión) y la SSD húmeda (frente a la SSD seca) registraron mayores rendimientos. Sin embargo, se ha demostrado que los SSD secos son más tolerantes a la sequía que los SSD secos y los sistemas de arroz trasplantado, tienen tiempos de supervivencia más prolongados durante la sequía y pueden aumentar la estabilidad del rendimiento en el arroz de secano (Boling *et al.*, 1998).

3.6. Huella ambiental en diferentes sistemas de producción

De los diversos sectores que contribuyen a las emisiones globales totales de gases de efecto invernadero, la agricultura aporta alrededor del 9,3 %, incluido 1,5 l de arroz. Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los arrozales. El ecosistema del arroz emite tanto CH₄ como N₂O, tiene un mayor potencial de calentamiento global (PCG) de emisiones de gases de efecto invernadero que otros cultivos y tiene un mayor PCG (PCG por rendimiento unitario) que otros cultivos ya que el arroz generalmente crece en condiciones de inundación en ecosistemas irrigados. y consume más agua. (Linguist *et al.*, 2012).

Los efectos individuales o combinados de múltiples factores como las propiedades del suelo, las condiciones climáticas y los controles como el pH del suelo, el potencial redox, la composición del suelo, la salinidad del suelo, la temperatura, la precipitación y el manejo del agua pueden afectar las emisiones de CH₄ en los cultivares de arroz. Sistemas

dependientes de técnicas de cultivo de arroz (Harada *et al.*, 2007; Ladha *et al.*, 2015). El SPT irrigado e inundado se considera una de las principales fuentes de emisiones de metano (CH₄), representando el 10-20% (50-100 Tg por año) (Reiner y Aulakh, 2000). La labranza cero puede reducir las emisiones de CH₄ (Wassmann *et al.*, 2004) Las SSD reportaron emisiones de CH₄ más bajas que las SPT convencionales (Tyagi *et al.*, 2010) Húmedo Para SSD, 16–22 × inundación continua con emisiones reducidas de CH₄ y 82–92 × x Drenaje a mitad de temporada o riego intermitente en comparación con SPT convencional con inundación continua (Corton *et al.*, 2000).

Las emisiones de gas CH₄ y el potencial de calentamiento global fueron las más altas para SPT convencional, y las emisiones de N₂O fueron las más altas para el cultivo de SSD que conserva compost. Esto se debe a que agregar más materia orgánica al suelo aumenta la tasa de descomposición, lo que resulta en un aumento en las emisiones anuales totales de CH₄ en todo el mundo, las emisiones de GEI (Bhatia *et al.*, 2011). o Mayores rendimientos de arroz y menor consumo de agua de riego que los arrosales SPT manejados por los agricultores probablemente se beneficiarán de la adopción de SSD secos con prácticas de manejo óptimas y mínimas mientras se conservan los residuos de la rotación de cultivos. Ladha *et al.*, 2015).

3.7. Preparación de suelos arroceros

Una preparación adecuada del suelo favorece la reducción de la pérdida de agua y nutrientes por lixiviación, percolación o infiltración y además consigue un mejor control de malezas, reduce la incidencia de plagas y enfermedades, reduce la agresividad de estas plagas, al prevenir la aparición de malformaciones y reducir la competencia con estos factores, se logra la producción de arroz y mejores rendimientos (SAG, 2017).

Operaciones básicas en la labranza.

Voltear.

Esta operación consiste en convertir el suelo en una capa de trabajo, es decir, se incorpora la capa superior y sale a la superficie la capa inferior. La necesidad de traer material superficial al suelo y traer horizontes profundos a la superficie se limita a casos muy especiales (Martin, 2018).

Mezclar

Este proceso homogeneiza y mezcla todos los materiales del suelo a una profundidad específica. En determinadas circunstancias, puede estar justificado, por ejemplo para facilitar la retirada de rastrojos en climas templados. La profundidad de mezcla es generalmente escasa, en torno a los 10 cm (Espín, 2018).

Pulverizar

Este proceso descompone grumos y grumos más grandes al formar un horizonte de partículas finas del tamaño de una semilla. Necesario para la preparación del semillero. De esa manera solo tiene sentido en superficies muy delgadas. Rociar el horizonte profundo no está justificado por alguna razón. Hoy, tenemos la tecnología para hacer crecer la mayoría de los cultivos sin tener que pulverizar la cama de semilla. Especialmente en horticultura, rara vez es necesaria una preparación detallada del semillero (Delgado *et al.*, 2019).

3.8. Métodos de preparación de suelos

Según Pérez y Rodríguez (2018), la preparación del suelo para el desarrollo del arroz se puede realizar de dos formas, dependiendo de las condiciones del secano y del humedal (seco o bajo riego).

Preparación en condiciones de secano.

“El arroz de secano es un arroz que depende enteramente de la lluvia para su desarrollo normal y no puede retener una capa de agua en su superficie porque el campo no tiene paredes” (Moquete, 2017).

Rome-plow. Este es el trabajo más común y ampliamente utilizado en el cultivo de arroz debido a la versatilidad del uso. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la humedad del suelo es importante para una buena preparación del suelo (Moreno, 2014).

Nivelación del suelo: El suelo debe nivelarse o aplanarse para una distribución adecuada de las semillas y una cobertura y profundidad de siembra adecuadas. La unión se puede realizar con un riel, un trozo de madera o una pala mecánica acoplada al tractor

Rastra: Dispositivo montado en tractor adecuado para cubrir semillas en el caso de siembras secas y anchas, creando un camino superficial que favorece la óptima germinación de los cultivos.

Tabla 1. Preparación del suelo para el cultivo de arroz en condiciones de secano.

Factores de	Labores a Realizarse.			Observaciones.
	Arada	Romplow	Rastra	
Acondicionamientos.				
Suelo franco arenoso	-	+	+	No pulverizado.
Suelo con alta M.O	+	-	+	Incorporar bien la materia orgánica.
Suelo franco.	-	+	+	Compactar el suelo con un madero después del pase de rastra.
Suelo arcilloso.	+	-	+	Pulverizar bien.
Suelo enmalezado	+	+	+	Realizar las labores con Romplow
Rotación con Maiz	+	-	+	Incorporar bien el rastrojo.
Rotación con soya	-	+	+	Minimizar las labores
Suelo erosionado.	-	+	+	Dejar en reposo, cambiar a cultivos perennes o ganadería
+ se realiza la labor.	- No se realiza la labor.			M.O. Materia orgánica.

Fuente: Valero, (2020)

Condiciones bajo riego

El arroz tiene la particularidad de ser un cultivo semiacuático, tradicionalmente cultivado en inundaciones continuas durante la mayor parte de su ciclo de crecimiento, relativamente mal adaptado a condiciones de escasez de agua y altamente resistente a la sequía, se dice que es sensible (Ruiz *et al.*, 2016).

El primer nivel de mecanización utilizó tareas como romplows y rastra, el segundo, además de los mencionados, cubrió terrenos previamente inundados con canastas de hierro en sustitución de las canastas convencionales. Se realiza una actividad de fangeo, que consiste en golpear con una llanta de tractor. De ser posible, mantenga la capa de agua por debajo de los 10 cm desde el trasplante hasta 15 días antes de la cosecha (Andrade, 2016).

Mecanización

Rome-plow. Este es el trabajo principal y se usa con mayor frecuencia durante la preparación de la tierra en el cultivo de arroz. En general, como se mencionó anteriormente, en condiciones secas es igual que cuando se realiza la primera etapa de labranza.

3.9. Condiciones de fangueo o bajo inundación

Es aconsejable preparar la tierra para condiciones de inundación o encharcamiento si se dispone de las instalaciones de encharcamiento necesarias y se cuenta con sistemas o infraestructura de riego para mantener una capa de agua permanente para los cultivos de arroz. Es decir, el tratamiento del suelo por este sistema requiere que el suelo cuente con una infraestructura melgas de inclinación cero para el control y gestión del agua de riego.

Equipo utilizado en la preparación de tierras por fangueo.

Rototiller: Un arado reversible montado en tres puntos en el tractor y operado por la toma de fuerza. Consiste en una barra giratoria protegida con cuchillas para cortar y aflojar la tierra. Recomendamos utilizar un Rototiller diseñado para operar en terrenos fangosos con cojinetes y engranajes completamente cerrados (Zambrano, 2015).

Ruedas Fangueadoras: Aptas para tractores y cultivadoras, consisten en ruedas de acero que machacan (preparan) el suelo antes de la siembra (Zambrano, 2015).

Cuchilla o pala niveladora: Consiste en una cuchilla metálica montada en el enganche de tres puntos del tractor, cuya profundidad de corte se ajusta mediante la carrera hidráulica del tractor. Se utiliza para mover el suelo desde la parte superior del terreno hasta el fondo. Se utiliza para realizar pequeños cortes con cuchara niveladora, ya que incluso en terrenos secos y llanos el terreno tiene zonas (alturas) que no se pueden sumergir por completo. Llevar tierra al fondo del lote. Esto debe hacerse inmediatamente después del charco, antes de que el lodo o la arcilla se asiente (sedimento) y se vuelva pegajoso.

Tabla 2. Preparación del suelo para el cultivo de arroz bajo condiciones de riego.

Factores de Acondicionamientos.	Labores a Realizarse.				Observaciones.
	Arada	Romplov	Rastra	Fangueo	
Suelos con alta M.O.	-	+	-	+	Después de realizar el primer pase de fangueo. Dejar 15 días con agua para que se descomponga la materia orgánica. Posteriormente, realizar el pase definitivo y nivelarlo

Factores de Acondicionamientos.	Labores a Realizarse.				Observaciones.
	Arada	Romplow	Rastra	Fanguero	
Suelo franco arcilloso	-	+	-	+	Para mejorar la retención de agua
Suelo arcilloso	+	-	-	+	Después del tercer ciclo con fanguero. arar
Suelo con problema de sales	+	-	-	+	Arar. Dar riegos corridos y tanguear
Suelo con mal drenaje	+	-	-	+	Dejar secar el suelo para prepararlo
Suelos nivelados.	+	-	+	+	Pase de madero para nivelar
Suelos mal nivelados	-	+	-	+	Es necesario usar pala acoplada al tractor en la labor de fanguero
+ se realiza la labor.		- No se realiza la labor.			M.O. Materia orgánica.

Fuente: Valero, (2020)

Suelos en donde se puede emplear el fanguero

No todos los suelos son adecuados para usar con un sistema de melgas, especialmente cuando se trabaja con tractores grandes. Si la pendiente es demasiado grande, las crestas estarán demasiado juntas y no habrá suficiente espacio para trabajar entre ellas. Separarlos aún más requeriría desplazar más tierra, dejando gran parte de esta área sin tierra vegetal (Cheaney, 1998). El terreno más adecuado para la creación de melgas tiene las siguientes características:

- 1. Terreno bastante plano (menos de 0. 7%).** Si las presas están demasiado juntas, no habrá suficiente espacio para que gire el tractor.
- 2. Capa superior con suficiente profundidad (al menos 20 cm).** Por lo general, no se recomienda eliminar más de 7-8 cm de tierra vegetal. Esto se debe a que puede conducir a una producción reducida, deficiencias de micronutrientes o exposición de un subsuelo altamente permeable.
- 3. Textura arcillosa.** Se necesitan texturas pesadas para soportar tractores e implementos durante la preparación y cosechadoras mecánicas durante la cosecha.

Si el suelo es muy arcilloso y compacto, riegue el campo 1-2 semanas antes de comenzar a trabajar y use equipo muy pesado para lograr una penetración superficial suficiente para

aflojar el suelo. En otros pisos, una vez que el campo esté inundado o el suelo se esté hundiendo sin soportar la máquina, ésta debería arrancar. Para otros suelos, se recomienda secar y nivelar solo bajo el agua. En este último caso, demasiadas pasadas por el equipo pueden causar problemas de hundimiento del tractor y la cosechadora, sin dejar una base sólida para la cosecha (Cheaney, 1998).

Equipos de fangueo

- Bueyes con vertederos o con rastras
- Tractores pequeños con vertederos y rastrillos
- Tractores pequeños con rototiller y rastra
- Tractores grandes con ruedas de tipo jaula (fangueadoras)
- Tractores grandes con rototillers y rastra de púas o rastras niveladoras de agua, de alce hidráulico.
- Combinaciones, de preparación en seco con implementos convencionales y nivelación en el agua con rastras de púas.

3.10. Evaluación de tipos de fangueo

En un estudio de Díaz (2018) realizado en el campo de los sistemas de riego de Catarama, en arroz INIAP-11, se evaluó el sistema de labranza de fangueo con un tractor agrícola FOTON y Topsail (Lote 1). El Lote No. 2 fue trabajo de charcos en monocultivador con motocultores. Los resultados basados en plantas por metro cuadrado para el Lote 2 dieron el valor más alto de 12,69%. En cuanto a la profundidad de la raíz, el Lote 2 fue más fácil de roscar con el Rotabotor y tuvo una profundidad del 22,85 %. Con un peso de 1000 granos, hay un rango de 39,72% entre el lote 1 y el lote 2, por lo que la diferencia es significativa a pesar del bajo número de plantas por metro cuadrado. También encontramos que el Lote 2 se desempeñó mejor debido a los mejores parámetros porcentuales tanto para la pérdida de humedad de cada artículo como para el proceso de apilamiento tiene mejores parámetros de porcentaje en cada una de los ítems cuantificables.



Figura 2. Fangueo

Fuente: Díaz (2018).

3.11. Conclusiones

- Los futuros esfuerzos de investigación sobre los sistemas de producción de arroz deberían conducir al desarrollo de estrategias prácticas de manejo integrado de cultivos que mejoren de manera eficiente, efectiva y económica la productividad y la producción de arroz en varios sistemas de producción de arroz en todo el mundo.
- El sistema de fangueo Rotabotor Mono-Cultivator se puede utilizar como una alternativa económica y viable para aumentar la productividad y reducir los costos de producción.

3.12. Bibliografía

Andrade, E. 2016. Creación de una empresa agrícola en la zona de Samborondón a la producción y comercialización del arroz y sus subproductos para el mercado de Cuenta (en línea). Guayaquil, s.e. 187 p. Disponible en <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3833/1/6360.pdf>.

Balasubramanian V, Hill JE (2002) Direct seeding of rice in Asia: Emerging issues and strategic research needs for the 21st century. In: Pandey S, Mortimer M, Wade L, Tuong TP, Lopez K, Hardy B (eds) Direct Seeding: Research Strategies and Opportunities. International Rice Research Institute, Los Baños, pp. 15–39.

Bhatia A, Ghosh A, Kumar V, Tomer R, Singh SD, Pathak H (2011) Effect of elevated tropospheric ozone on methane and nitrous oxide emission from rice soil in north India. *Agric Ecosyst Environ* 144:21–28.

Boling A, Tuong TP, Singh AK, Wopereis MCS (1998) Comparative root growth and soil water extraction of dry-seeded, wet-seeded, and transplanted rice in a greenhouse experiment. *Philipp J Crop Sci* 23:45–52.

Bouman BAM, Hengsdijk H, Hardy B, Bindraban B, Tuong TP, Ladha JK (eds) Proceedings of the International Workshop on Water-Wise Rice Production. International Rice Research Institute, Los Baños, pp 207–222.

Cheaney, R. (1998). El manejo del agua en sistemas de fangueo (en línea, sitio web). Disponible en http://ciat-library.ciat.cgiar.org/ciat_digital/CIAT/60433.pdf.

CIAT (2010) Global Rice Science Partnership (GRiSP). CGIAR Thematic Area 3: sustainable crop productivity increase for global food security. A CGIAR Research Program on Rice-Based Production Systems. November 2010. IRRI, Philippines, Africa Rice, Benin and CIAT, Colombia.

Cobos F, (2022). Identificación de líneas tolerantes en poblaciones segregantes de arroz como alternativa en el manejo sustentable de suelos degradados por salinidad. Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú, 153 pp. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5367>.

Corton TM, Bajita JB, Grospe FS, Pamplona RR, Assis CA, Wassmann R, Lantin RS, Buendia LV (2000) Methane emission from irrigated and intensively managed rice fields in Central Luzon (Philippines). *Nutr Cycl Agroecosyst* 58:37–53.

Delgado, C; Palomeque, J; Veliz, D. (2019). tesis de grado - Repositorio UTM -Universidad Técnica de Manabí (en línea, sitio web). Consultado 4 sep. 2020. Disponible en <https://www.yumpu.com/es/document/read/28100402/tesis-degrado-repositorio-utm-universidad-tacnica-de-manaba>.

Diaz, O. (2018). Comportamiento de la variedad de arroz INIAP-11 con dos tipos de fangueo en la zona del sistema de riego Catarama . Repositorio institucional – Universidad Técnica de Manabí Instituto de Posgrado.

Dobermann A, Fairhurst TH (2000) Nutrient disorders and nutrient management. Potash and Phosphate Institute/PPI of Canada and International Rice Research Institute, Singapore, p. 192.

Espín, A. (2018). Tipos de labranza - Agricultura de Conservación ACEP (en línea, sitio web). Disponible en <https://sites.google.com/site/agriculturadeconservacionacep/5-avisos-oanuncios/tiposdelabranza>.

GRiSP (Global Rice Science Partnership) (2013) Rice almanac, 4th edn. International Rice Research Institute, Los Baños, p. 283.

Harada H, Hitomi K, Hayato S (2007) Reduction in greenhouse gas emissions by no-tilling rice cultivation in Hachirogata polder, northern Japan: Life-cycle inventory analysis. *Soil Sci Plant Nutr* 53:668–677.

IRGA (2015). Sistemas de cultivo. Available at: http://www.irga.rs.gov.br/upload/20150806112855soja_em_rotacao_com_arroz.pdf.

Kumar V, Ladha JK (2011) Direct seeding of rice: recent developments and future research needs. *Adv Agron* 111:297–413.

Ladha JK, Kumar V, Alam MM, Sharma S, Gathala M, Chandna P, Saharawat YS, Balasubramanian V (2009). Integrating crop and resource management technologies for enhanced productivity, profitability, and sustainability of the rice-wheat system in South Asia. In: Ladha JK, Singh Y, Erenstein O, Hardy B (eds) *Integrated crop and resource management in the rice–wheat system of South Asia*. International Rice Research Institute, Los Baños, pp. 69–108.

Ladha JK, Rao AN, Raman AK, Padre AT, Dobermann A, Gathala M, Kumar V, Saharawat Y, Sharma S, Piepho HP, Alam MM, Liak R, Rajendran R, Reddy CK, Parsad R, Sharma PC, Singh SS, Saha A, Noor S (2015) Agronomic improvements can make future cereal systems in South Asia far more productive and result in a lower environmental footprint. *Glob Chang Biol* 22:1054–1074.

Linquist B, van Groenigen KJ, Adviento-Borbe MA, Pittelkow C, van Kessel C (2012) An agronomic assessment of greenhouse gas emissions from major cereal crops. *Glob Chang Biol* 18:194–209.

Mackill DJ, Ismail AM, Kumar A, Gregorio GB (2010) The role of stress-tolerant varieties for adapting to climate change. Based on a paper from the CURE Workshop on Climate Change, Siem Reap, Cambodia, 4 May 2010.

Macleán JL, Dawe D, Hardy B, Hettel GP (2002) Rice Almanac, 3rd edn. CABI Publishing, Wallingford.

Martin, J. (2018). Labranza en la Agricultura - EcuRed (en línea, sitio web). Disponible en https://www.ecured.cu/Labranza_en_la_Agricultura.

Moquete, C. (2017). Guía Técnica El Cultivo de Arroz. Santo Domingo, República Dominicana, CEDAF, (Cultivos No. 37). 166 p.

Moreno, A. (2014). EL ESTABLO: EL ROME PLOW (en línea, sitio web). Disponible en <http://elestabloblogdelcampo.blogspot.com/2012/05/el-rome-plow.html>.

Pandey S, Velasco LE (1999) Economics of alternative rice establishment methods in Asia: a strategic analysis. In: Social Sciences Division Discussion Paper, International Rice Research Institute, Los Baños.

Pérez, H; Rodríguez, I. (2018). Cultivos Tropicales de Importancia Económica en Ecuador (Arroz, Yuca, Caña de azúcar y Maíz). Machala, UTMACH. 242 p.

Raimondi JV, Marschalek R, Nodari RO (2014) Genetic base of paddy rice cultivars of Southern Brazil. *Crop Breed Appl Biotechnol* 14:194–199.

Rao AN, Nagamani A (2007) Available technologies and future research challenges for managing weeds in dry-seeded rice in India. In: Proceedings of 21st Asian Pacific Weed Science Society Conference from 2 to 6 October 2007, Colombo, pp 391–491.

Reiner W, Aulakh MS (2000) The role of rice plants in regulating mechanisms of methane emissions. *Biol Fert Soils* 31:20–29.

Reyes Borja, W. O., Zamora Morejón, B. J., Ruilova Cueva, M. B., Cobos Mora, F. J., & Espinoza Espinoza, F. G. (2020). Calidad molinera de 40 líneas avanzadas f6 de arroz (*Oryza sp.*) cultivadas en dos zonas arroceras del Ecuador. *Journal of Science and Research*, 5(CININGEC), 267–274. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/1012>.

Ruiz, M; Muñoz, Y; Dell'Amico, JM; Polón, R. (2016). Manejo del agua de riego en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) por trasplante, su efecto en el rendimiento agrícola e industrial. *Cultivos Tropicales* 37(3):178-186. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2649.8800>.

SAG. (2017). MANUAL TÉCNICO PARA EL CULTIVO DE ARROZ. (*Oryza Sativa*) (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el-cultivo-del-arroz.pdf>.

Suzanne KR, Nadine A, Binamira JS. (2012). Rice in Southeast Asia: facing risks and vulnerabilities to respond to climate change. In: Meybeck, A., Lankoski, J., Redfern, S., Azzu, N. and Gitz, V. (eds) Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector. Food and Agriculture Organization of the United Nations Organisation for Economic Co-operation and Development, Rome, 295-314.

Tuong TP, Bouman BAM (2003) Rice production in water-scarce environments. In: Kijne JW, Barker R, Molden D (eds) Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement. CABI Publishing, Wallingford, UK. pp 53-67

Tyagi L, Kumari B, Singh SN (2010) Water management – A tool for methane mitigation from irrigated paddy fields. *Sci Total Environ* 408:1085-1090.

USDA (2016) Rice Outlook/RCS-16D/April 14. (2016). Economic Research Service, USDA, United States Department of Agriculture, U.S.A.

Valero, M. (2020). Sistemas de mecanización de suelos arroceros y sus efectos degradativos sobre la producción de arroz” . Repositorio institucional – Universidad Técnica de Babahoyo. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/8420/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000270.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Wassmann R, Neue HU, Ladha JK, Aulakh MS (2004) Mitigating greenhouse gas emissions from rice-wheat cropping systems in Asia. *Environ Sustain Dev* 6:65-90.

Zambrano, R. (2015). Los Mera ponen su sello en ruedas para ‘fangueo’ (en línea, sitio web). 2020. Disponible en <https://www.eluniverso.com/noticias/2014/08/30/nota/3601416/mera-ponen-susello-ruedas-fangueo>.

Capítulo IV. Trasplante mecánico en arroz.

David Mayorga Arias

Universidad Técnica de Babahoyo
<https://orcid.org/0000-0002-4240-4260>

Orlando Díaz Romero

Universidad Técnica de Babahoyo
<https://orcid.org/0000-0002-1469-642X>

Pedro José Rodríguez Gómez

Universidad Técnica de Babahoyo
<https://orcid.org/0000-0003-4805-1459>

Marlon González Chica

Universidad Técnica de Babahoyo
<https://orcid.org/0000-0001-6945-5175>

4.1. Introducción

Entre los cereales, el arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los principales cultivos del mundo, ya que es un alimento básico en la dieta humana (Cobos *et al.*, 2020). Los productores de arroz cultivan arroz a mano o siembra directa (Kumar *et al.*, 2017). El trasplante manual es más popular entre los agricultores porque produce rendimientos relativamente más altos y requiere más mano de obra y energía que la labranza cero (Verma, 2010). En promedio, los métodos tradicionales de siembra de arroz requerían 238 horas de mano de obra por hectárea (Dixit y Khan, 2011).

La mano de obra en la producción de arroz representa un valor importante en los costos de producción (Clayton, 2010). Décadas de cultivo continuo de arroz inundado debilitan las propiedades físicas del suelo a través de la degradación estructural de los agregados del suelo, los poros capilares y la dispersión de la arcilla, lo que limita la germinación y el enraizamiento de los cultivos posteriores (Tomar *et al.*, 2006). Recientemente, muchos estudios han destacado los desafíos del trasplante manual en suelos inundados, las enormes disparidades de rendimiento en comparación con otras técnicas establecidas (Lobell *et al.*, 2009) y la baja eficiencia en el uso de agua y nutrientes (Humphreys *et al.*, 2010), emisión en gases de efecto invernadero (Wassmann *et al.*, 2004), aumento de la escasez de mano de obra (Devkota *et al.*, 2019a,b) aumenta de los salarios (Bandumula *et al.*, 2018) destaca los impactos significativos de estas prácticas. Combinados estos problemas, han aumentado la

carga de trabajo de los productores (Akter *et al.*, 2017), lo que ha resultado en mayores costos de producción y menor rentabilidad (Ditzler *et al.*, 2018).

4.2. Requerimientos agro-ecológicos para el cultivo de arroz

La alta productividad requiere temperaturas relativamente altas, suficiente exposición al sol y un buen suministro de agua durante la temporada de crecimiento del arroz (entre 3 y 5 meses). La temperatura, la insolación y la precipitación afectan directamente los procesos fisiológicos en las plantas de arroz, de alguna manera afectan la producción de granos e indirectamente afectan la presencia de plagas y enfermedades de las plantas. Sin embargo, el suelo debe ser adecuado para el cultivo y debe tener suficiente capacidad de retención de agua y propiedades de disponibilidad de nutrientes. (SAG, 2003).

El arroz se adapta a una amplia variedad de condiciones del suelo. Sin embargo, las condiciones ideales para una buena cosecha son: pH 6,0 – 7,0. Buen contenido de materia orgánica >5%, buena capacidad de intercambio catiónico, buen contenido de arcilla >40%, terreno llano, capa arable profundo >25 cm y buen drenaje superficial (INIAP 2007).

Amador y Bernal (2012) encontraron que los suelos arcillosos cumplen con estas propiedades y están compuestos por arcilla expandida o arcilla 1:1 en muchas regiones del Sudeste Asiático, América del Sur y África, tienen altas tasas de expansión lineal, retención de agua y contenido de nutrientes, indica que es alto. El riego, el drenaje y la fertilización correctamente gestionados, aumentan el potencial de producción. La labranza es complicada dado a su alta adhesividad, plasticidad y tiene un alto contenido de humedad, por lo que es difícil de cultivar. La modificación de estos suelos permite el riego y drenaje adecuados para el cultivo de arroz en condiciones de inundación y para la producción de maíz, sorgo y soya.

Temperatura y radiación solar

La temperatura afecta no solo el crecimiento del arroz sino también el desarrollo. Para el cultivo de arroz, la temperatura crítica es inferior a 20°C y superior a 32°C. Valores entre 23 y 27°C se consideran temperaturas óptimas para la germinación, crecimiento de tallos, hojas y raíces. Las temperaturas más altas hacen que el arroz se desarrolle rápidamente, pero el tejido es demasiado blando, lo que lo hace más susceptible a las enfermedades (INIAP 2007).

Por otro lado, la temperatura baja afecta negativamente la diferenciación de células germinales y por lo tanto provoca una alta esterilidad de las espiguillas. Esto es muy

importante durante la etapa de "brote", 14-7 días antes de que florezcan las plántulas. El clima húmedo, la densa nubosidad y las bajas temperaturas afectan la polinización, lo que resulta en una mayor esterilidad de las espiguillas y menores rendimientos de grano. Por otra parte, la producción de cereales tanto tropicales como templadas está determinada principalmente por la radiación solar (SAG, 2003).

Nivelación de suelos

Para obtener todos los beneficios del riego, se deben controlar los niveles de agua y este control solo se puede lograr si la parcela es adecuada. Lo apropiado es nivelar el terreno cortando y rellenando para formar terrazas de forma regular o para seguir líneas de contorno. En el caso de desmontes de más de 15 centímetros de profundidad, se pierde la capa de suelo fértil formada por microorganismos y minerales (INIAP 2007).

Esta pérdida obliga a los agricultores a aplicar más fertilizantes, lo que aumenta los costos para los productores. Para evitar grandes movimientos de tierra, lo que no es muy económico para el fabricante, se recomienda ajustarlos a las curvas de nivel y luego nivelar las terrazas o terrazas. La diferencia de altura entre las dos curvas debe ser como máximo de unos 20 cm. Es importante tener en cuenta la altura de la tabla. Se recomienda una tabla baja de unos 45 centímetros para que la máquina pueda pasar con facilidad. (OET, 2006)

Preparación de suelos

La preparación del suelo es fundamental para el éxito del trasplante mecanizado. Se requiere la nivelación del terreno. Si la humedad del suelo lo permite, se realiza un un pase de rastra con el fin de incorporar rastrojos de la cosecha anterior. Luego se humedece para permitir la germinación y el agotamiento. Aproximadamente 10 días después, se inunda la terraza con el fin de realizar el fanguero o pases de roto cultivador. Al último pase de fanguero o roto cultivador, se le adicionará un tubo detrás del tractor para homogenizar el terreno.

Esta preparación debe hacerse con un tractor liviano para que el suelo no se profundice. Después del acondicionamiento, se debe remojar durante unos 10 días para permitir que el suelo se asiente, evitar la lixiviación, la pérdida y eliminar mejor la materia orgánica del rastrojo (Álvarez, 2011).

Elaboración de semillero

Agrocalidad en la Guía de Buenas Prácticas Agrícolas para el Arroz, la Resolución 029 establece las siguientes disposiciones para la preparación del semillero:

Artículo 12- Preparación del semillero.

- a) La calidad del semillero depende de la correcta selección de los materiales utilizados. Esto también debe hacerse con semillas certificadas.
- b) Las variedades a sembrar deben determinarse en función de las condiciones agroecológicas locales, la demanda del mercado y las características agronómicas de la parcela.
- c) El establecimiento de semilleros deben tener un terreno plano con mínima infestación de plagas para optimizar el crecimiento de las plántulas.
- d) La densidad de siembra debe ajustarse para obtener plantas sanas.
- e) Se debe realizar un monitoreo regular de plagas para establecer un control oportuno y mitigar el daño.
- f) Debe llevar registros de las semillas utilizadas en la producción de arroz.
- g) A criterio del técnico a cargo, se recomienda utilizar procedimientos de desinfección de semilleros con productos registrados por Agrocalidad.
- h) Si se implementan métodos de aplicación de conservantes a las semillas, se deben utilizar productos aprobados por la autoridad competente (Agrocalidad, 2015).

El sistema de trasplante puede reducir la cantidad de agua necesaria para el arroz. Dado que las semillas están en el área de semilleros durante los primeros días, se cultivan en grandes cantidades en un ambiente semicontrolado con un consumo mínimo de agua, a diferencia de los campos que requieren una humidificación continua para germinar las semillas destinadas a producir semillas con la cantidad de agua requerida (CSISA, 2017).

Según Alarcón (2004), el sustrato es el medio en el que se desarrolla el sistema radicular del cultivo. Sus funciones básicas incluyen proporcionar agua y nutrientes, permitir el intercambio de gases con las raíces y apoyar a las plantas. Además de otros requisitos específicos, si se planea el trasplante mecanizado, se mejora la eficiencia del operador cargando semilleros en el equipo trasplantador, lo que se traduce en mayores rendimientos (ha sembrada por día), para que esto sea posible, el sustrato debe ser liviano. La siembra manual permite utilizar el suelo directamente como sustrato para el desarrollo hortícola. Sin

embargo, la adición de materia orgánica (MO), ceniza de cascarilla de arroz, etc. facilita el desprendimiento de las plántulas y su trasplante al lote final.

Al elegir un sustrato, no solo se deben considerar las propiedades físicas (porosidad total, capacidad de retención de agua, densidad aparente), sino también los aspectos químicos y nutricionales. Una mezcla a partes iguales de suelo tamizado y ceniza de cascarilla de arroz es un sustrato adecuado para el desarrollo del semillero. Ambas materias primas están fácilmente disponibles en las regiones productoras de arroz de la región y son asequibles para los productores. El suelo usado en la mezcla tiene preferiblemente una textura franco arenosa, franco o franco arcillosa. Usar arena no es una buena idea, ya que la arena retiene mal el agua y los nutrientes. Tampoco se recomienda usar suelo arcilloso, ya que se saturará demasiado e impedirá el crecimiento de las raíces. (Moreira, 2018).

Siembra o trasplante

Las densidades de siembra de golpes por m² varían de 16 a 25 con un número aproximado de plantas de 4 a 8 plántulas por golpe. Esto depende de las características del terreno y su capacidad de macollamiento. Los agricultores entrevistados optaron por densidades de siembra más altas. Es decir, 35 plántulas por metro cuadrado y 6-7 plántulas por plántula para garantizar una población (teniendo en cuenta la mortalidad por factores desfavorables). Cuando el estanque de plantación se seca, se deben reemplazar las plántulas de la misma edad. Si el retoño tiene más de 30 días, deberá plantar más retoños de una sola vez. Si el terreno es salado, se necesitará más, dependiendo del grado de salinidad presente (Joiríos, 2015).

Agrocalidad en la Guía de Buenas Prácticas Agrícolas para el Arroz, la Resolución 029 establece las siguientes disposiciones para la siembra o trasplante:

Artículo 13 [Plantación o Trasplante]

- a) La siembra directa y/o el trasplante deben utilizar métodos (manuales o mecánicos) y densidades adecuadas según las recomendaciones del obtentor del material genético.
- b) Solo se deben utilizar semillas certificadas por una autoridad competente para garantizar la variedad y la pureza física, la germinación y el vigor de las semillas.
- c) No utilizar semilla de cosechas anteriores.

d) Si las plantas se compran fuera de la finca para trasplante, deben ser de viveros aprobados por la autoridad competente y deben contar con una guía de movilización.

e) Deben registrarse las actividades de plantación o trasplante.

f) Si se utiliza maquinaria agrícola, esta debe estar en condiciones razonables y sanitizada antes de ingresar a la plantación y debe registrarse esta actividad. (Agrocalidad, 2015)

4.3. Trasplante mecanizado

En Japón, las trasplantadoras manuales de arroz se utilizaron en la década de 1950, se desarrollaron varios diseños en la década de 1960 y la primera máquina se patentó en 1980. En los años 70 comenzó a generalizarse la trasplantadora con motor y el mercado para la trasplantadora manual se fue perdiendo (Lantin, 1985)

En China, el desarrollo de las máquinas plantadoras ha pasado por tres etapas. El Primer Estado de Exploración y Creación (1953-1960). El segundo estado de diseño y operación de maquinaria motOryzada (de 1961 a 1969) y el tercer estado de la difusión de maquinaria de plantación manual o motOryzada a partir de 1970 (Qiang, 1985).

En Filipinas, el IRRI realizó un estudio en 1977 y observó que el trasplante motOryzado era demasiado costoso, por lo que se propusieron desarrollar un nuevo tipo de trasplantadora manual basada en el diseño chino de trasplantadoras de cinco hileras. Se modificó en 1982 para tener 4-6 hileras y se popularizó en 1984 (Salazu *et al.*, 2018).

Las trasplantadoras IRRI se generalizaron en Birmania, con 4.000 trasplantadoras manuales en uso en 1985 (Thein, 1985). En Corea, el Instituto de Investigación de Mecanización fabricó un prototipo de trasplantadora manual de cinco hileras en 1967, después de lo cual se probaron otros modelos y para 1984 se habían vendido 31 000 trasplantadoras (Ryu, 1985).

Esta actividad utiliza 2, 4 u 8 hileras de jardineras, separadas 29 cm entre sí. Estas máquinas realizan la plantación colocando e introduciendo la planta en el suelo con agujas especiales colocadas a una distancia de 18, hasta 27 cm, 2-3 plantas por área, si se desea. La planta tiene condiciones óptimas para trasplantar 15-20 cm de altura 20-25 días después de la siembra. De esta manera, se aumenta la eficiencia de la máquina, las plántulas se fijan y enraízan fácil y rápidamente en el suelo. El rendimiento medio de la máquina es: Una máquina de gasolina de 2 hileras trasplantará 1 hectárea en 18 horas, una máquina de

gasolina de 4 hileras trasplantará la misma área en 9 horas, una máquina de 8 hileras trasplantará 4 horas y 1 hectárea. 30 minutos por hectárea (SARH, 1993).

La tecnología de plántulas de arroz de bandeja ha ido bien y las plántulas aptas para trasplantar se produjeron con una tasa de germinación del 98 %. La trasplantadora ISEKI, que logra una eficiencia de siembra de arroz del 99 %, 1,20 ha de productividad laboral por día y 10 l/ha de consumo de combustible, es la máquina más adecuada para el cultivo masivo de arroz y la agricultura arrendataria con la condición de que el trasplante se realice manualmente. (Hernández *et al.*, 2016).

La técnica de semillero en bandejas (Figura 1) utilizó un sustrato compuesto que contenía 60% tierra vegetal, 35% humus de lombriz y 5% paja de arroz, con 150 g de semillas de 7 cultivares por bandejas y 22 días posteriores altura 205.2 mm; 3 hojas por planta y promedio diámetro 1,50 mm. Las plántulas se plantaron en dos hileras en una terraza de 12 000 x 8 000 mm con un marco de plantación de 250 x 300 mm. Las plántulas se plantaron a una profundidad promedio de 45 mm. Como resultado de la evaluación de la trasplantadora, la productividad de la labranza fue de 0,1 ha/h, la velocidad de trabajo fue de 0,6 m/s y el consumo de combustible fue de 10 l/ha. (Hernández *et al.*, 2016).



Figura 1. Semillero en bandejas
Fuente: Mayorga, (2018).

Las principales ventajas que tuvo el uso de la tecnología de trasplante con trasplantador manual sobre las técnicas de trasplante convencionales son: La portabilidad manual reduce las horas de mano de obra y los costos en un 76 %. Socialmente hablando, las máquinas han

humanizado hasta cierto punto la tarea más difícil del cultivo del arroz, que es la siembra manual del arroz. (Crucero *et al.*, 2006).

Se realizó una toma de tiempos para determinar el promedio que le tomaría a una persona realizar una tarea de trasplante de 500 m² y el resultado fue de 4 horas y 12 minutos (Alegría-Ríos, 2015). Esto equivale a un promedio de 84 horas por hectárea, como puede verse en la Tabla 1.

Tabla 1. Estimado de tiempo por persona en las labores de trasplante

Trabajador	Hora Inicio	Hora fin	Tiempo (h:min)
1	07:05 am	11:19 am	04:14
2	07:25 am	10:47 am	03:22
3	07:25 am	11:19 am	03:54
4	07:25 am	11:28 am	04:03
5	07:25 am	11:32 am	04:07
6	07:25 am	11:33 am	04:08
7	07:25 am	11:33 am	04:08
8	07:25 am	11:33 am	04:08
9	07:25 am	11:45 am	04:20
10	07:25 am	11:47 am	04:22
11	07:25 am	11:49 am	04:24
12	07:25 am	11:52 am	04:27
13	07:25 am	11:52 am	04:27
14	07:25 am	11:58 am	04:33
15	07:25 am	11:58 am	04:33
16	07:25 am	11:58 am	04:33
17	07:25 am	12:09 pm	04:44
18	07:25 am	12:09 pm	04:44
19	07:25 am	12:09 pm	04:44
20	07:35 am	11:09 am	03:34
21	07:35 am	11:09 am	03:34
22	07:35 am	11:19 am	03:44
23	07:35 am	11:19 am	03:44
24	07:35 am	11:34 am	03:59
25	07:35 am	11:45 am	04:10
26	07:35 am	11:45 am	04:10
27	07:35 am	11:45 am	04:10
28	07:35 am	11:49 am	04:14
29	07:35 am	11:50 am	04:15
30	07:35 am	11:51 am	04:16
31	07:35 am	11:53 am	04:18
32	07:35 am	11:53 am	04:18
33	07:35 am	11:53 am	04:18
34	07:35 am	12:01 pm	04:26

Fuente: Alegría-Ríos (2015)

Como resultado, las técnicas de control de malezas con labranza cero a lo largo de las sembradoras y rastras manuales en suelos anegados dieron como resultado un ahorro de semillas del 31 % y una mejor calidad y rendimiento en el mismo cultivo en comparación con la siembra amplia convencional con mayor esfuerzo. Aumento de la productividad del 33% al 50%, el número de horas laborables, el rendimiento agrícola y los ingresos en un 45%. Las operaciones de deshierbe fueron más de cuatro veces más productivas, con un 111 % más de ganancias y un 19 % menos de costos. Las sembradoras y las desbrozadoras rotativas también se pueden construir fácilmente en talleres y herrerías cerca de fincas especiales de producción de arroz (Cruz *et al.*, 2006).



Figura 2. Trasplante mecanizado

Fuente: Mayorga (2018).

4.4. Índices tecnológicos explotativos.

La mecanización de los sistemas de producción agrícola facilita el trabajo de los agricultores, los complejos mecanizados son de gran importancia en el contexto moderno del desarrollo y crecimiento económico agrícola. Por este motivo, la productividad y la eficiencia de las nuevas máquinas, como las que se utilizan en la producción de alimentos, juegan un papel importante. Para lograrlos, es necesario buscar alternativas que permitan a los productores aumentar los rendimientos y reducir los costos mediante el uso racional de los recursos

suelo, agua y cobran especial importancia otros medios mecanizados de planificación, manejo y aprovechamiento (Gutiérrez, 2004).

Una estrategia útil para abordarlos es establecer un sistema de indicadores que puedan medir la eficacia de la gestión y el uso de la maquinaria utilizada en el proceso de producción. El interés por sus observaciones y aplicaciones ha llevado a los institutos de investigación, a la introducción de métodos de mecanización más avanzados para influir en la mejora de la productividad agrícola y a la necesidad de los agricultores para lograr un uso más eficiente de los medios mecánicos disponibles, lo que puede explicarse por su utilidad. Es bien sabido que la mecanización de los flujos de trabajo durante los procesos productivos agrícolas la realizan los conjuntos de máquinas que representan (Gutiérrez Rodríguez, 2004).

Según Orlov (1975), la eficacia de un conjunto tractor-máquina depende de las características de funcionamiento del tractor y la máquina o implemento agrícola y de su correcta interacción. 0,92 (en máquinas con cuerpo de trabajo activo), dependiendo de las condiciones y propiedades de los materiales utilizados en su producción, ya que existen indicadores como la seguridad operacional.

Bondarenko (1975) afirma que un alto factor de utilización significa una alta productividad en el desempeño de la maquinaria agrícola, es decir una gran cantidad de trabajo de calidad constante por unidad de tiempo.

En la situación actual, dada la creciente generación de nuevas técnicas agrícolas, por cada hectárea de tierra cultivada se pueden obtener más productos con menos mano de obra y medios, reduciendo los costes de producción, incluso se consiguen rendimientos más productivos organizando los medios mecanizados utilizados en el sector agrícola (Delgado, 1995).

Como ya se mencionó, la importancia de esto último se puede juzgar, entre otras cosas identificando los indicadores de utilización técnica de los conjuntos de maquinaria de tractor utilizados en varios sistemas de producción agrícola. La metodología para su determinación y la relativa sencillez de los resultados obtenidos a partir de ella son de gran utilidad (Gutiérrez Rodríguez, 2004).

El sistema automático TECEXP determina indicadores de eficacia técnica de máquinas agrícolas y forestales, a partir de mediciones de tiempo realizadas en máquinas probadas en condiciones de campo, según la norma NC 34-37. Resultado de cada turno de control

considerando cantidad de trabajo realizado, balance de tiempos (limpio, operativo, producción, turno, explotación), productividad de 8 horas por hora, consumo de combustible por unidad de trabajo realizado. Tiempo de desarrollo, tiempo de eliminación de errores técnicos, factor de seguridad técnico, factor de utilización de la producción y tiempo de utilización.

Además, proporcionamos una descripción general de los índices clave del cambio de control, esto determina cuántas veces se repite el número según el código y el tiempo total dedicado a ello. Finalmente, determinamos un índice técnico general para evaluar la máquina bajo prueba según el número de cambios de control realizados (De la Cuevas *et al.*, 2008).

El mismo autor señala que se calculan indicadores básicos que caracterizan la evaluación técnica y el uso de la maquinaria agrícola.

Productividad por hora de tiempo limpio

$$1) W_{1} = \frac{Q}{T_1}$$

Donde:

W_1 : Productividad por hora de tiempo limpio

Q: Volumen de trabajo realizado con la máquina, ha, kg, otros;

T_1 : Tiempo de trabajo limpio, h.

Productividad por hora de tiempo operativo

$$2) W_{02} = \frac{Q}{T_2}$$

Donde:

W_{02} : Productividad por hora de tiempo operativo

Q: Volumen de trabajo realizado con la máquina, ha, kg, otros;

T_{02} : Tiempo operativo en horas

Productividad por hora de tiempo productivo

$$3) W_{04} = \frac{Q}{T_{04}}$$

Donde:

T₀₄: Tiempo productivo en horas

Productividad por hora de tiempo de explotación

$$4) W_{07} = \frac{Q}{T_{07}}$$

Donde:

T₀₇: Tiempo de explotación en horas

Gasto de combustible por unidad de trabajo realizado

$$5) C_e = \frac{C}{Q}$$

Donde:

C: Gasto de combustible durante la realización del volumen de trabajo en litros

Gasto de combustible por hora de tiempo explotativo

$$6) C_h = \frac{C}{Q}$$

Donde:

C_h: Combustible gastado por hora de tiempo de explotación en litros/hora

Coefficiente de pase de trabajo

$$7) K_{21} = \frac{T_1}{T_1 + T_{21}}$$

Donde:

T₂₁: Tiempo de viraje en horas

Coefficiente de seguridad tecnológica

$$8) K_{41} = \frac{T_1}{T_1 + T_{41}}$$

Donde:

T₄₁: Tiempo de eliminación de fallos tecnológicos en horas

Coefficiente de seguridad técnica

$$9) K_{42} = \frac{T_1}{T_1 + T_{42}}$$

Donde:

T₄₂: Tiempo para eliminar fallos técnicos en horas.

Coefficiente de utilización del tiempo productivo

$$10) K_{04} = \frac{T_1}{T_{04}}$$

Coefficiente de utilización del tiempo de explotación

$$11) K_{07} = \frac{T_1}{T_{07}}$$

4.5. Impacto del trasplante mecánico

El trasplante mecánico de arroz (TMA) es un método de siembra de bajo costo en comparación con los métodos tradicionales. La principal razón para emplear máquinas es la escasez de mano de obra y el alto costo asociado al trasplante manual (CSISA, 2017). A continuación, se muestran los efectos que se pueden producir mediante el uso de esta técnica.

Impacto en la población de plantas

La plantación óptima es uno de los factores más importantes para lograr rendimientos máximos. El trasplante manual utiliza plántulas de 30 a 40 días de edad con raíces desnudas, mientras que el trasplante mecánico utiliza plántulas lavadas con raíces y montadas en el suelo. El suelo asociado a las plántulas actúa como un componente aglutinante, ayudando a mantener la uniformidad, el establecimiento de las plántulas, minimizando el daño del trasplante y controlando la flotabilidad, que son criterios importantes para el trasplante mecánico. Trasplantar a profundidades y distancias apropiadas puede ayudar a mantener poblaciones óptimas para métodos mecánicos (Singh y Vatsa, 2006). El trasplante mecánico

parece ser el método más apropiado para lograr poblaciones de plantas óptimas para aumentar el rendimiento y reducir la mano de obra (Tripathi *et al.*, 2004).

Impacto sobre los atributos de crecimiento

Se ha demostrado que trasplantar en el momento, la profundidad y la distancia adecuados con una trasplantadora mecánica promueve un establecimiento rápido, lo que promueve la división y expansión celular, lo que da como resultado plantas más altas en comparación con los métodos tradicionales (Kang *et al.*, 2019). Los trasplantes debidamente espaciados y oportunos por medios mecánicos promueven la aparición y reproducción de las hojas.

Más hojas y un área foliar más grande finalmente ayudan a sintetizar más fotosíntesis, lo que ayuda a una mayor acumulación de materia seca (Kang *et al.*, 2019). El trasplante de plántulas de 25 días es ideal para una mejor distribución de materia seca a las panículas, seguido de tallos y hojas (Vijayalaxmi *et al.*, 2016).

Impacto sobre los atributos de rendimiento

Entre los atributos de rendimiento, el número de macollos efectivos m^2 , la longitud de la panoja, el número de granos llenos y el peso de la panoja son los parámetros dominantes que contribuyen al rendimiento de grano. Y el macollamiento efectivo m^2 , ya que las plántulas jóvenes (<25 días de edad) se trasplantan a la distancia y profundidad correctas para minimizar los daños durante el trasplante e inducir el establecimiento temprano y los factores de desecación. Los números máximos se obtienen en arroz trasplantado mecánicamente (Manjunatha *et al.*, 2009) . El trasplante mecánico mejora el número de panojas y el grano fértil (Sheeja *et al.*, 2012).

Impacto sobre el rendimiento de grano

El rendimiento final es la contribución colectiva de los factores de rendimiento, cuanto mayor sea el atributo de rendimiento, mejor será el rendimiento. Se observaron mayores rendimientos con el trasplante mecánico en comparación con los métodos convencionales. Esto se debe al trasplante de plántulas jóvenes con suficiente espacio y profundidad, lo que hace un uso adecuado de los recursos de crecimiento y permite una mejor translocación de los fotoasimilados, lo que resulta en una mayor productividad (Kumar *et al.*, 2012).

Impacto en la economía

El éxito o el fracaso de una tecnología depende de su economía, en el método convencional de plantación de arroz, se necesita tiempo y esfuerzo para preparar el suelo para el cultivo

de plántulas, extraer las plántulas, transportarlas al campo principal y volver a plantar con máquinas (Sreenivasulu *et al.*, 2014).

El trasplante mecánico es más rentable debido a que las densidades de población son más altas, lo que genera mayores rendimientos (Farooq *et al.*, 2001). El ahorro en costos de mano de obra por un lado y mayores rendimientos por el otro contribuyeron al aumento en el rendimiento total, el rendimiento neto y el beneficio costo (Sheeja *et al.*, 2012). Mohanty y Barik (2010) también informaron una relación costo-beneficio incremental del 34,46 % para los métodos mecánicos en comparación con los métodos de implantación manual.

Investigaciones realizadas

Los métodos de trasplante manual dan como resultado poblaciones bajas de plantas, lo que obliga a los agricultores a usar fertilizantes nitrogenados suplementarios para mejorar el macollamiento, lo que generalmente genera múltiples tensiones biológicas y en última instancia, el rendimiento disminuirá. Gill y Walia (2013) afirmaron que los determinantes del rendimiento, como la longitud de la panícula y el peso de 100 granos, fueron estadísticamente equivalentes entre los diferentes métodos de establecimiento del arroz, pero el número de granos en una panícula fue significativamente mayor con el arroz trasplantado a máquina.

Manjunatha *et al.*, (2009) mostraron resultados satisfactorios para una trasplantadora mecánica, con 3 días-hombre suficientes para trasplantar 1 hectárea en comparación con los 33 días-hombre de los sistemas de trasplante convencionales. Manesh *et al.*, (2013) observamos un aumento en el rendimiento de grano al usar sembradoras autopropulsadas con operador a pie y con tracción total en comparación con los métodos convencionales.

Baldev *et al.*, (2013) observaron una ventaja de rendimiento de 3 a 11 % con el trasplante mecánico en comparación con el arroz trasplantado convencionalmente. Pasha *et al.*, (2014) también utilizaron trasplantadoras yangi de 8 hileras en comparación con las trasplantadoras convencionales debido a su mayor capacidad de macollamiento y mayor número de panículas integrales y tamaño de panículas. Gangwar *et al.*, (2008) encontraron un mayor contenido de materia seca en los brotes y raíces de arroz en la siembra en tambores en lecho húmedo en comparación con el trasplante manual o mecánico. Las raíces en arroz con espacios más grandes que crecen mecánicamente tienen una competencia mínima con los métodos convencionales, por lo que el crecimiento se activa mediante la exposición a la luz

solar, lo que crea suficiente espacio para el desarrollo del dosel (Rajesh y Thanunathan, 2003).

Pasha *et al.*, (2014) observaron la panícula más larga (23,61 cm) y el número más alto por panícula (156) con trasplante mecánico en comparación con semillas redondas, semillas de tambor y métodos de trasplante convencionales.

Sreenivasulu *et al.*, (2014) informaron que el trasplante mecánico ayudó a mejorar los atributos de rendimiento, a saber, el número de brotes de las plántulas, la longitud de la panícula, el número de panículas y el peso específico del arroz.

Se obtuvieron mayores rendimientos de 200–240 kg por hectárea con trasplante mecánico en comparación con el trasplante manual con la misma tasa de entrada (Farooq *et al.*, 2001). Singh y Vatsa (2006) también encontraron una ventaja de rendimiento del 30-35% con métodos mecánicos en comparación con el trasplante manual. El aumento de 5,71% y 3,80% en el rendimiento para el trasplante mecánico en comparación con la siembra manual y circular (Yao *et al.*, 2000) sugiere que el macollaje más temprano, resultó en más panículas. y un crecimiento más lento de las hojas. reducción de área.

Singh *et al.*, (2006) encontraron que entre los diferentes métodos de trasplante de arroz, el método mecánico superó al manual, la semilla seca directa y la siembra húmeda directa en un 23,04 %, 36,92 % y 62,80 %, y reportó que proporcionó mayor rendimiento de grano respectivamente.

La mayor mano de obra involucrada en la preparación del semillero, el transporte y la siembra finalmente aumentó el costo total del cultivo manual en 60%, reduciendo los costos de producción en un 27% y aumentando las ganancias en un 36% ha (Uprety *et al.*, 2010).

4.6. Conclusiones

Como la siembra tradicional de arroz requiere más mano de obra, el trasplante mecanizado se puede utilizar con éxito como una alternativa económica y viable para lograr una mayor productividad y reducir los costos en la agricultura.

4.7. Bibliografía

Agrocalidad. (2015 de marzo de 2015). Guía de buenas prácticas agrícolas para arroz resolución 029. Inocuidad de los alimentos. Quito, Pichincha, Ecuador: Ministerio de

Agricultura. Obtenido de http://www.agrocalidad.gob.ec/agrocalidad/images/pdfs/InocuidadAlimentaria/RESOLUCION_108_AGRICOLA.pdf.

Akter, S., Rutsaert, P., Luis, J., Htwe, N.M., San, S.S., Raharjo, B., Pustika, A., 2017. Women's empowerment and gender equity in agriculture: a different perspective from Southeast Asia. *Food Policy* 69(C), 270–279.

Alarcón, A. (2004). Introducción a los cultivos sin suelo. Curso de fertirriego: manejo en suelos y sustratos agrícolas., 23. San José, Costa Rica.

Alegría-Ríos, M. (2015). Implementación de tecnología y reducción de costos en la producción agrícola de arroz . Piura, Perú: Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura.

Alvarez, J. (2011). Manual técnico del sistema de siembra de trasplante mecanizado del cultivo de arroz (*Oryza sativa*). Campus Cartago, Costa Rica.

Amador, J., & Bernal, I. (2012). Curva de absorción de nutrientes por cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) Variedad Venezuela 21, en un suelo vertisol bajo condiciones del valle de Sébaco. Nicaragua: Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria. Zamorano. Recuperado el 11 de octubre de 2018, de <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1101/1/T3392.pdf>

Baldev, R.K., Dharam, B.Y., Ashok, Y., Narender, K.G., Gurjeet, G., Ram, K.M., Bhargirath, S.C., 2013. Mechanized transplanting of rice (*Oryza sativa* L.) in nonpuddled and no-till conditions in the rice-wheat cropping system in Haryana, India. *American Journal of Plant Sciences* 12(4), 2409–2413.

Bandumula, N., Mahajan, G., Kumar, R.M., 2018. Farm level and aggregate economic impact of direct seeded rice in Punjab. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences* 6(1), 253–257.

Bondarenko, N. (1975). Organizatzia i texnologiiia mexaniziravannix rabot v polevodstviev izdatelsvo uishaia shkola. Kiev, Ukrania.

Clayton, S., 2010. 50 years of Rice Science for a better world – and it's just the start. *Rice Today*, IRRI. pp.12.

Cobos Mora, F., Gómez Pando, L., Reyes Borja, W., & Hasang Moran, E. (2020). Evaluación de la tolerancia a la salinidad en poblaciones segregantes F₅ de arroz (*Oryza sativa* L.). *Journal of Science and Research*, 5(CININGEC), 1–23. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/995>.

Cruz, F., González, F., & Contreras, Y. (2006). Producción popular de arroz con máquinas agrícolas manuales en fincas de pequeños productores. Bauta, Habana, Cuba.

CSISA. (2017). Mechanical transplanting of rice. Obtenido de WWW.csisa.org: <https://csisa.org/wpcontent/uploads/sites/2/2014/06/CSISA-Mechanical-Transplanting-ofRice-Manual-final.pdf>.

De la Cuevas, H., Rodríguez, T., Herrera Prat, M., & Paneque, P. (2008). Software para la evaluación tecnológica de las máquinas agrícolas. 17(2). (U. A. (UNAH)-CEMA, Ed.) La Habana, Cuba: *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/932/93217205.pdf>.

Delgado, Q. (1995). Índices tecnológico-explotativos del conjunto máquinatractor en la labor mecanizada de aradura. Toluca, México: Universidad Autónoma del estado de México.

Devkota, M., Devkota, K.P., Acharya, S., McDonald, A.J., 2019b. Increasing profitability, yields and yield stability through sustainable crop establishment practices in the rice-wheat systems of Nepal. *Agricultural System* 173(C), 414–423.

Ditzler, L., Breland, T.A., Francis, C., Chakraborty, M., Singh, D.K., Srivastava, A., Eyhorn, F., Groot, J.C.J., Six, J., Decock, C., 2018. Identifying viable nutrient management interventions at the farm level: the case of smallholder organic Basmati rice production in Uttarakhand, India. *Agricultural System* 161(C), 61–71.

Dixit, J., Khan, J.N., 2011. Comparative field evaluation of selfpropelled paddy transplanter with hand transplanting in valley lands of Kashmir region. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa, and Latin America* 42(2), 14–18.

ET, O. (2006). El manejo del riego en el cultivo del arroz. San José de Costa Rica: A ALBERTIN.

- Farooq, U., Sheikh, A.D., Muhammad, I., Bashir, A., Anwar, Z., 2001. Diffusion possibilities of mechanical rice transplanters. *International Journal of Agricultural Biology* 3(1), 17–18.
- Gangwar, K.S., Gill, M.S., Tomar, O.K., Pandey, D.K., 2008. Effect of crop establishment methods on growth and productivity and soil fertility of rice (*Oryza sativa* L.) based cropping system. *Indian Journal of Agronomy* 53(2), 102–106.
- Gill, J.S., Walia, S.S., 2013. Quality and grain yield of basmati rice as influenced by different establishment methods and nitrogen levels. *An Asian Journal of Soil Science* 8(2), 311–318.
- Gutiérrez Rodríguez, F. (2004). Evaluación tecnológicoexplotativa conjunto multiarado-tractor. *CIENCIA ergo sum*, 11(2), 171176. doi:ISSN1405-026.
- Hernández, J., Rodríguez, D., Guerrero, P., & Rodríguez, P. (2016). Resultados de la evaluación de la trasplantadora automática de arroz ISEKI. 6(1), 51 - 55. (I. d. Agrícola, Ed.) Boyeros, La Habana, Cuba: Revista Ingeniería Agrícola. doi: ISSN-2306-1545, EISSN-2227-8761.
- Humphreys, E., Kukal, S.S., Christen, E.W., Hira, G.S., Singh, B., Yadav, S., Sharma, R.K., 2010. Halting the groundwater decline in North-West India -which crop technologies will be winners? *Advances in Agronomy* 109, 155–217.
- INIAP, I. N. (2007). Recomendaciones para el manejo integrado del cultivo del arroz. Recuperado el 10 de septiembre de 2022, de <http://www.iniap.gob.ec/web/difunde-recomendaciones-para-el-manejo-integrado-del-cultivo-del-arroz/>.
- Kang, J.S., Kaur, J., Sandhu, S.S. (2019). Performance of mechanically transplanted Basmati rice (*Oryza sativa* L.) under different age of seedling and planting densities. *Indian Journal of Agronomy* 64(2), 200–203.
- Kumar, A., Nayak, A.K., Pani, D.R., Das, B.S., 2017. Physiological and morphological responses of four different rice cultivars to soil water potential based deficit irrigation management strategies. *Field Crops Research* 205, 78–94.
- Kumar, V.D., Babu, H.B., Reddy, M.K., 2012. Self-propelled walking behind type rice transplanter – A better alternative for manual transplanting. *The Andhra Agricultural Journal* 59 (4), 630–634.

- Lobell, D.B., Cassman, K.G., Field, C.B., 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources* 34(1), 179–204.
- Manesh, G.S., Dixit, A., Singh, A., Mahal, J.S., Mahajan, G., 2013. Feasibility of mechanical transplanter for paddy transplanting in Punjab. *Agricultural mechanization In Asia, Africa, and Latin America* 44(3), 14–17.
- Manjunatha, M.V., Reddy, B.G.M., Shashidhar, S.D., Joshi, V.R., 2009. Studies on the performance of self-propelled rice transplanter and its effect on crop yield. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 22(2), 385–387.
- Mayorga, D. (2018). Desempeño de la trasplantadora de arroz kubota spa 6 en las condiciones de producción del cantón Babahoyo. Repositorio institucional – Universidad Técnica de Manabí Instituto de Posgrado.
- Mohanty, D.K., Barik, K.C., 2010. Comparative performance of eight row self-propelled rice transplanter and manual transplanting ar farmer’s field. *Agriculture Engineering Today* 34(4), 87–92.
- Moreira, D. (2018). Guía para el establecimiento y monitoreo del cultivo de arroz bajo la metodología del SRI. 43. Santo Domingo, República Dominicana. Recuperado el 10 de octubre de 2018, de <https://www.fontagro.org/wp-content/uploads/2017/07/SRIRep%C3%BAblica-Dominicana-Guia-para-Establecimiento-y-Monitoreodel-Cultivo-de-arroz-bajo-SRI-VF-Enero-2018.pdf>.
- Orlov, P. (1975). *Diseño mecánico* (trad. del ruso José Puig Torres). Moscú, Rusia: MIR.
- Pasha, M.D., Reddy, R.R., Badru, D., Krishna, L., 2014. Evaluation of different crop establishment techniques in puddled rice (*Oryza sativa* L.). *The Journal Research ANGRAU* 42(2), 13–16.
- Qiang, D. (1985). Rice seedling transplanters in China. *Proceeding of the International Conference on Small Farm Equipment for Developing Countries*, 207. Manila, Filipinas: IRRI. Recuperado de [http://www.actaf.co.cu/revistas/revistagrano/Revista%20en%20PDF%20\(Vol%2011%20No%202\)/trabajo3.pdf](http://www.actaf.co.cu/revistas/revistagrano/Revista%20en%20PDF%20(Vol%2011%20No%202)/trabajo3.pdf).

Rajesh, V., Thanunathan, K., 2003. Effect of seedling age, number and spacing on yield and nutrient uptake of traditional Kambanchamba rice. *Madras Agricultural Journal* 90(1-3), 47–49.

Reyes, N. (2003). Cultivo de arroz. Manual técnico para agricultores y productores. Honduras: DICTA. Obtenido de <http://www.dicta.hn/files/Manual-cultivo-de-arroz-2003.pdf>.

Ryu, K. (1985). Rice transplanting Machinery in Korea. International Conference on Small Farm Equipment for Developing Countries, 240. Manila, Filipinas: IRRI. Recuperado de [http://www.actaf.co.cu/revistas/revistagrano/Revista%20en%20PDF%20\(Vol%2011%20No%202\)/trabajo3.pdf](http://www.actaf.co.cu/revistas/revistagrano/Revista%20en%20PDF%20(Vol%2011%20No%202)/trabajo3.pdf).

SAG, S. d. (2003). Manual Técnico para el cultivo de Arroz. Comayagua, Honduras: Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria DICTA.

Salazu, G., Ebron, L., Icatlo, H., Duff, B., & Stickney, R. (2018). Rice seedling transplanters in Philippines. International Conference on Small Farm Equipment for Developing Countries, 213. Manila, Filipinas: IRRI.

SARH, S. d. (1993). Guía para cultivar arroz por transplante y cosecha mecanizada. Zacatepec, Morelos, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias.

Sheeja, K.R., Mathew, R., Jose, N., Leenakumary, S. (2012). Enhancing the productivity and profitability in rice cultivation by planting methods. *Madras Agricultural Journal* 99(10-12), 759–761.

Singh, K.K., Lohan, S.K., Jat, A.S., Rani, T., (2006). New technology of planting rice for higher production. *Research on Crops* 7(2), 369–371.

Singh, S., Vatsa, D.K., (2006). Performance of evaluation of PAU manual transplanter in hills of himachal Pradesh. *Agricultural Engineering Today* 30(3), 43–46.

Sreenivasulu, S., Bala, P., Reddy, H. (2014). Effect of mechanized transplanting on yield, yield attributes and economics of rice (*Oryza sativa*). *The Journal Research ANGRAU* 42(2), 9–12.

Tomar, R.K., Singh, D., Gangwar, K.S., Garg, R.N., Gupta, V.K., Sahoo, R.N., Chakraborty, D., Kalra, N., (2006). Influence of tillage systems and moisture regims on soil physical environment, growth and productivity of rice-wheat system in upper Gangatic plains of Western Uttar Pradesh. *Indian Journal of Crop Science* 1 (1-2), 146–150.

Tripathi, S.K., Jena, H.K., Panda, P.K., (2004). Self-propelled rice transplanter for economizing labour. *Indian Farming* 54, 23–25.

Uprety, R. (2010). Meshing mechanization with SRI methods in Nepal. In: 3 rd International Rice Congress, 8–12 November, Vietnam.

Verma, A. (2010). Modelling for mechanization strategies of rice cultivation in Chhattisgarh, India. *Ama, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America* 41(1), 20–26.

Vijayalaxmi, G., Sreenivas, G., Leela Rani, P., Ram Prakash, T. (2016). Influence of plant densities and age of seedlings on dry matter partitioning and grain yield potential of transplanted rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Current Research in Biosciences and Plant Biology* 3(4), 51–55.

Wassmann, R., Neue, H.U., Ladha, J.K., Aulakh, M.S. (2004). Mitigating greenhouse gas emissions from rice-wheat cropping system in Asia. *Environment Development and Sustainability* 6, 65–90.

Yao, Y.M., Shen, M.X., Sun, H. (2000). Effect of transplanting of rice seedling in pots on growth characteristics and yield single cropping late rice. *Jiangsu Agricultural Science* 34(1), 13–15.

Capítulo V. Nutrición y manejo de fertilizantes.

Marlon Darlin López Izurieta

Universidad Técnica de Babahoyo

<https://orcid.org/0000-0003-3334-2317>

Adriana Magdalena Mejía Gonzales

Universidad Técnica de Babahoyo

<https://ORCID.org/0000-0002-5577-0868>

Gabriela Electra Medina Pinoargote

Universidad Técnica de Babahoyo

<https://ORCID.org/0000-0002-0440-8316>

Fátima René Medina Pinoargote

Universidad Técnica de Babahoyo

<https://ORCID.org/0000-0001-6237-1657>

5.1. Introducción

El cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.), se cultiva desde hace alrededor de 10 000 años en zonas húmedas de Asia tropical y subtropical (Reyes *et al.*, 2020). Es un alimento básico para casi la mitad de la población mundial, con una producción mundial que superó los 740 millones de toneladas en 2014 (FAOSTAT, 2016). El arroz se puede cultivar en una amplia gama de latitudes, bajo una amplia gama de condiciones de suelo, clima e hidrología, tanto en condiciones húmedas como secas. Se cultiva principalmente en regiones tropicales y subtropicales húmedas y subhúmedas. El rendimiento promedio mundial de arroz de regadío es de 5 t ha⁻¹, pero los rendimientos promedio entre países, regiones y estacionales varían ampliamente. En los trópicos, los productores de arroz tecnificados logran rendimientos de arroz de 7 a 8 t ha⁻¹ en la estación seca y de 5 a 6 t ha⁻¹ en la estación húmeda. Sin embargo, la productividad del arroz de secano y propenso a inundaciones sigue siendo baja y se mantiene constante en alrededor de 1,0 t ha⁻¹ (Dobermann y Fairhurst, 2000). Para lograr altos rendimientos de grano, las variedades modernas de arroz requieren nutrientes esenciales en cantidades razonables. Del total de 172,2 Mt de fertilizante (N+P₂O₅+K₂O) consumido en todo el mundo en 2010-2011, el 14,3 % (24,7 Mt) se utilizó para el arroz. Los porcentajes de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) fueron 15,4, 12,8 y 12,6, respectivamente (Heffer, 2013).

El uso desequilibrado de fertilizantes no solo agrava las deficiencias de potasio y micronutrientes en el suelo, sino que también es antieconómico y perjudicial para el medio ambiente. Un exceso de sales, como el hierro y el aluminio, limita el rendimiento del arroz en unos 50 millones de hectáreas de arrozales en todo el mundo. Aunque tiene un gran potencial para aumentar el rendimiento del arroz, el uso ineficiente de nutrientes es uno de los factores más limitantes. Para garantizar una mayor productividad del arroz, las prácticas adecuadas de manejo de la nutrición se han convertido en una parte integral de la tecnología moderna de producción de arroz y se pueden mejorar mediante el uso de tasas de fertilización apropiadas, métodos y tiempos de fertilización apropiados, manejo del pH del agua, del suelo, el uso de fertilizantes adecuados, cultivares de alto rendimiento y un entorno apropiado (Ladha *et al.*, 2003). La eficiencia promedio de recuperación de N, P y K de fertilizantes minerales en ensayos con arroz en 179 campos de agricultores (n = 314) de 179 agricultores en cinco países (China, India, Vietnam, Indonesia y Filipinas) fueron 33, 24 y 38% (Witt y Dobermann, 2004). Sin embargo, datos de los ensayos de investigación en todo el mundo mostraron una eficiencia de recuperación de N promedio estimada del 46 % (Ladha *et al.*, 2005).

La producción intensiva de arroz y la demanda futura requiere conocimiento para el uso eficiente de todos los insumos, incluidos los nutrientes. Los sistemas de arroz de regadío y de secano representan alrededor del 80% del área cosechada de arroz del mundo y el 92% de la producción total de arroz (Dobermann y Fairhurst, 2000), por lo que la información de este capítulo se centra en estos sistemas.

5.2. Elementos esenciales para el arroz

Para el arroz, son 16 elementos esenciales: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio, zinc, hierro, cobre, molibdeno, boro, manganeso y cloro. Estos se dividen en elementos mayores y menores. Las plantas contienen los elementos principales C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S en cantidades relativamente mayores que los elementos traza Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B y Cl. (FAO, 2002).

Según Quintana (2019), todos los elementos esenciales del arroz deben estar presentes en cantidades óptimas y en forma utilizable. El nitrógeno, el fósforo, el zinc y el potasio son los nutrientes más utilizados por los productores de arroz. A veces se aplica azufre a algunos suelos, pero generalmente se proporciona como un componente de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, K_2SO_4 y CaSO_4 (en superfosfato ordinario), incluso si no es necesario. Todos los demás nutrientes

esenciales provienen del aire, el agua, el suelo, los restos de plantas como impurezas en los fertilizantes comerciales. Hay dos formas de determinar si un elemento específico es esencial para la vida vegetal:

- Las plantas cultivadas en soluciones nutritivas completas que carecen de un solo elemento específico muestran anomalías en comparación con las plantas cultivadas en soluciones que contienen el elemento faltante.
- Si el elemento específico en cuestión se agrega a la solución nutritiva en la que crece la planta anormal, los síntomas de anomalía desaparecen o se reducen en severidad.

5.3. Síntomas de deficiencia de macronutrientes

Nitrógeno

Provoca una clorosis relativamente uniforme de las hojas viejas, acelera la senescencia, reduce el crecimiento de la planta, se acompaña de otras deficiencias severas, a la clorosis de las hojas nuevas se une la defoliación y finalmente, se vuelven completamente amarillas, se marchitan y se caen de la planta (Sadeghian, 2017).



Figura 6. Hoja de arroz con deficiencia de N
Fuente: (Dobermann y Fairhurst, 2000)

Fósforo

Las plantas deficientes suelen ser pequeñas y de crecimiento lento, pero en muchos cultivos las hojas son de un verde más oscuro de lo normal. Las hojas y los tallos pueden volverse de color púrpura rojizo, especialmente en las primeras etapas de crecimiento (acumulación de azúcar). La madurez del cultivo generalmente se retrasa. En otros casos, el único síntoma puede ser el tamaño pequeño de la planta (Dobermann y Fairhurst, 2000).



Figura 7. Hoja de arroz con deficiencia de P
Fuente: (Dobermann y Fairhurst, 2000)

Potasio

La deficiencia de potasio al igual que en otras plantas el primer síntoma visual de deficiencia de potasio es la aparición de una clorosis marginal en las hojas inferiores, seguida de machas blancas, las cuales con el tiempo se cambia en puntos de tejidos seco de borde y tamaño irregular, hundidos en la cutícula (Hernades, 2018).



Figura 8. Hoja de arroz con deficiencia de K
Fuente: (Dobermann y Fairhurst, 2000)

5.4. El Nitrógeno

El nitrógeno es un componente básico de los aminoácidos, las proteínas (enzimas), los ácidos nucleicos y la clorofila de las plantas y suele ser el nutriente que más limita el rendimiento en la producción de arroz y el crecimiento. Dado que es un elemento móvil dentro de la planta, sus síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas más viejas. Las hojas inferiores del arroz deficiente en N se vuelven amarillas más tarde, pero si la deficiencia no se corrige, toda la planta se desvanece. Posiblemente. Deficiencia de N en el

arroz conduce a una reducción de la altura de la planta, del macollo, del índice de área foliar y de la tasa fotosintética de la planta (Vallejo, 2018).

El arroz de regadío es uno de los cultivos menos eficientes en términos de uso de fertilizantes nitrogenados. Se pueden seguir varias opciones de manejo para agregar la cantidad correcta de N a los cultivos de arroz para una producción óptima y una pérdida mínima para el medio ambiente. Sin embargo, el establecimiento exitoso de una variedad de arroz requiere la relación entre el crecimiento y el desarrollo, la transformación biológica y química del fertilizante y el N autóctono del suelo, las propiedades químicas y físicas del suelo y el suelo para riego. (Doberman y Fairhurst, 2000).

Transformación del nitrógeno en suelos de arroz inundados

El arroz se cultiva bajo un régimen de humedad del suelo complejo y dinámico que fluctúa durante la temporada de crecimiento. El suelo generalmente se inunda justo antes de la siembra (como para el cultivo de semillas por voleo) o justo antes de trasplantar el arroz. Cuando las plántulas se establecen mediante el método directo de siembra en seco, como en el caso del arroz tipo japonico y sembrado con sembradoras, el suelo se satura de agua cuando el cultivo alcanza la etapa de cinco hojas y comienza a macollar. En suelos típicos de arroz (baja permeabilidad y textura pesada), se suele retener una alta humedad hasta la madurez fisiológica. En suelos poco permeables, los campos se inundarán cada 1 o 2 días después de que haya pasado la inundación. En algunos casos, el agua de la inundación se libera intencionalmente para secar el suelo por alguna razón de manejo, o se pierde debido a la falta de disponibilidad de agua a corto plazo. La mayoría de los sistemas de arroz de regadío alternan entre húmedo y seco (ciclos aeróbico y anaeróbico) durante la temporada de crecimiento o la temporada de crecimiento (Ladha *et al.*, 2005).

La inundación del suelo oxidado afecta tanto la utilización del nitrógeno del suelo como del fertilizante por parte del arroz. En condiciones aeróbicas, el NH_4^+ se oxida muy rápidamente a NO_3^- . El anegamiento del suelo amplifica casi todas las pérdidas de NO_2 y NO_3 presentes en los suelos a través de la desnitrificación y la lixiviación (Buresh *et al.*, 2008). Por lo tanto, la mayor parte del nitrógeno mineralizado en condiciones aeróbicas del suelo se pierde antes de que pueda incorporarse a los cultivos de arroz. Bajo condiciones de inundación, el nitrógeno orgánico continúa mineralizándose y permanece disponible como NH_4^+ para uso de la planta, en lugar de nitrificarse y perderse a través de la desnitrificación. Para un rendimiento óptimo del arroz, la cantidad y el momento de la fertilización con nitrógeno

deben determinarse por la cantidad y el patrón de nitrógeno orgánico mineralizado posterior a la inundación. En los sistemas de producción de arroz sin manejo controlado del agua y con transiciones aeróbicas y anaeróbicas alternas durante la temporada de crecimiento, grandes cantidades de nitrógeno aplicado al suelo y al suelo natural se pierden preferentemente por lixiviación hasta la desnitrificación, lo que resulta en un uso ineficiente del nitrógeno.

La recomendación de nitrógeno más básica para el arroz de tierras bajas es usar un fertilizante de amonio o un agente generador de NH_4^+ como la urea. El N de amonio se puede perder por volatilización, fijado por minerales arcillosos fijado por la materia orgánica del suelo. Las fuentes de fertilizantes que contienen NO_3 no deben aplicarse antes de remojar el suelo, ya que pueden desnitrificarse o perderse por lixiviación, especialmente en suelos arenosos permeables. Como un catión, el NH_4^+ se une a los complejos de intercambio catiónico del suelo y se retiene en el suelo muy cerca del punto de aplicación, se debe considerar la capacidad de fijación del NH_4^+ del suelo al formular estrategias de fertilización nitrogenada para maximizar la eficiencia de uso de N (Dobermann y Fairhurst, 2000).

Absorción de nitrógeno por el arroz

El nitrógeno es un elemento altamente móvil en las plantas y se transfiere fácilmente de los tallos y las hojas más viejas a las hojas más jóvenes o durante el desarrollo de las espigas cuando el N está ausente en la planta. La concentración crítica de N en el arroz generalmente aumenta cuadráticamente con el aumento de la dosis de N y disminuye con el aumento de la edad de la planta debido a los efectos de dilución (Fageria y Baligar, 2001).

Las hojas jóvenes tienen concentraciones de N más altas que las hojas más viejas, ya que se observa un gradiente de concentración desde la parte superior a la inferior de la hoja (Westfall *et al.*, 1973). Se ha demostrado que el estado de N de la primera hoja completamente abierta del arroz en un momento determinado es un indicador fiable de la disponibilidad de N en el suelo. Los avances tecnológicos de las últimas décadas han hecho posible cuantificar de forma rápida y no destructiva las propiedades espectrales de las hojas relacionadas con el contenido de clorofila (Bijay-Singh, 2014).

Como la mayoría de las otras plantas, el arroz puede absorber nitrógeno de las soluciones del suelo como NO_3^- y NH_4^+ , y la forma preferida de absorción de nitrógeno está determinada principalmente por su abundancia y accesibilidad. Gran parte de la literatura publicada generalmente sugiere que el arroz prefiere NH_4^+ sobre NO_3^- . La volatilización del

amoníaco, es decir, la pérdida de N como gas NH₃, puede ser una vía importante cuando se aplica urea al arroz en suelos alcalinos (Wilson et al., 1994).

La disponibilidad de suficiente N al comienzo del crecimiento rápido (labranza) juega un papel importante para un crecimiento y rendimiento óptimo. El aumento de materia seca en los cultivos de arroz reduce el contenido de N en los tejidos de las plantas debido a los efectos de dilución, mientras que el aumento de materia seca aumenta la absorción total de N. Casi la mitad de la materia seca total se produce al comienzo de la etapa de iniciación de la panícula, lo que da como resultado que la mitad de la absorción total de N ocurra en esta etapa. Si la carga de N del fertilizante de arroz es óptima, se absorben 50 µL de N total antes de que se produzca la mitad de la materia seca total. El 30-50% restante de la absorción total de N ocurre después de que comienza la formación de panículas. Se pueden encontrar alrededor de 60–70 % de N sobre el suelo en panículas de arroz maduro. La absorción natural de nitrógeno del suelo juega un papel importante en la nutrición del nitrógeno del arroz. El contenido total de nitrógeno de la paja y los granos de arroz en la madurez suele contener entre un 20 y un 40 % más de N que el que proporcionan los fertilizantes y este N adicional (aparte de los fertilizantes) es el contenido original de nitrógeno del suelo (Dobermann y Fairhurs, 2000).

Eficiencia en el uso de nitrógeno nitrogenado en arroz

Los fertilizantes nitrogenados se utilizan de manera eficiente cuando la mayor parte del fertilizante aplicado es absorbido por el cultivo (la denominada eficiencia de recuperación) y los rendimientos aumentan razonablemente por cada kilogramo de fertilizante nitrogenado aplicado (la denominada eficiencia agrícola). Para el arroz, la eficiencia del uso de fertilizantes nitrogenados depende en gran medida de la fuente del fertilizante, el momento de la aplicación de nitrógeno o ambos. La eficiencia de recuperación de los fertilizantes nitrogenados del arroz es generalmente del 20 al 80 % (Fageria *et al.*, 2003) y tiene un promedio de alrededor del 30 al 40 % (Cassman *et al.*, 1993). Sin embargo, la cantidad de N que no se tiene en cuenta en la eficiencia de recuperación de N no debe interpretarse como N perdido por el sistema suelo-planta. Parte del N puede perderse a través de la desnitrificación, la lixiviación y la volatilización del amoníaco, pero la mayor parte de este N se incorpora a la biomasa microbiana o permanece en el sistema de raíces del arroz y se convierte en parte de la materia orgánica del suelo. Existe una posibilidad. Entre 16 y 25% del fertilizante N total aplicado se recuperó en la fracción orgánica del suelo durante la diferenciación de la panícula y la maduración del arroz (Bollich *et al.*, 1994).

La tasa de fertilizante nitrogenado, la fuente, el momento de la aplicación y el método o la ubicación determinan la eficiencia de la recuperación de nitrógeno en la biomasa aérea del arroz. Muchos de los principios que determinan la eficiencia del uso de N son los mismos para el arroz trasplantado mediante labranza cero o riego directo (Fageria *et al.*, 2003). Las etapas críticas de crecimiento del arroz ocurren en diferentes momentos bajo diferentes sistemas, por lo que el momento de la aplicación parcial de fertilizantes nitrogenados varía. Los fertilizantes nitrogenados generalmente se aplican en al menos dos dosis separadas en la mayoría de los sistemas de producción de arroz. La primera aplicación a menudo se denomina dosis basal. En algunos casos, la fertilización basal puede representar la porción más grande de fertilizante N aplicado en una aplicación durante la temporada de crecimiento (50-75% de N total requerido). En los sistemas de arroz trasplantado, los fertilizantes nitrogenados se aplican a la superficie del suelo y se incorporan mecánicamente antes de inundar el campo, se aplican a la superficie del suelo y se incorporan con el agua de la inundación, o se inyectan en el suelo. (Kampras y Watson, 1980).

El manejo adecuado de las inundaciones es importante para el uso eficiente de los fertilizantes nitrogenados aplicados al arroz. Si el agua de inundación se drena antes de que el arroz absorba N, la nitrificación de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ producirá $\text{NO}_3^-\text{-N}$, que se puede lixiviar o desnitrificar cuando se vuelve a inundar el suelo. La eficiencia de recuperación de la aplicación basal de urea N en sistemas de inundación retardada de semilla seca puede alcanzar el 70% en condiciones óptimas (Wilson *et al.*, 1994).

Gran parte de la investigación sobre la fertilización del arroz con nitrógeno en diferentes regiones se ha centrado en el desarrollo de técnicas de manejo para lograr altos rendimientos y al mismo tiempo minimizar las pérdidas de nitrógeno y los costos asociados con la fertilización con nitrógeno, estandarizar la tasa óptima de nitrógeno del fertilizante, métodos mejorados, tiempos de aplicación y colocación y el uso integrado de formas especialmente formuladas de fertilizantes, abonos y/o residuos de cultivos, incluidos los que contienen ureasa e inhibidores de la nitrificación, para reducir la pérdida de nitrógeno del arroz. Lograr una mejor sincronización entre el suministro y la demanda de nitrógeno. Sin embargo, las mejores prácticas para el manejo de fertilizantes nitrogenados en el arroz no son solo recomendaciones universales (Dobermann y Fairhurs, 2000).

Están diseñados para cumplir con los cuatro objetivos principales de la gestión de sistemas agrícolas: productividad, rentabilidad, sostenibilidad y salud ambiental. La frase “fuente

correcta, cantidad correcta, momento correcto, lugar correcto” implica que las prácticas de manejo de fertilizantes nitrogenados son correctas en términos de objetivos de producción sostenible. Un equilibrio de los cuatro es importante. Esto le permite evitar enfatizar demasiado otros elementos al pasarlos por alto. Las tasas N de fertilizantes a veces se sobreestiman debido a su relación directa con el costo. A veces se pasan por alto la fuente, el tiempo y el método de colocación. (Savant *et al.*, 1982).

Las altas concentraciones de fertilizante nitrogenado sin el equilibrio adecuado de P y K afectan negativamente el rendimiento del arroz, el suelo y el medio ambiente, además de una mayor incidencia de acame de las plantas, competencia de malezas e invasión de plagas. Dado que los sistemas de cultivo intensivo eliminan grandes cantidades de N, P y K, el aporte desequilibrado de nutrientes conduce a la eliminación de nutrientes del suelo que no se aplican en cantidad suficiente. Alternativamente, los niveles de rendimiento están determinados por la cantidad de nutrientes aplicados al suelo. Suelo (Kumar y Yadav, 2001).

Los fertilizantes nitrogenados de liberación controlada se han desarrollado en las últimas décadas. Consiste en gránulos de urea altamente soluble recubiertos con materiales insolubles en agua como azufre y poliolefinas que controlan la velocidad, el patrón y la duración de la liberación de nitrógeno (Shaviv, 2001). Además de los beneficios de los fertilizantes de liberación controlada en la reducción de la pérdida de nitrógeno al medio ambiente y el aumento de la eficiencia de utilización de nitrógeno en el arroz (Chalk *et al.*, 2015), las tasas de aplicación de nitrógeno y los tiempos de aplicación pueden reducirse durante la temporada de crecimiento. Esto tiene el beneficio adicional de ahorrar costos de mano de obra.

El uso de inhibidores de ureasa para reducir la volatilización de NH_3 de la hidrólisis de urea ha surgido como una estrategia poderosa para mejorar la eficiencia de utilización de N a base de urea en el arroz. Se ha informado que el inhibidor de la ureasa NBPT [N-(n-butyl) tiofosfato triamida] reduce significativamente la pérdida por volatilización de NH_3 cuando se aplica urea al arroz (Norman *et al.*, 2009). Estos productos son químicos que cuando se aplican al suelo además de los fertilizantes nitrogenados, retardan la conversión de NH_4^+ a NO_2^- e inhiben o al menos retardan la actividad de las bacterias *Nitrosomonas spp.* (Trenkel, 2010). En India, el aceite extraído de las semillas de neem (*Azadirachta indica* A. Juss) se usa como inhibidor de la nitrificación. Actualmente, toda la urea que se vende a nivel nacional se trata con aceite de neem (Li *et al.*, 2009).

5.5. Fósforo

El fósforo es uno de los nutrientes esenciales más importantes para las plantas y es un componente de compuestos ricos en energía como el trifosfato de adenosina y el material genético necesario para la producción de semillas. También participa en la síntesis de compuestos como fosfolípidos, nucleótidos y fosfatos de azúcar, cuya deficiencia puede reducir significativamente el crecimiento y el rendimiento de las plantas. Los síntomas de deficiencia incluyen retraso severo en el crecimiento y hojas erectas de color verde oscuro. La deficiencia de fósforo retarda el alargamiento de las células y la expansión de las hojas (Marschner, 1995). Fageria (1980) observó un retraso de hasta 10 a 12 días en la maduración del arroz debido a la deficiencia de fósforo. La aplicación de fósforo al arroz en suelos con deficiencia de fósforo aumentó el crecimiento de las raíces del arroz, el número de panículas y el peso del grano de arroz (Fageria y Gheyi, 1999). En el estado de deficiencia de P, el arroz no responde al suministro de N, K y otros nutrientes.

La nutrición de fósforo en el arroz depende de la capacidad del suelo para suministrar fósforo a las raíces de las plantas y de las propiedades de desorción del suelo (Roy y De Datta, 1981). La concentración de fósforo inorgánico en la solución del suelo y la capacidad del suelo para mantener esta concentración determinan el suministro de fósforo a las raíces del arroz. Las plantas rara vez absorben más de 20% de fertilizante de fósforo total (Friesen *et al.*, 1997). Las condiciones decrecientes del suelo bajo el arroz de tierras bajas generalmente aumentan la disponibilidad de P en el arroz y en muchos suelos la disponibilidad de P no es un factor que limite el rendimiento del arroz (Sanyal y De Datta 1991). Por otro lado, la inundación reduce la cristalinidad del hidróxido de hierro, aumenta la capacidad de sorción, aumenta los insolubles de Fe-P y disminuye la desorción de P.

Absorción de P por el arroz

El fósforo es un elemento móvil en las plantas, por lo tanto, la concentración de P en las hojas individuales disminuye con el avance de la edad de la hoja. Las hojas superiores tienen la mayor concentración de P y las hojas inferiores tienen la menor concentración de P, especialmente cuando el P disponible en el suelo es limitado. Durante el crecimiento vegetativo temprano, la concentración de P en los tejidos del arroz aumenta con el aumento de las tasas de P. La concentración de P en los tejidos permanece casi constante desde el inicio de la panícula hasta la floración. Después de la floración, el grano de arroz comienza

a llenarse y se convierte en un fuerte requerimiento de fósforo, lo que reduce la concentración de fósforo en la paja (Dobermann y Fairhurs, 2000).

La concentración crítica de fósforo en el tejido del arroz durante el crecimiento vegetativo oscila entre 1,0 y 2,0 g P kg⁻¹. De acuerdo con Yoshida (1981), se requirieron 2.0 g P kg⁻¹ para que la primera hoja completamente abierta desde arriba alcanzara la tasa máxima de macollamiento. De Datta (1981) sugirió que la concentración crítica en hojas de arroz activamente cultivadas era de 1,0 g P kg⁻¹. En general, una concentración de fósforo en toda la planta superior a 2,0 g P kg⁻¹ durante el crecimiento vegetativo es suficiente para el crecimiento óptimo del arroz y la producción de rendimiento.

La absorción de P sobre el suelo por variedades de arroz de alto rendimiento puede alcanzar hasta 60 kg P kg⁻¹, pero es más común 25–50 kg P kg⁻¹ y está contenido en panículas de suelo maduro 75%. La absorción estacional de P y la acumulación de materia seca tienden a seguir patrones similares, y la acumulación de P está estrechamente relacionada con la edad de la planta. El índice de rendimiento promedio de P [grano P/(grano P + paja P)] generalmente oscila entre 0,60 y 0,75. Los granos de arroz eliminan un porcentaje bastante grande de la ingesta total de fósforo durante la temporada de crecimiento de la planta. Por lo tanto, reciclar la paja de arroz en el campo puede no proporcionar mucho P al siguiente cultivo de la rotación (Fageria *et al.*, 2003).

El manejo del fósforo en el arroz apunta a prevenir los síntomas de la deficiencia de fósforo más que a tratar los síntomas de la deficiencia de fósforo Bajo (De Datta *et al.*, 1988). Por lo tanto, el manejo del fósforo debe enfocarse en acumular y mantener niveles adecuados de fósforo disponible en el suelo para que el suministro de fósforo no limite el crecimiento de las plantas y la eficiencia en el uso del nitrógeno (Fairhurst *et al.*, 2007). Las entradas de P de fuentes como el agua de riego y la paja es baja, el P no se pierde fácilmente del sistema. Para mantener el suministro de fósforo del suelo, ajuste las condiciones específicas del sitio y considere la entrada de fósforo de todas las fuentes, ya que la aplicación de fertilizantes fosfatados tiene secuelas que pueden durar años, se necesitan estrategias a largo plazo (Fairhurst *et al.*, 2007).

El uso de análisis de suelo calibrados continúa siendo el mejor criterio para las recomendaciones de fertilizantes P en el arroz, pero los métodos de análisis de suelo de rutina pueden no proporcionar estimaciones confiables del P disponible para el arroz. Por ejemplo, los suelos utilizados para cultivos de regadío a menudo tienen valores bajos de P

en las pruebas de suelo, pero pueden o no responder a la fertilización con P (Wilson *et al.*, 1999). El enfoque tradicional de hacer recomendaciones P basadas en valores P y curvas de respuesta de fertilizantes requiere numerosos estudios de calibración de campo específicos del sitio. No se consideran los requisitos de P del cultivo basados en el rendimiento objetivo o las interacciones con otros nutrientes.

La gestión sostenible del fósforo requiere la reposición de las reservas de fósforo en el suelo, especialmente a niveles de alto rendimiento, pero no se espera una respuesta directa del rendimiento a la aplicación de fósforo Fairhurst *et al.*, (2007) La regla general es: Aplicar $8,7 \text{ kg P kg}^{-1}$ por tonelada de aumento de rendimiento de grano objetivo (diferencia entre el rendimiento objetivo y el rendimiento en la parcela libre de P). Según Doberman *et al.*, (2000), normalmente se aplican 26 kg P kg^{-1} para lograr el máximo rendimiento en arroz inundado. El fósforo generalmente se aplica en el momento de la siembra, pero se puede aplicar más tarde, a menos que sea después de un macollamiento vigoroso (De Datta, 1981). La aplicación temprana de P es esencial para la elongación de la raíz. Según Patricio *et al.*, (1974). La aplicación de fósforo incorporado antes de la siembra mediante riego es tan eficaz como el fósforo sembrado con semillas (Slaton *et al.*, 1998).

5.6. Potasio

El potasio es un fitonutriente importante que mejora el crecimiento de las raíces y el vigor de las plantas, previene el acame y aumenta la resistencia de las plantas a plagas y enfermedades. En los sistemas de arroz de alto rendimiento, suele ser el nutriente más limitante después del N. Desempeña un papel importante en la lignificación vascular, un factor que contribuye al alojamiento y la susceptibilidad a enfermedades de las plantas con deficiencia de K puede confundirse fácilmente, ya que las hojas inferiores han cambiado de color. Los síntomas típicos de la deficiencia de potasio en el arroz son plantas atrofiadas con poca o ninguna pérdida de macollos, hojas superiores caídas que son de color verde oscuro y el área entre las nervaduras y los márgenes de las hojas desde la punta hasta la parte inferior de la hoja clorosis (Fageria *et al.*, 2003). . La deficiencia de potasio reduce directamente el rendimiento al reducir el tamaño y el peso de los granos de arroz.

El potasio aumenta el número de espiguillas por panícula, el porcentaje de grano lleno y el peso de 1000 granos, pero no tiene un efecto significativo sobre el macollamiento en el arroz La incidencia de enfermedades como mancha, tizón de la hoja, tizón de la vaina, tizón de la vaina y tizón del tallo, es mayor cuando hay exceso de N y deficiencia de K. La deficiencia

de K en el arroz está asociada con la aplicación excesiva de fertilizantes N o N + P y la aplicación insuficiente de K en el arroz sin labranza en las primeras etapas de crecimiento con grandes poblaciones de plantas y sistemas de raíces superficiales (Fairhurst *et al.*, 2007). Aunque el contenido de K en el arroz aéreo es mayor o igual que el contenido de N de la planta y más alto que todos los demás nutrientes, la respuesta del arroz al suministro de K es menor que las respuestas observadas para N y P. Debido a que el arroz tiene raíces fibrosas, es muy eficiente en la eliminación del K disponible para las plantas del suelo y muchos suelos son fértiles sin necesidad de aplicar K para mantener altos niveles de rendimiento. Puede soportar la producción continua de arroz durante largos períodos de tiempo (Dobermann *et al.*, 1996b). Sin embargo, en algunos suelos, los fertilizantes de K deben aplicarse regularmente al arroz para evitar la deficiencia de K (Dobermann *et al.*, 1996b).

Absorción de K por el arroz

Según Yoshida (1981), el macollamiento cesa durante el período de crecimiento vegetativo del arroz cuando la concentración de K en la hoja es $< 5,0 \text{ g kg}^{-1}$ de peso seco de la hoja. Para obtener el máximo número de granos por panícula y reducir la esterilidad de las espiguillas, las hojas en la etapa de plántula madura del arroz deben contener más de 20 g K kg^{-1} (Kiuchi e Ishizaka, 1961). Según De Datta (1981), concentraciones de $\text{K} < 10 \text{ g kg}^{-1}$ en paja madura indican claramente deficiencia de K.

El arroz absorbe la mayor parte del potasio durante las etapas vegetativas y reproductivas tempranas y gran parte del potasio absorbido permanece en el tallo y las hojas antes de la floración (Hirata, 1995). Alrededor de 80–90% del contenido de K sobre el suelo en el arroz permanece en hojas y tallos en la madurez (Dobermann *et al.*, 1996a). Por lo tanto, a menos que la paja de arroz se retire físicamente del campo, la mayor parte del K volverá al suelo. De lo contrario, las prácticas de fertilización con K deben modificarse para evitar el agotamiento de K en el suelo.

Cuando el suministro de K del suelo es bajo, una estrategia común para el manejo del K del arroz es aplicar 25 kg K kg^{-1} por tonelada de rendimiento de grano objetivo por encima del rendimiento del arroz en parcelas que no reciben fertilizante de K. (Fairhurst *et al.*, 2007). Según Doberman *et al.*, (2000), el rendimiento máximo del arroz inundado normalmente requiere la aplicación de 50 kg de K, una tasa comparable a la de la fertilización del arroz en otras partes del mundo. Más de 80% de K absorbido por las plantas de arroz permanece

en la paja después de la cosecha, por lo que la paja debe considerarse una fuente de entrada importante al calcular los requisitos de K (liberación de K intercambiable) (Forno *et al.*, 1975). Los enfoques estándar para identificar suelos con deficiencia de K o cultivos con deficiencia de K giran en torno a pruebas químicas rápidas utilizando rangos de umbrales críticos empíricos. Este enfoque requiere extensos experimentos de campo para establecer una calibración entre los valores de prueba de K del suelo dados y las probabilidades de respuesta al K aplicado (Sekhon, 1995). La mayoría de estos calibradores solo proporcionan tipos de suelo específicos como: Aquellos con fertilidad temprana relativamente alta, propiedades de fijación de K bajas y mediciones confiables de la disponibilidad de K en el suelo que brindan recomendaciones razonables para la aplicación de fertilizantes K al arroz.

El fertilizante K se siembra inmediatamente antes o después de la siembra o la siembra, o se divide en varias veces. En general, la mayoría y posiblemente todos, los fertilizantes de K deben aplicarse en o cerca de la siembra/trasplante de arroz (Bijay-Singh *et al.*, 2004). Los suelos donde la pérdida por lixiviación de K es una preocupación deben satisfacer una porción menor del requerimiento total de fertilizantes con K. La aplicación foliar también puede considerarse un método beneficioso de aplicación de K (Bijay-Singh *et al.*, 2004).

5.7. Zinc

La deficiencia de zinc (Zn) en el arroz es un fenómeno común que ocurre después del trasplante y limita la productividad en condiciones de riego (Quijano-Guerta *et al.*, 2002). El zinc es un cofactor de enzimas como el glutamato deshidrogenasa y el alcohol deshidrogenasa involucradas en el metabolismo del N. La deficiencia de zinc suprime la actividad del alcohol deshidrogenasa, reduce el metabolismo de las raíces anaeróbicas y reduce la capacidad de las plántulas de arroz para resistir las condiciones anaeróbicas del suelo (Moore y Patrick, 1988). El arroz en las primeras etapas de crecimiento es susceptible a la deficiencia de Zn. Si la deficiencia no se subsana, también puede afectar a las plantas durante el crecimiento reproductivo. Dado que el zinc no es muy móvil dentro de la planta, sus síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas más jóvenes, generalmente amarillentas en la base de las hojas en las primeras etapas de la deficiencia de zinc. Las nervaduras y la base también pueden volverse amarillas o verde pálido con manchas y rayas marrones cuando la deficiencia de Zn progresa (Yoshida, 1981). De acuerdo con Mueller (1974), la deficiencia de Zn tiende a ser más severa cuando se aplican altos niveles de N y P o los efectos inhibidores pueden exacerbar la deficiencia de Zn. El arroz se considera

susceptible a la deficiencia de zinc, esto se debe a que los niveles insuficientes de Zn en el suelo limitan el macollamiento y por lo tanto, el número de panículas por unidad de área (Fageria, 2001).

Las pérdidas de rendimiento del arroz debido a la deficiencia de zinc oscilan entre el 10 y el 60 % (Slaton *et al.*, 2002). Sin embargo, si la deficiencia de zinc se detecta temprano y se toman las medidas correctivas apropiadas, la pérdida de rendimiento es menor. Los datos recopilados en diferentes regiones del mundo indican que las concentraciones de Zn en plántulas por debajo de 15–20 mg Zn Kg⁻¹ son bajas o insuficientes y que la fertilización con Zn es necesaria para un crecimiento óptimo del arroz (Fageria *et al.*, 2003). Las concentraciones de zinc en las soluciones del suelo disminuyen después de la inundación, pero pueden aumentar transitoriamente poco antes de estabilizarse en alrededor de 0,3 a 0,5 µM (Forno *et al.*, 1975). La absorción de Zn por el arroz depende no solo de la concentración de Zn en la solución del suelo, sino también de las concentraciones de Fe²⁺ y Mn²⁺ en la solución del suelo, que aumentan con la inundación del suelo. En suelos alcalinos ricos en materia orgánica, la disponibilidad de Zn y P puede reducirse por adsorción a hidróxidos y carbonatos de Fe amorfos, especialmente en condiciones de agua fluctuantes (Kirk y Bajita, 1995).

Aplicar el fertilizante de zinc correcto en la etapa correcta de crecimiento de la planta en la proporción correcta según las pruebas de suelo es la mejor manera de garantizar que la nutrición con zinc no se convierta en un factor limitante del rendimiento en la producción de arroz (Fairhurst *et al.* 2007). Si no se dispone de una prueba de suelo de zinc pero se observan síntomas de deficiencia de zinc en el campo, aplique de 10 a 25 kg de ZnSO₄.H₂O o de 20 a 40 kg de ZnSO₄.7H₂O por hectárea a la superficie del suelo. para el tratamiento de emergencia de la deficiencia de Zn en las plantas en crecimiento, aplique de 0,5 a 1,5 kg de Zn ha⁻¹ como pulverización foliar (solución de ZnSO₄ al 0,5 % en aproximadamente 200 L de agua por hectárea) (Fairhurst *et al.*, 2007).

El fertilizante de zinc debe aplicarse tan pronto como aparezcan los síntomas, los fertilizantes de zinc granular producidos comercialmente son sulfato de zinc, óxidos, oxisulfatos, lignosulfonatos y varios quelatos orgánicos como Zn-EDTA y Zn-HEDTA, pero el ZnSO₄ altamente soluble en agua es el fertilizante de zinc más comúnmente utilizado (Liscano *et al.*, 2001).

5.8. Azufre

El azufre (S), nutriente esencial de las plantas, es componente de aminoácidos como la cisteína y la metionina, diversas coenzimas como la biotina y el ácido lipoico, las tiorredoxinas y los sulfolípidos (Zhao *et al.*, 1997). Los síntomas de la deficiencia de S son similares a los de N, pero debido a la movilidad limitada de S dentro de la planta, la clorosis de la planta es bastante uniforme en hoja, el peso seco es mayor con la deficiencia de S en arroz que en tallos y raíces, el número de panículas y su longitud pueden verse afectados negativamente por la deficiencia de S (Fageria *et al.*, 2003). La concentración crítica de S en el arroz varía desde 2,5 g S kg⁻¹ en la etapa de macollamiento hasta 1,0 g S kg⁻¹ en la espiga (Wells *et al.*, 1993). Según Wang (1976), la concentración crítica de S en la paja para un rendimiento óptimo de grano debe ser de 0,5 g S Kg⁻¹. De Datta (1981) informó concentraciones de S en granos de arroz que van desde 0,34 g S Kg⁻¹ en plantas deficientes en S hasta 1,6 g S Kg⁻¹ en plantas que no mostraron respuesta a la aplicación de S

Según Fairhurst *et al.*, (2007), las pruebas de suelo para S no son confiables a menos que se incluyan S inorgánico y algunas fracciones de S orgánico mineralizable (sulfatos). Los niveles críticos de deficiencia de S en el suelo son: <5 mg S.kg⁻¹ extraíble con HCl 0,05 M o <6 mg S.kg⁻¹ extraíble con KCl 0,25 M calentado a 40 °C durante 3 horas o <9 mg S kg⁻¹ : 0,04 M Ca 0,01 M extraíble con (H₂PO₄)₂. La concentración crítica de S en el tejido del arroz varía de 2,5 g S kg⁻¹ en el macollamiento a 1,0 g S kg⁻¹ en el embuchamiento (Wells *et al.*, 1993).

5.9. Boro

El boro (B) es un componente importante de la pared celular y su deficiencia reduce la viabilidad del polen. Dado que B no cambia a un nuevo crecimiento, los síntomas de deficiencia generalmente se manifiestan como puntas de hojas blancas y enrollamiento en hojas jóvenes. La deficiencia de boro en el arroz solo se puede expresar como un rendimiento de grano reducido debido a la esterilidad de la panícula. El valor crítico del suelo para la ocurrencia de deficiencia de B es de <0,5 mg B kg⁻¹ por extracción hidrotérmica (Fairhurst *et al.*, 2007). La deficiencia de boro en el arroz se puede corregir aplicando formas solubles de B como el bórax (0,5–3 kg B h⁻¹) (Fairhurst *et al.*, 2007).

5.10. Manejo Integrado de Nutrientes Vegetales en Arroz

El propósito del Manejo Integrado de Nutrientes Vegetales (MINA) es mantener la fertilidad y la salud del suelo para lograr una productividad agrícola sostenible a largo plazo y complementar mejorando los nutrientes de una variedad de fuentes orgánicas disponibles. Tiene como objetivo manipular juiciosamente las reservas y los flujos de nutrientes para mantener y mejorar la fertilidad, así como la salud del suelo para lograr una productividad agrícola sostenida a largo plazo. De esta forma se utilizan los nutrientes de los fertilizantes como complemento a los nutrientes suministrados por las diferentes fuentes orgánicas disponibles. El MINA en el arroz tiene un impacto significativo en el mantenimiento de la salud de los suelos con bajo contenido de materia orgánica (Katyal *et al.*, 2001). En los últimos años, numerosos ensayos a largo plazo sobre sistemas de cultivo basados en arroz han demostrado que la gestión integrada y la acumulación en el suelo de diversos fertilizantes orgánicos y minerales tienen efectos positivos en los rendimientos del arroz (Ladha *et al.*, 2003).

5.11. Conclusiones

Los fertilizantes representan el 20-25% del costo total de producción de los sistemas de arroz de tierras bajas. Por lo tanto, aumentar el rendimiento del arroz por unidad de área utilizando métodos de manejo nutricional apropiados se ha convertido en una parte importante de la tecnología moderna de producción en arroz. Se ha intentado el manejo de nutrientes en forma de recomendaciones que consisten en proporciones óptimas de fertilizantes nitrogenados, mejores métodos, tiempos de aplicación, colocación y nuevas formas de fertilizantes. El desarrollo de métodos sistemáticos es posible gracias a la integración de conocimientos fundamentales sobre las propiedades del suelo, los ciclos de nutrientes, los procesos de transformación química y bioquímica, el crecimiento del arroz y la absorción de nutrientes en condiciones de suelo inundado. Estas estrategias de manejo de la nutrición agronómica y ecológicamente eficientes ya se recomiendan en muchas regiones productoras de arroz.

5.12. Bibliografía

Bijay-Singh (2014) Site specific and need based management of nitrogen fertilizers in cereals in India. In: Sinha S, Pant KK, Bajpai S (eds) Advances in fertilizer technology: biofertilizers, vol 2. Studium Press LLC, New Delhi, pp. 576–605.

Bijay-Singh, Yadvinder-Singh, Imas P, Xie J (2004) Potassium nutrition of the rice-wheat cropping system. *Adv Agron* 81:203–259.

Bollich PK, Lindau CW, Norman RJ (1994) Management of fertilizer nitrogen in dry-seeded, delayed-flood rice. *Aust J Exp Agric* 34:1007–1012.

Buresh RJ, Reddy KR, van Kessel C (2008) Nitrogen transformations in submerged soils. In: Schepers JS, Raun WR (eds) *Nitrogen in agricultural systems*, Agronomy monograph 49. American Society of Agronomy, Madison, pp. 401–436.

Cassman KG, Kropff MJ, Gaunt J, Peng S (1993) Nitrogen use efficiency of rice reconsidered: what are the key constraints? *Plant Soil* 155/156:359–362.

Chalk PM, Craswell ET, Polidoro JC, Chen D (2015) Fate and efficiency of N-labelled slow- and controlled-release fertilizers. *Nutr Cycl Agroecosyst* 102:167–178.

De Datta SK (1981) *Principles and practices of rice production*. Wiley, New York.

De Datta SK, Gomez KA, Descalsota JP (1988) Changes in yield response to major nutrients and in soil fertility under intensive rice cropping. *Soil Sci* 146:350–358.

Dobermann A, Dawe D, Roetter RP, Cassman KG (2000) Reversal of rice yield decline in a long-term continuous cropping experiment. *Agron J* 92:633–643.

Dobermann A, Fairhurst T (2000) *Rice: nutritional disorders and nutrient management*. Singapore: Potash and Phosphate Institute of Canada. International Rice Research Institute, Los Baños.

Dobermann A, StaCruz PC, Cassman KG (1996b) Fertilizer inputs, nutrient balance, and soil nutrient-supplying power in intensive, irrigated rice systems. I. Potassium uptake and K balance. *Nutr Cycl Agroecosyst* 46:1–10.

Fageria NK (1980) Influence of phosphorus application on growth, yield and nutrient uptake by irrigated rice. *R Bras Ci Solo* 4:26–31.

Fageria NK (2001) Screening method of lowland rice genotypes for zinc uptake efficiency. *Sci Agric* 58:623–626.

Fageria NK, Baligar VC (2001) Lowland rice response to nitrogen fertilization. *Commun Soil Sci Plant Anal* 32:1405–1429.

Fageria NK, Gheyi HR (1999) Efficient crop production. Federal University of Paraiba, Campina Grande.

Fageria NK, Slaton NA, Baligar VC (2003) Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. *Adv Agron* 80:63–152.

Fairhurst TH, Dobermann A, Quijano-Guerta C, Balasubramanian V (2007) Mineral deficiencies and toxicities. In: Fairhurst TH, Witt C, Buresh RJ, Dobermann A, editors. *Rice: a practical guide to nutrient management*, 2nd ed. International Rice Research Institute, Los Baños; International Plant Nutrition Institute, Norcross; International Potash Institute, Berne, pp. 46–86.

FAO. (2002). Los fertilizantes y su uso: Disponible en. <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>.

FAOSTAT (2016) <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>. Accessed 13 Feb 2016.

Forno DA, Yoshida S, Asher CJ (1975) Zinc deficiency in rice. I. Soil factors associated with the deficiency. *Plant Soil* 42:537–550.

Friesen DK, Rao IM, Thomas RJ, Oberson A, Sanz JI (1997) Phosphorus acquisition and cycling in crop and pasture systems in low fertility tropical soils. In: Ando T, Fujita K, Mae T, Matsumoto H, Mori S, Sekiya J (eds) *Plant nutrition for sustainable food production and environment*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 493–498.

Heffer P (2013) Assessment of fertilizer use by crop at the global level, 2010–2010/11. International Fertilizer Industry Association (IFA), Paris.

Hernandez. (2018). Caracterización de síntomas visuales de deficiencia nutricionales en cardamono (*Elettaria Cardanomoromum*) . Artículo Científico . Obtenido de https://www.mag.go.cr/rev_agr/v10n01-2_013.pdf.

Hirata H (1995) Science of rice plant: Physiology. In: Matsuo T, Kumazawa K, Ishii R, Ishihara K, Hirata H (eds) *Absorption and metabolism of potassium*, vol 2. Food and Agricultural Policy Research Center, Tokyo, pp. 383–390.

Kamprath EJ, Watson ME (1980) Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In: Khasawneh FE, Sample EC, Kamprath EJ (eds) *The role of*

phosphorus in agriculture. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, pp 433–469.

Katyal JC, Rao NH, Reddy MN (2001) Critical aspects of organic matter management in the tropics: the example of India. *Nutr Cycl Agroecosyst* 61:77–88.

Kirk GJD, Bajita JB (1995) Root-induced iron oxidation, pH changes and zinc solubilisation in the rhizosphere of lowland rice. *New Phytol* 131:129–137.

Kiuchi T, Ishizaka H (1961) Effects of nutrients on the yield constituting factors of rice. *J Soil Sci Manures Jpn* 32:198–202.

Kumar A, Yadav DS (2001) Long-term effects of fertilizers on the soil fertility and productivity of a rice-wheat system. *J Agron Crop Sci* 186:47–54.

Ladha JK, Pathak H, Krupnik TJ, Six J, van Kessel C (2005) Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: Retrospects and prospects. *Adv Agron* 87:85–156.

Ladha JK, Pathak H, Tirol-Padre A, Dawe D, Gupta RK (2003) Productivity trends in intensive rice wheat cropping systems in Asia. In: Ladha JK, Hill JE, Duxbury JM, Gupta RK, Buresh RJ (eds) *Improving the productivity and sustainability of rice-wheat systems: issues and impacts*, ASA special publication 65. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, pp. 45–76.

Li H, Chen YX, Liang XQ, Lian YF, Li WH (2009) Mineral-nitrogen leaching and ammonia volatilization from a rice-rapeseed system as affected by 3,4-dimethylpyrazole phosphate. *J Environ Qual* 38:2131–2137.

Liscano JF, Wilson CE Jr, Norman RJ, Slaton NA (2001) Zinc availability to rice from seven granular fertilizers, Arkansas agricultural experiment station research bulletin no 963. Arkansas Agricultural Research Station, Fayetteville.

Marschner H (1995) *Mineral nutrition of higher plants*, 2nd edn. Academic Press, New York.

Moore PA Jr, Patrick WH Jr (1988) Effect of zinc deficiency on alcohol dehydrogenase activity and nutrient uptake in rice. *Agron J* 80:882–885.

Mueller KE (1974) Field problems of tropical rice. International Rice Research Institute, Los Baños.

Norman RJ, Wilson CE Jr, Slaton NA, Griggs BR, Bushong JT, Gbur EE (2009) Nitrogen fertilizer sources and timing before flooding dry-seeded, delayed-flood rice. *Soil Sci Soc Am J* 73:2184–2190.

Patrick WH Jr, Peterson FJ, Wilson FE (1974) Response of lowland rice to time and method of application of phosphate. *Agron J* 66:459–460.

Quijano-Guerta C, Kirk GJD, Portugal AM, Bartolome VI, McLaren GC (2002) Tolerance of rice germplasm to zinc deficiency. *Field Crop Res* 76:123–130.

Quintana, H. (2019). Evaluación del método por nutriente faltante con los elementos Nitrógeno, Potasio y Boro en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2019).

Reyes Borja, W. O., Santelices Villalta, J. C., Quispe Sandoval, M. F., & Cobos Mora, F. J. (2020). Variación hereditaria de líneas F2 de arroz (*Oryza sativa* L. ssp. indica) derivadas de un parental femenino portador del gen Clearfield. *Journal of Science and Research*, 5(CININGEC), 275–293. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/1013>.

Roy AC, De Datta SK (1985) Phosphate sorption isotherms for evaluating phosphorus requirement of wetland rice soils. *Plant Soil* 86:185–196.

Sadeghian. (2017). Sintomas visuales de deficiencias nutricionales en café Diagnostico y manejo. Artículo científico, programa de investigación científica. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0478.pdf>.

Sanyal SK, De Datta SK (1991) Chemistry of phosphorus transformations in soil. *Adv Soil Sci* 16:1–120.

Savant NK, De Datta SK, Craswell ET (1982) Distribution patterns of ammonium nitrogen and N uptake by rice after deep placement of urea super granules in wetland soil. *Soil Sci Soc Am J* 46:567–573.

Sekhon GS (1995) Characterization of K availability in paddy soils-present status and future requirements. In: Potassium in Asia-Balanced fertilization to increase and sustain agricultural production. International Potash Institute, Basel, pp. 115–133.

Shaviv A (2001) Advances in controlled-release fertilizers. *Adv Agron* 71:1–49.

Shimada N (1995) Science of rice plant: Physiology. In: Matsuo T, Kumazawa K, Ishii R, Ishihara K, Hirata H (eds) Deficiency and excess of micronutrient elements. Food and Agricultural Policy Research Center, Tokyo, pp. 412–419.

Slaton NA (1998) The influence of elemental sulfur amendments on soil chemical properties and rice growth [dissertation]. University of Arkansas, Fayetteville.

Slaton NA, Wilson CE Jr, Norman RJ, Gbur EE Jr (2002) Development of a critical Mehlich 3 soil test zinc concentration for rice in Arkansas. *Commun Soil Sci Anal* 33:2759–2770.

Trenkel ME (2010) Improving fertilizer use efficiency– controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. International Fertilizer Industry Association (IFA), Paris, p.151.

Vallejo, W. (2018). Evaluación de fertilizantes foliares en el rendimiento del grano de arroz (*Oryza sativa* L.), cultivado bajo riego en la zona de Babahoyo (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2018).

Wells BR, Huey BA, Norman RJ, Helms RS (1993) Rice. In: Bennett WF (ed) Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. The American Phytopathological Society, St Paul, pp. 15–19.

Westfall DG, Flinchum WT, Stansel JW (1973) Distribution of nutrients in the rice plant and effect of two nitrogen levels. *Agron J* 65:236–238.

Wilson CE Jr, Slaton NA, Ntamatungiro S, Norman RJ (1999) Phosphorus fertilizer management for rice produced on alkaline soils. Arkansas agricultural experiment station research series 468. Arkansas Agricultural Research Station, Fayetteville.

Wilson CE Jr, Wells BR, Norman RJ (1994) Fertilizer nitrogen uptake by rice from urea-ammonium nitrate solution vs. granular urea. *Soil Sci Soc Am J* 58:1825–1828.

Witt C, Dobermann A (2004) Towards a decision support system for site-specific nutrient management. In: Dobermann A, Witt C, Dawe D (eds) Increasing productivity of intensive

rice systems through site-specific nutrient management. International Rice Research Institute, Los Baños, pp. 359–395.

Yoshida S (1981) Fundamentals of rice crops science. International Rice Research Institute, Los Baños.

Zhao FJ, Withers PJA, Evans EJ, Monaghan J, Salmin SE, Shewry PR et al (1997) Sulphur nutrition: an important factor for the quality of wheat and rapeseed. In: Ando T, Fujita K, Mae T, Matsumoto H, Mori S, Sekiya J (eds) Plant nutrition for sustainable food production and environment. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 917–922.

Capítulo VI. Insectos y enfermedades.

Simón Ezequiel Farah Asang
Universidad Agraria del Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-0089-1419>

Arturo Enrique Alvarado Barzallo
Universidad Agraria del Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-9806-9684>

Marlon Stalin Ovando Quintanilla
Universidad Agraria del Ecuador
<https://orcid.org/0000-0003-4379-9142>

Edwin Stalin Hasang Moran
Universidad Agraria del Ecuador
<https://orcid.org/0000-0001-6832-2047>

6.1. Introducción

Uno de los principales cereales básicos utilizados para la alimentación humana es el arroz, el cual, en términos de superficie cultivada, es superado solo por el trigo, se espera que para el año 2025 existirá un requerimiento mundial de 880 millones de toneladas de este cereal (Cobos *et al.*, 2020). En Ecuador, el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) es la principal fuente de alimentación y forma parte de la dieta básica de los ecuatorianos, representando más de un tercio de la superficie cultivada. Sin embargo, a pesar de la gran extensión de tierra apta para el cultivo y las condiciones climáticas favorables, la producción promedio de 4,35 t ha⁻¹ se considera baja en comparación con otros países de la región. Las principales causas son el uso de variedades propensas a insectos y enfermedades además del bajo uso de semillas certificadas (WordPress, 2017).

Uno de los problemas más graves de este cultivo en todas las regiones del mundo son los biopatógenos causantes de enfermedades (bacterias, espiroplasmas, hongos, protozoos, micoplasmas, nematodos y virus), que causan que la producción disminuya y a su vez la rentabilidad de la agricultura en productores dedicados a este cultivo (Garces *et al.*, 2012)

Tanto los insectos como las enfermedades cambian con las distintas etapas del cultivo y los productores deben ser conscientes de estos cambios y controlarlos de manera efectiva. De los costos de producción en arroz, el control de plagas y enfermedades representa el 6-7% del costo total (SEA, 2008). El conocimiento de las plagas y enfermedades asociadas con el

cultivo de arroz es de gran importancia, ya que ayuda a ampliar e implementar nuevos métodos de control para aumentar el rendimiento y la productividad en la cosecha.

6.2. Épocas críticas en el cultivo de arroz

Las malas hierbas, los insectos y las enfermedades son aspectos muy importantes del cultivo del arroz. Es de gran importancia identificarlos y conocer los problemas que ocasionan en las plantaciones, y los métodos alternativos de combate para eliminar o minimizar los efectos adversos que pueden ocasionar en los sitios de producción (Weaver, 1989).

- **Establecimiento I**, desde la germinación hasta el primer macollo, durante el cual las plántulas pasan por etapas clave en la formación de raíces y fotosíntesis.
- **Fase reproductiva: la maduración II** es desde la formación del primordio hasta la madurez, en la que las plantas centran cada vez más sus recursos en la formación de panículas.

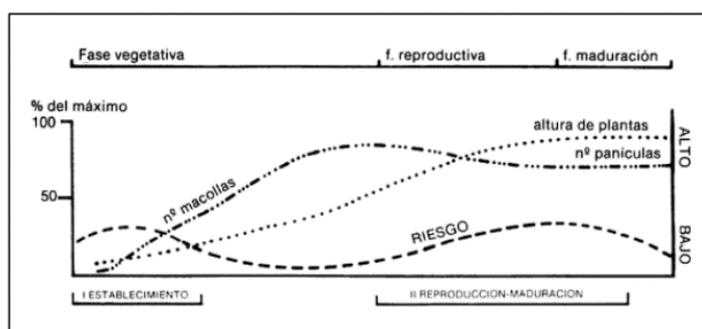


Figura 9. Épocas críticas en relación con el ataque de insectos y enfermedades
Fuente: Weber (1989).

6.3. Principales insectos plaga en el cultivo de arroz

Los cultivos de arroz en diferentes niveles tróficos pueden ser atacados por una gran variedad de insectos, ácaros, patógenos y vertebrados (aves y ratas), los cuales, si no se manejan adecuadamente, pueden dañar seriamente los cultivos y la producción, lo que a su vez afecta negativamente la economía de agricultores.

Meneses (1999) considera a la sogata (*Tagosodes orizicolus*), vectores del virus de la hoja blanca, mosquitos o moscas (*Hydrellia* sp.), insectos que afectan al cultivo desde etapas tempranas (plántulas), como las principales plagas en el cultivo del arroz. Los mismos autores reportan que entre los insectos que ocasionalmente invaden los cultivos y causan problemas en los cultivos, los chinches (*Oebalus insularis* Stal), gusano cogollero

(*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith), barrenadores del tallo (*Diatrea saccharalis* Fabricius y *Rupela albinella* Cramer) y cápsulas. picador o gusano del tallo (*Elasmopalpus lignosellus* Zeller).

Sarmiento *et al.*, (1992) clasificaron las principales plagas del arroz por tipo de daño:

- Gusanos de tierra o gusanos cortadores: *Agrotis spp.* y otros.
- Masticadores de raíces: *Gryllus assimilis* (Fabricius)
- Masticadores del follaje: *Spodoptera frugiperda* (J.E Smith)
- Minadores de hoja: *Hydrellia wirthi* (K)
- Barrenadores de tallo: *Diatraea saccharalis* (Fabricius), *Rupela albinella* (Cramer)
- Picadores chupadores del follaje: *Tagosodes spp.*

6.4. *Hydrellia wirthi* (Korytkowski) Diptera: Ephydriidae

Conocida como la "mosca del arroz", es común en casi todos los lugares donde se cultiva esta planta, se las puede ver moviéndose en vuelo continuo y posándose sobre hojas y ramas que flotan en la superficie de los estanques de riego. Aparentemente, las plantas pequeñas aparecen con mayor frecuencia en esta especie 4-8 días después del trasplante o 30-35 días después de la labranza cero. Las hembras ponen huevos en la superficie de las hojas, prefiriendo el tercio apical de las mismas. (Sánchez *et al.*, 2004).



Figura 10. Larva de *Hydrellia*
Fuente: Caldas & Lizárraga (2020)

Daños ocasionados por *Hydrellia wirthi*

La infestación es causada por las larvas que debilitan la planta y causan necrosis de la hoja en la parte superior del sitio del ataque, que es más severa cuando ocurre a una edad más temprana en el arroz, causando degeneración del tejido a lo largo del borde interno. A medida que se expanden, aumenta las áreas amarillas afectadas. Los macollos pueden

reducirse y la madurez puede retrasarse. El daño generalmente ocurre en arrozales con altos niveles de agua desde la etapa de plántula hasta el máximo de macollos. (Meneses, 2001).

Figura 2. Daño causado por *Hydrellia*

Fuente: Caldas & Lizárraga (2020)



6.5. *Spodoptera frugiperda* (J. Smih) Lepidoptera: Noctuidae

Las larvas de este insecto se conocen como 'gusanos de las hojas' en el cultivo del arroz. Esta es una especie polífaga que puede causar pérdidas severas en el arroz. Distribuido en todo el continente americano, esta plaga ataca a las plantas de arroz inmediatamente después de la germinación y si el control de las larvas no se hace a tiempo, los daños pueden ser cuantiosos.

Moquete (2010), informó que el arroz es atacado por 100 especies de insectos y la económicamente importante *S. frugiperda* es considerada la mariposa económicamente más importante del mundo.



Figura 3. Larva y adulto de *Spodoptera frugiperda*

Fuente: Caldas & Lizárraga (2020)

Daños ocasionados por Spodoptera frugiperda

Las larvas de *S. frugiperda* pueden causar daños a lo largo de la temporada de cultivo, esencialmente hasta que se produzcan inundaciones permanentes en los arrozales. El mayor riesgo se encuentra en la etapa de plántula, principalmente en las etapas tardías, motivado por el alto porcentaje de área foliar consumida. (Meneses, 2001).



Figura 4. Daños ocasionados por *Spodoptera frugiperda*.
Fuente: Caldas & Lizárraga (2020)

6.6. *Tagosodes oryzicolus* (Muir) Homoptera: Delphacidae

Es un insecto comúnmente conocido como "Sogata", esta plaga se encuentra en el arroz en varias etapas de desarrollo, especialmente durante el pico de población y se ha observado que se alimenta preferentemente de plantas jóvenes (desde la germinación hasta el macollaje) (Meneses, 2001).

En el Ecuador, el insecto siempre está presente como plaga secundaria, teniendo como hospederos todas las malezas de la familia de las gramíneas y las gramíneas que crecen naturalmente en áreas utilizadas para caminos, cunetas, drenajes y ganadería.



Figura 5. Adulto de *Tagosodes oryzicolus*
Fuente: Caldas & Lizárraga (2020)

Daños ocasionados por Tagosodes oryzae

Tagosodes oryzae Muir inflige dos tipos de daño a las plantas, uno es el daño directo al alimentarse del floema y mesófilo, el otro es el daño indirecto por la infección con el virus de la hoja blanca (VHB) (Moqueta, 2010). La Sogata daña el arroz de dos maneras:

Daños mecánicos. Las madrigueras y disecciones que hace para alimentarse y poner huevos causan necrosis de tejidos y marchitez de plantas. Si la infestación es grave, se desarrolla fumagina en la planta. en que se combinan el daño y la fumagina, se conoce como quemazón y trae consigo la muerte de la planta.

Transmisión de VHBA. Este insecto es un vector del virus de la hoja blanca del arroz (VHB). El daño viral es más importante que el daño mecánico. Un síntoma de virosis es un área amarillenta que forma una franja amarilla pálida paralela a la nervadura central, que generalmente se extiende desde la punta de la hoja hasta la vaina de la hoja. (Moquete, 2010).



Figura 5. Daños por (VHBA)
Fuente: Caldas & Lizárraga (2020)

6.7. *Oebalus insularis* (Stal.) Heteroptera: Pentatomidae

Este insecto se conoce comúnmente como “Chinche del arroz”, los adultos son de color carmelita claro o pajizo observándose unas depresiones amarillentas en el tórax, que semejan dos medias lunas. El macho es ligeramente menor que la hembra, con longitud del cuerpo de 8.30 y 9.22 mm., como promedio, respectivamente. La cabeza de ambos sexos es pequeña, hipognata y triangular. (Meneses, 2001).



Figura 6. Adulto de *Oebalus insularis*

Fuente: Caldas & Lizárraga (2020)

Daños ocasionados por Oebalus insularis

Este insecto afecta al arroz tanto en estado larvario como adulto, los daños pueden ser causados por que los insectos se alimentan de los granos de arroz, succionando el contenido con sus aparatos bucales, que se observa en los arrozales durante la fase lechosa del grano, panículas vacías o con crecimiento retardado y la presencia de granos lesionados. El insecto al alimentarse del grano realiza frecuentes picaduras lo que permite la entrada de microorganismos patógenos, como por ejemplo *Helminthosporium* (Meneses, 2001).



Figura 7. Daño en panículas por *Oebalus insularis*.

Fuente: Caldas & Lizárraga (2020)

6.8. *Rupela albinella* (Cramer) Lepidoptero: Pyralidae

Entre las plagas que afectan al arroz, los barrenadores representan un grupo que puede conducir en algunos casos a la pérdida de la cosecha. Su nombre proviene de la forma en que comen y atacan las plantas. Por su color blanco, comúnmente se le llama "novia de arroz". Generalmente, las plantas de arroz tienen un gran número posados sobre ellas, pero

no hubo correlación entre su presencia y la disminución en el rendimiento del arroz. (Meneses, 2001).



Figura 7. Adulto de *Rupela albinella*.
Fuente: Meneses (2001)

Daños ocasionados por Rupela albinella

Las afectaciones de *R. albinella* comienza con diminutas larvas que emergen de los huevos después de la eclosión, barrenan el tallo y perforan los entrenudos para abrir conductos. Esta acción impide el movimiento del alimento hacia la parte apical de la planta. Debido a esta enfermedad, las hojas inferiores pueden volverse amarillas dependiendo de la edad del cultivo, se presenta amarillamiento de las hojas inferiores o el daño denominado panícula blanca. Si el daño de *R Albinella* aparece después del inicio de la formación de la panícula, la transmisión de nutrientes no se ven afectadas, las panículas blancas no se llenan y no hay un grano completo. Aunque el daño puede ocurrir ocasionalmente en ciertas áreas arroceras pobladas, generalmente es de poca importancia económica (Meneses, 2001).



Figura 8. Daños por *Rupela albinella*.
Fuente: Camargo (2010)

6.9. *Steneotarsonemus spinki* (Smiley) Acari: Tarsonemidae

Este ácaro vive y se reproduce en las cáscaras de las hojas de arroz, se propaga por el viento, los animales, las personas, la maquinaria agrícola y el agua de riego. (Chinoko, 2009). Son tan pequeños que no se pueden ver a simple vista. A menudo se encuentra en las vainas de las hojas superiores, lo que dificulta su diagnóstico y control. (Meneses, 2001).

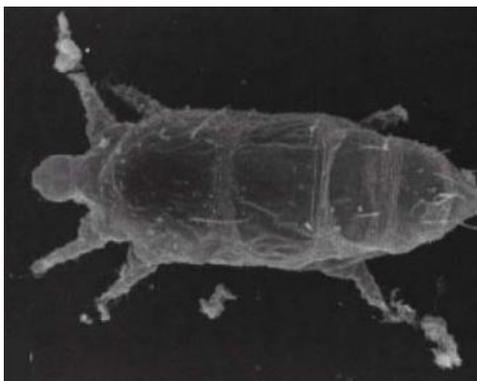


Figura 9. Acaro *Steneotarsonemis spinki*.

Fuente: Camargo (2010)

Daños ocasionados por Steneotarsonemis spinki

Este insecto causa dos tipos de daños, el daño directo por alimentación y daño indirecto por transformación y propagación de patógenos. El daño directo es causado por la alimentación, donde los ácaros privan a los tejidos de la planta de la savia o el contenido celular presente en las vainas de las hojas o los granos, lo que lleva a la deshidratación, necrosis y muerte del tejido. Inyecta toxinas en el interior del tejido, provocando deformaciones en el grano, impidiendo el llenado, dando lugar a la formación de panículas altas y consecuente pérdida de rendimiento (Camargo, 2010).

El ácaro *S. spinki*, está estrechamente relacionado con el hongo *Sarocladium oryzae*, causa daños indirectos al transportar estructuras fúngicas reproductivas (conidios o esporas) al cuerpo y provocando la inoculación por daño mecánico (ruptura del tejido vegetal). Hace que las vainas de las hojas bandera se pudran. Esta condición previene o limita la aparición de panículas y causa manchas ovaladas o irregulares de color marrón grisáceo. Estos síntomas también pueden ser causados por otros microorganismos, incluidas las bacterias oportunistas que se unen al complejo (Camargo, 2010).

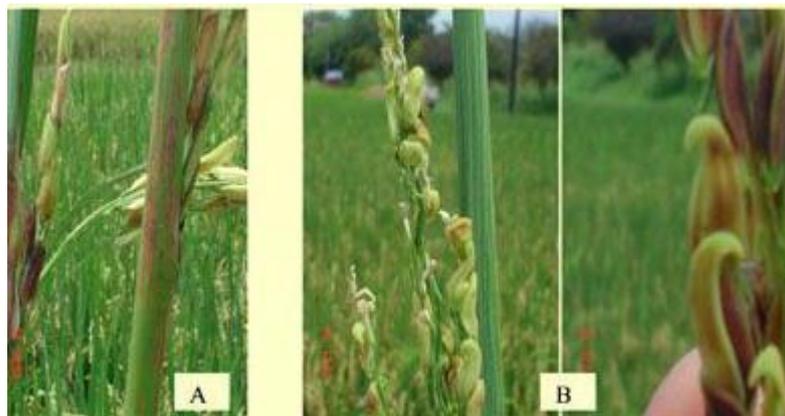


Figura 10. Daños por *Steneotarsonemis spinki*.

Fuente: Fontagro (2011)

6.10. *Diatraea sacharalis* (Fabricius) Lepidóptera: Pyralidae

Es un insecto común en el continente y en nuestro país, parasita muchos cultivos, incluido el arroz (Caldas & Lizárraga, 2020). En Ecuador, las poblaciones de esta especie están reguladas por las mismas condiciones de crecimiento, cultivo, riego y supresión natural por depredadores, que es por riego y por la represión que ejercen sus enemigos naturales. (Sánchez *et al.*, 2004).

Daños ocasionados por Diatraea sacharalis

La infestación es causada por el debilitamiento de la planta por parte de las larvas, lo que provoca necrosis en las hojas en la parte superior del sitio del ataque. Esto es importante ya que el arroz envejece de forma temprana. Una lesión típica es la degeneración del tejido a lo largo del borde interno de la hoja emergente. A medida que se expanden, se observa las áreas amarillas afectadas. Los macollos pueden reducirse y la madurez puede retrasarse. El daño generalmente ocurre en arrozales con altos niveles de agua desde la etapa de plántula hasta la etapa de máximo macollaje (Sánchez *et al.*, 2004).

6.11. Control de insectos en arroz

El control de plagas en cultivares de arroz, es considerado desde el control químico, la resistencia de los cultivares, el control biológico y el control cultural. El énfasis en la resistencia genética ha aumentado significativamente con el desarrollo del arroz moderno para los trópicos. Un desarrollo más reciente se refiere al control integrado de plagas.

Control químico

Aunque el control de insectos en las regiones tropicales actualmente depende en gran medida de los insecticidas, muchos cultivares de arroz tradicionales y modernos exhiben cierto grado de resistencia a una o más plagas. Se utilizan dos tipos de plaguicidas:

Insecticidas de contacto. Se aplica un insecticida de contacto a las hojas para matar solo los insectos que entren en contacto con este. Para que los insecticidas de contacto sean efectivos, deben aplicarse cuando el insecto se encuentra en su etapa de crecimiento más vulnerable.

Insecticidas sistémicos. Los plaguicidas sistémicos son sustancias químicas, que son absorbidas por las raíces y otras partes de la planta y distribuidas por los tejidos de la planta. Es capaz de matar a los insectos de los que se alimenta y dura más que los insecticidas de contacto porque no se lava fácilmente con la lluvia. Son fáciles de aplicar con equipo y experiencia mínimos (Sánchez *et al.*, 2004).

Clasificación de insecticidas. Los insecticidas se clasifican por su composición química en:

- **Organoclorados** (estructuras denominadas hidrocarburos clorados). Ejemplos: DDT, pertano.
- **Organofosforados.** Ejemplos: malatión, metilparatión, diazinón
- **Carbamatos.** Ejemplos: carbofurano, MIPC, carbaril
- **Formamidinas**
- **Piretroides sintéticos**

Control genético

El uso de variedades resistentes a los insectos, minimiza la necesidad de que los agricultores dependan de pesticidas para controlar las plagas en el arroz. El primer estudio sistemático de la resistencia a los insectos en el arroz, comenzó cuando se identificaron 1000 cultivares prometedores mediante la selección de 10,000 cultivares en la colección mundial de germoplasma del IRRI (Pathak *et al.*, 1969). Esto condujo al desarrollo de IR20, la primera variedad moderna resistente a una amplia variedad de insectos y enfermedades. El éxito de IR20 indica que los productores adoptarán rápidamente variedades resistentes a plagas como barrenadores del tallo.

Control biológico

El control biológico de las plagas del arroz se basa en parásitos, depredadores y patógenos para matar la plaga. Las plagas del arroz tienen complejos de enemigos naturales bien desarrollados. Sin embargo, los estudios sistemáticos sobre la introducción, conservación y mejora de los enemigos naturales para controlar las plagas del arroz se han iniciado recientemente. Una de las razones de este retraso fue que los plaguicidas permitieron un control fácil y eficaz de las plagas en el manejo del arroz. Sin embargo, incluso con los niveles actuales de manejo de pesticidas, el control de plagas del arroz requiere conservación y manipulación, de los enemigos naturales existentes. Sin embargo, el uso de parásitos y depredadores sólo es eficaz si no se elimina mediante el uso indiscriminado de plaguicidas. Además, el arroz debe ser resistente a los insectos dañinos que no están controlados por parásitos y depredadores (Camargo, 2010).

Control cultural

Muchas prácticas culturales como: manejo de la fertilidad, control de malas hierbas, el agua, el manejo de residuos de cultivos, el espaciamiento de los cultivos y el patrón de cultivos influyen fuertemente en las plagas del arroz (Sánchez *et al.*, 2004).

Manejo integrado de insectos

El manejo integrado de plagas utiliza una variedad de tecnologías compatibles en un solo sistema de manejo de plagas (Smith y Apple 1978). Los sistemas de gestión integrados utilizan niveles de daños económicos realistas para determinar la necesidad de medidas de control. Los plaguicidas se utilizan cuando se justifica económica y ecológicamente. Se toman todas las precauciones para proteger contra los enemigos naturales de las plagas. Además, se reconoce que el objetivo final del manejo integrado de plagas es lograr un rendimiento óptimo de los cultivos a un costo mínimo, teniendo en cuenta las limitaciones ecológicas y socioeconómicas de un agroecosistema en particular (Caldas & Lizárraga, 2020). Los principios del manejo integrado de plagas son:

Identificación de plagas. La identificación adecuada de las plagas es muy importante para desarrollar medidas de control integrales.

Definición del sistema agroecológico. El conocimiento de las interrelaciones entre plagas y cultivos da una idea de la movilidad de las principales plagas en los agroecosistemas.

Desarrollo de la estrategia de manejo de plagas. Esto implica el uso coordinado de múltiples tácticas en un solo sistema integrado con el objetivo de mantener el número de plagas y el daño en niveles aceptables.

Establecimiento de umbrales de daño económico. El objetivo es determinar la pérdida de cultivos por la intensidad esperada de plagas en relación con la cantidad y calidad de los cultivos y su valor económico.

Desarrollo de técnicas predictivas y de monitoreo confiables. Monitorear los brotes de plagas y las condiciones climáticas a menudo puede reducir los costos de control de plagas.

Evolución de un modelo descriptivo y predictivo. Este es el objetivo final de cualquier sistema manejo integrado de plagas, pero no un requisito absoluto para el desarrollo de control integrado de plagas.

Superar las restricciones socioeconómicas para el establecimiento del manejo integrado de control de plagas. Es importante superar las fuerzas sociales, económicas y políticas que obstaculizan el desarrollo y establecimiento del manejo integrado de plagas.

6.12. Principales enfermedades en el cultivo de arroz.

Las enfermedades son uno de los principales factores que limitan la productividad del arroz y una de las causas de la inestabilidad del rendimiento, en muchas regiones productoras. Desde la germinación hasta la cosecha, puede verse afectado por una o más enfermedades que pueden ser un riesgo que afecte el rendimiento y/o la calidad de la producción.

Prado (2001), menciona las siguientes enfermedades fungosas del arroz: Quemado del arroz (*Pyricularia grisea*), mancha negra o helmintosporiosis, falso carbón (*Ustilaginoidea virens*) y añublo de la vaina (*Rhizoctonia solani*).

6.13. *Pyricularia oryzae*

Es un hongo deuteromiceto que provoca quemaduras, uno de los mayores problemas en el cultivo del arroz a nivel mundial. Este habita en los rastrojos y plantas supervivientes de la campaña anterior, así como en las semillas. Las plantas afectadas se convierten en una fuente de inocuo para las plantas sanas (Caldas & Lizárraga, 2020).

Síntomas de la enfermedad

En las hojas: La lesión típica es romboidal, de color negro grisáceo, rodeada por un borde oscuro y un halo exterior amarillo verdoso.

En nudos: Manchas circulares de color marrón oscuro.

En panojas: La base puede estar rodeada de manchas de color marrón grisáceo.

Una lesión típica con un centro gris rodeado por un borde oscuro y un halo externo de color amarillo verdoso.

Daños de la enfermedad

- Capacidad fotosintética reducida de las hojas, en casos severos, las hojas se caerán.
- En panojas, puede causar granos vanos.
- En general, los rendimientos pueden ser menores tanto en términos de cantidad como de calidad molinera.

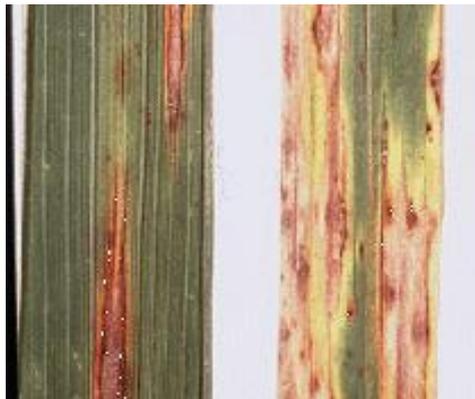


Figura 11. Daños ocasionados por *Pyricularia oryzae*.

Fuente: Nakandakari (2017)

6.14. *Helminthosporium oryzae*

Conocido como "mancha parda o manchado". La enfermedad está muy extendida en todo el mundo y se presenta tanto en el arroz de regadío como en el de secano. La enfermedad está asociada con suelos pobres en nutrientes y falta de humedad del suelo (sequía) (Esparza, 2019).

Síntoma de la enfermedad

Los síntomas de esta enfermedad aparecen en hojas y granos, las lesiones de las hojas son manchas circulares u ovaladas de color café oscuro y las manchas en los granos lo pueden cubrir totalmente.

- En las hojas: manchas redondas u ovaladas de color marrón oscuro con halo amarillo.
- En el grano: manchas marrones en las glumas que ocasionan manchado en el grano y reducción del número de granos (Orrala, 2021).

Daño de la enfermedad

- Disminución del crecimiento.
- Pérdida del peso del grano.
- Reducción de la calidad



Figura 12. Daños ocasionados por *Helminthosporium oryzae*.

Fuente: Nakandakari (2017)

6.15. *Burkholderia glumae*

Se considera uno de los patógenos más importantes en el cultivo del arroz, causando la enfermedad de añublo bacterial en la panícula de arroz (Prado. 2013).

Síntoma de la enfermedad

En campo la enfermedad aparece principalmente durante la floración, causando esterilidad, decoloración y tinción de las glumas en desarrollo. La enfermedad comienza colonizando la hoja bandera, invadiendo las espiguillas, volviéndolas de color amarillo, decolorando los granos, provocando raleos y dejando los tallos verdes (Manual, 2016)

Daños ocasionados de la enfermedad

Aunque no se conoce el alcance exacto de las pérdidas causadas por este patógeno, en arrozales severamente afectados por *B. glumae*, se redujo un 75% la producción ya que la bacteria causa varios tipos de daños, entre ellos: Supresión de la germinación de semillas, añublo de la panícula, pudrición de la vaina, esterilidad de flores y esterilidad de granos. (Ganyang, 2011).



Figura 13. Daños ocasionados por *B. glumae*.
Fuente: Correa (2014)

6.16. *Rhizoctonia solani*

El patógeno *Rhizoctonia solani*, estado anamorfo de *Thanatephorus cucumeris* (A. B. Frank) Donk., perteneciente al grupo de anastomosis AG1-IA, se considera una seria amenaza para la producción eficiente y económica de arroz, por su naturaleza saprofita. posee gran capacidad de sobrevivencia mediante los esclerocios y ataca una amplia gama de hospederos cultivados y malezas. (Chaudhary, 2003).

Síntoma de la enfermedad

Los síntomas de la enfermedad se observan primero en las vainas y luego en las hojas de las plantas afectadas. Las lesiones son típicamente de forma ovalada u ovoide, de color gris verdoso y se agrandan adquiriendo una forma irregular. El centro de la lesión será de color blanco o grisáceo con un contorno marrón. Los esclerocios, parte de las estructuras de resistencia a los hongos, se forman dentro o cerca de las lesiones y son un inóculo importante para el inicio de epidemias de enfermedades debido a su capacidad para sobrevivir en el suelo y en los residuos de cultivos. (Prado, 2001).

Daños de la enfermedad

La pudrición de la vaina y el tallo suele afectar al arroz durante el macollamiento, produciendo manchas gris verdosas, elípticas u ovadas de unos 10 mm de largo en la vaina de la hoja. Seca las hojas y reducir el peso del grano. La formación de panículas y el llenado se ven gravemente afectados. (Chowderly, 2003).



Figura 14. Daños ocasionados por *Rhizoctonia sp.*
Fuente: Moquete (2010)

6.17. *Virus de la hoja blanca del Arroz (VHBA)*

Este virus pertenece al género Tenuivirus. El insecto *Tagosodes orizicolus* es el único vector que puede portarlo y transmitirlo (Pérez *et al.*, 2018).

Síntoma de la enfermedad

Los síntomas característicos de la hoja blanca en arroz dependen de la variedad y edad de la planta afectada, observándose únicamente en hojas que presentan bandas blanquecinas (Rafael, 2011).

- Las bandas cloróticas de las hojas hacen que las hojas se vuelvan blancas cuando se fusionan.
- Clorosis completa de hojas nuevas.
- Enanismo en etapa temprana, necrosis y muerte de plántulas.
- Panículas estériles con pocos granos.

Daños ocasionados de la enfermedad

Las plantas afectadas tienen menos macollos y presentan enanismo. En infecciones tempranas las plantas mueren, pero en infecciones tardías las panículas son pequeñas, inútiles, deformes y tienen tallos en zigzag con espiguillas moteadas (Rafael, 2011).



Figura 15. Daño ocasionado por (VHBA).
Fuente: Rafael (2011)

6.18. Métodos de control para enfermedades

Conocer las principales enfermedades que afectan a los cultivos de arroz es importante y tiene en cuenta los factores agrícolas y climáticos que influyen en su aparición. (Arva, 2000).

Control químico

El uso de productos químicos para controlar hongos y otras enfermedades del arroz debería ser económico. En condiciones de infección severa, el control químico es muy económico. El rociado sistémico de fungicidas como el difenoconazol puede controlar las infecciones, pero es costoso. Para el control del tizón de la vaina, se ha descubierto que los productos químicos como la azoxistrobina y algunos compuestos mixtos son efectivos para reducir la infección y aumentar el rendimiento del grano en comparación con los testigos no tratados. Se han utilizado productos químicos como compuestos de cobre o mercurio y antibióticos para controlar enfermedades bacterianas, dicarboxamida de acetileno, así como un aerosol que contenía estreptomicina (3000 ppm) e hidróxido cúprico (Pérez *et al.*, 2018).

Resistencia varietal

En los trópicos, los cultivares de arroz resistentes al mejoramiento pueden ser la única solución realista al problema de las enfermedades fúngicas, sin embargo, los programas de mejoramiento deben tener en cuenta la diversidad de los organismos causales. Por ejemplo, es muy difícil cultivar variedades de arroz que sean resistentes a todos los tipos conocidos de añublo. Sin embargo, al acumular genes con un amplio rango de resistencia, es posible desarrollar cultivares tolerantes más estables Rafael (2011).

Medidas culturales

- Eliminación de residuos de cultivos para interrumpir el ciclo biológico de los patógenos.
- Utilizar semillas certificadas o tratamiento para reducir las poblaciones de patógenos.
- Usar fertilización balanceada de acuerdo con las recomendaciones locales para evitar condiciones propensas a enfermedades.
- Utilizar la densidad de semillas adecuada para evitar la sobrepoblación, que fomenta la propagación de enfermedades.
- Eliminar las malas hierbas y los hospederos tanto en los campos como en los márgenes para evitar la competencia y la rotación de enfermedades.
- Manejo adecuado del agua para crear condiciones que limiten el desarrollo de enfermedades (Alva, 2000).

6.19. Conclusiones

Los agricultores de arroz y todos los técnicos e investigadores deberán reevaluar algunas creencias comunes sobre las pérdidas de rendimiento del arroz causadas por enfermedades e insectos y sobre la eficacia de los plaguicidas para mantener o aumentar los rendimientos de grano. Tres creencias prominentes no están respaldadas por el conocimiento científico actual y no deben considerarse como válidas para guiar las decisiones de manejo. Estos son (1) que los insectos y otros organismos generalmente tienen efectos negativos en la salud de los cultivos, (2) que el daño causado por estos organismos se traduce directamente en pérdida del rendimiento y (3) que los plaguicidas aumentan el rendimiento del arroz. Estas creencias infundadas reducirán la productividad, la rentabilidad, y la sostenibilidad de los ecosistemas arroceros.

Es esencial promover un enfoque holístico en la producción de arroz, que haga hincapié en la “salud del ecosistema”. Esto se logrará reconociendo los efectos nocivos de los plaguicidas y mejorando el uso de métodos alternativos de control.

6.20. Bibliografía

Alva, A. 2000. Manejo Integrado del Cultivo de Arroz. Codese Lambayeque. Chiclayo Perú. 358 p.

Caldas, J & Lizárraga, A. (2020). Guía técnica: Manejo del cultivo de arroz bajo el sistema de riego con secas intermitentes en las regiones de Tumbes, Piura, Lambayeque y la Libertad.

Camargo, I. (2010). Manejo Integrado del Complejo Acaro (*S. spinki*) – Hongo (*S. oryzae*)- Bacteria (*B. glumae*), en el cultivo de arroz. Panamá. 6p.

Chaudhary, R. (2003). Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de Arroz. 57p.

Correa V., F. 2014. Antiguas y nuevas enfermedades en arroz: el caso de *Pyricularia* y el Añublo bacterial de la panícula. Argentina.

Cobos Mora, F., Gómez Villalva, J., Hasang Moran, E., & Medina Litardo, R. (2020). Sostenibilidad del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) en la zona de Daule, provincia del Guayas, Ecuador. Journal of Science and Research, 5(4), 1–16. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/692>.

Departamento de Fomento Arroceros, SEA. (2008). Costo de Producción del Arroz. Documento impreso. Juma, Bona, República Dominicana.

Esparza, M. (2019). Tolerancia de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.), al complejo del manchado de grano en la época lluviosa en la zona de Babahoyo (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2019).

Gañan B., L. 2011. Manejo Integrado del Añublo Bacterial de la Panícula del Arroz causado por *Burkholderia glumae*. Colombia. 79-90p.

Garcés, F., Díaz, T., & Aguirre, A.(2012). Severidad de la quemazón (*Pyricularia oryzae* Cav.) germoplasma de arroz F1 en la zona central del litoral ecuatoriano. Ciencia y Tecnología, 5(2), 1-6. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4737355>.

Meneses, C. (2001). Guía para el Trabajo de Campo en el manejo Integrado de plagas del Arroz. Cuarta edición. Cuba.

Meneses, R. (1999). Manejo integrado del cultivo de arroz. Lambayeque. Perú. 80p.

Moquete, C. 2010. Guía técnica. El cultivo de Arroz. Centro para el desarrollo Agropecuario y forestal, Inc (CEDAF). Santa Domingo, República.

Nakandakari, D. (2017). Problemas fitosanitarios en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* .L)”. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de agronomía. Lima. Perú. 112p.

Orrala Coello, K. V. (2021). Efecto de fungicidas para el manejo del manchado del grano de arroz *Oryza sativa* L (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil).

Pathak, M. D. 1969a. Insect pests of rice. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. 77 pp.

Prado, G. (2001). Caracterización preliminar de la resistencia de germoplasma de arroz al añublo de la vaina (*Rhizoctonia solani* Kuhn). Foro Arroceros latinoamericano. 8-11p.

Proyecto FONTAGRO. 2012. Guía Tecnología del Cultivo de Arroz. Nicaragua. 6p.

Rafael, P. (2011). Revista Arroz. Vol. 58 N°492. El Complejo Sogata y el virus de la hoja blanca. Colombia. 5p.

Sánchez, V . (2004). Plagas de la Caña de Azúcar, Maíz y Arroz. Departamento de Entomología y Fitopatología. Unalm. 76 – 83p.

Sarmiento, J. (1992). Plagas de los cultivos de caña de azúcar, maíz, y arroz. Universidad Nacional Agraria La Molina. Departamento de Entomología. Lima. Perú. 231p.

Smith, R. F., and J. L. Apple. 1978. Principles of integrated pest control. Plant Prot. News 4(4):4-7.

Tinoco, R. (2009). Manual de Recomendaciones Técnicas. Cultivo de Arroz. Costa Rica. INTA. 10p.

Weber, D. (1989). Desarrollo del Manejo integrado de Plagas del cultivo de Arroz. Colombia.

Wordpress.(2017). Cultivos en el Ecuador is powered by WordPress.Wordpress Themes by TemplateLite.com. Recuperado de <http://blog.espol.edu.ec/dieal-san/mi-segundo-video/>.

Capítulo VII. Manejo integral de arvenses.

Fernando Espinoza Espinoza

Universidad Técnica de Babahoyo

<https://orcid.org/0000-0002-7854-8389>

Yary Ruiz Parrales

Universidad Técnica de Babahoyo

<https://orcid.org/0000-0002-9207-7368>

Marlon Pazos Roldán

Universidad Técnica de Babahoyo

<https://orcid.org/0000-0001-6798-8736>

Marlon González Chica

Universidad Técnica de Babahoyo

<https://orcid.org/0000-0001-6945-5175>

7.1. Introducción

El arroz (*Oryza sativa* L.) es un alimento básico para todos y es considerado un alimento importante por más del 50% de la población mundial, por lo que juega un papel importante en la estabilidad económica y social. Las malezas son la restricción biológica más importante para lograr rendimientos adecuados, ya que pueden competir por los recursos y afectar la calidad del arroz. Se esperan pérdidas significativas de rendimiento debido a las malas hierbas, en condiciones extremas, pueden ocurrir pérdidas de toda la cosecha (Jabran y Chauhan, 2015). El arroz de siembra directa (SSD) sufre una mayor pérdida de rendimiento que el arroz trasplantado (Mahajan *et al.*, 2009). En el arroz trasplantado, la aparición inicial de malas hierbas se controla mediante inundación. Además, las plántulas de arroz germinadas por el método SSD no compiten con las malezas cogerminadas (Kumar *et al.*, 2008). Es importante que se invierta en prácticas de manejo integrado para reducir las pérdidas de rendimiento causadas por las malezas.

7.2. Malezas de importancia en arroz

Hay diferentes ecosistemas en los que se cultiva el arroz, de regadío, de tierras bajas poco profundas, de tierras medias profundas, de aguas profundas y de tierras altas. En estos ecosistemas se dan varios tipos de malas hierbas (Singh y Singh, 2008). Se han informado cambios en la flora de malezas con modificación en la hidrología superficial y los métodos de establecimiento del arroz. Ho (1991) observó cambios en la dinámica de las malezas

cuando se utilizó labranza cero en el arroz. La aplicación de métodos de labranza cero secos y húmedos al arroz aumentó la biodiversidad y cambió la preponderancia relativa de las principales especies de malezas en comparación con los métodos de trasplante. El identificarlas es la clave para ejecutar las medidas de control correspondientes. Se identifican según su morfología o hábitat. Vanegas & Muñoz (1984) mencionan que: “La costa del Ecuador presenta condiciones climáticas adecuadas y suelos propicios para el crecimiento agresivo de malezas.” Cubriendo el 96% de la superficie arroceras del país, brinda condiciones ideales para el desarrollo de malezas que causan problemas. en el cultivo del arroz. La información sobre la flora de malezas importantes en el arroz se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Malezas de importancia económica en el cultivo de arroz

Especie	Nombre vulgar	Arroz riego	Arroz secano
<i>Amaranthus spp.</i>	Bledo		X
<i>Bidens pilosa</i>	Amor seco		X
<i>Cyperus spp.</i>	Coquitos		X
<i>Echinochloa colonum</i>	Paja patilla	X	X
<i>Eclipta alba</i>	Botoncillo	X	
<i>Echinochloa crusgalli</i>	Moco pavo	X	
<i>Eleusine indica</i>	Pata gallina		X
<i>Euphorbia spp.</i>	Lechosas		X
<i>Ludwigia spp.</i>	Clavo agua	X	
<i>Leptochloa spp.</i>	Pajas		X
<i>Momordica charantia</i>	Achochilla		X
<i>Portulaca oleracea</i>	Verdolaga		X
<i>Rottboellia cochinchinesi</i>	Caminadora	X	X

Fuente: Ordeñana (2013)

7.3. Componentes de competencia

La competencia de luz ocurre cuando las plantas crecen juntas y una planta da sombra a otra, de modo que la planta bajo la sombra recibe menos intensidad y calidad de luz de la que necesita para un crecimiento óptimo (Lovato *et al.*, 2022).

La cantidad de agua necesaria varía mucho de una planta a otra, la competencia entre el agua y los nutrientes suele ser más importante porque comienza antes que la competencia por la luz. La competencia por el agua es mayor cuando las raíces de los cultivos y las malas hierbas están estrechamente entremezcladas y obtienen su agua del mismo volumen de

suelo. Esto significa que la competencia de las malezas por el agua es más severa para el arroz de secano que para el arroz de regadío porque la humedad suele ser limitante (Cadena et al., 2021).

Al competir por los nutrientes, las malezas absorben tanto o más que los cultivos, en general, los factores que hacen que las plantas sean competitivas para el consumo de agua también las hacen competitivas para el consumo de nutrientes. La competencia entre malezas y cultivos por el espacio y el dióxido de carbono generalmente es irrelevante (Lovato et al., 2022).

La reducción en el crecimiento y el rendimiento de los cultivos causada por las malas hierbas puede deberse a un factor distinto de la competencia. También pueden ocurrir efectos alelopáticos. La alelopatía es el efecto perjudicial de una planta sobre otra al producir compuestos tóxicos que se liberan al medio ambiente. También se conocen los efectos alelopáticos de las malezas sobre los cultivos y viceversa (Rocafuerte, 2019).

7.4. Pérdidas de rendimiento por malezas

La pérdida de rendimiento debido a las malas hierbas, depende en gran medida de la estación, el tipo de malas hierbas, la densidad, la variedad de arroz, la tasa de crecimiento, el método de gestión y el ecosistema. El alcance de las pérdidas de malas hierbas se puede determinar a partir de los siguientes ejemplos. A nivel mundial, la pérdida de rendimiento real debido a las plagas se estima en un 40 %, siendo las malas hierbas responsables de la mayor parte (32 %) de esta pérdida (Rao *et al.*, 2007). Rao y Moody (1994) encontraron que bajo condiciones no controladas, las malezas causaron una pérdida del 36% al 56% en el rendimiento del grano. En India, Mukherjee (2004) encontró una pérdida de rendimiento de aproximadamente 33%. De manera similar, Oerke (2006) informó que las malezas son responsables del 10 % y el 37 % de la pérdida de rendimiento real y potencial en todo el mundo.

Las pérdidas de rendimiento debido a gramíneas (principalmente *E. crus-galli*) y malezas fueron del 41% y 28%, respectivamente (Azmi y Baki, 1995). Azmi y Rezaul (2008) encontraron que el arroz maleza (*Oryza sativa* f. *spontanea*) madura antes que el arroz cultivado y es propenso al desgrane, lo que dificulta la cosecha y reduce los rendimientos. Azmi y Abdullah (1998) estimaron que el arroz maleza causa una pérdida de rendimiento de alrededor del 60 % con una infestación del 35 % y puede alcanzar hasta un 74 % de SSD

con una infestación severa. La pérdida de rendimiento debido a malezas es más severa en SSD que en arroz trasplantado (Karim *et al.*, 2004). Se informaron reducciones de rendimiento del 13 al 63 % para el arroz trasplantado cuando no se controlaron las malezas, mientras que se registraron pérdidas del 50 al 91 % para el SSD (Singh *et al.*, 2005a).

7.5. Métodos de control

Los métodos de control de malezas se pueden dividir en técnicas preventivas, culturales, físicas, químicas y biológicas.

Medidas Preventivas

Prevenir la invasión y propagación de malezas es la estrategia más importante en el manejo de malezas (Buhler, 2002). Esto requiere tomar precauciones tales como usar semillas libres de malezas, mantener limpios los campos, bordes, canales de riego, y limpiar los implementos agrícolas antes de moverlos de un campo a otro (De Datta y Baltazar, 1996). Por lo tanto, la prevención incluye todas las medidas que limitan la introducción y el establecimiento de malas hierbas en un área. Hay muchos ejemplos de introducción de malas hierbas nocivas sin tomar precauciones. Un ejemplo es el arroz negro, que se esparce en muchos países por semillas de arroz contaminadas (Chauhan, 2013b) y actualmente es un problema importante en el cultivo convencional de arroz debido a que no existen herbicidas lo suficientemente selectivos para controlar esta mala hierba. La prevención se ha descuidado en los últimos años debido a la disponibilidad de herbicidas. Sin embargo, en situaciones donde están presentes biotipos de malezas tolerantes a herbicidas y malezas difíciles de controlar, las medidas preventivas se vuelven importantes y juegan un papel efectivo en el control de malezas (Buhler, 2002).

Medidas Culturales

Técnica de semillero falso

La técnica de semillero falsos es una técnica eficaz de control de malezas cuando los cultivos están expuestos a una fuerte infestación de malezas en las primeras etapas de crecimiento. Este método consiste en preparar el suelo varias semanas antes de plantar los cultivos para estimular la germinación de malas hierbas. Esto agota el banco de semillas de la capa superior del suelo y reduce la aparición de malas hierbas (Rao *et al.*, 2007). Después de que emergen las malas hierbas y antes de plantar el arroz, las malas hierbas se eliminan mediante métodos químicos (herbicidas no selectivos) o métodos mecánicos (como la labranza).

En esta técnica, las plántulas de malas hierbas emergentes se eliminan principalmente con herbicidas (Oliver *et al.*, 1993). Sin embargo, también se puede implementar un semillero temporal sumergiendo las plántulas de malezas en agua durante 10 días, seguido de un período de semillero de 7 y 14 días después de la emergencia de las malezas (Sindhu *et al.*, 2010). Singh *et al.*, (2009) reportaron una reducción del 53% en las poblaciones de malezas en SSD después de practicar semillero convencionales. Delouche *et al.*, (2007) y Rao *et al.*, (2007) también utilizaron técnicas de vivero obsoletas para controlar el arroz maleza en SSD sin labranza, que tienen opciones limitadas para controlar estas malezas.

Preparación del suelo/Sistemas de labranza

Los sistemas de preparación o labranza juegan un papel importante en el cultivo del arroz, especialmente SSD, y pueden ser utilizados como un medio eficaz para el control de malezas, reduciendo así los costos y aumentando las ganancias. Esta práctica tiene dos propósitos principales. uno es arrancar la maleza que crecen en el campo y la otra es preparar el suelo para crear las condiciones adecuadas para la germinación de las semillas. La distribución vertical de semillas de malezas en el suelo se ve afectada de manera diferente por los diferentes sistemas de cultivo y la abundancia relativa de diferentes especies de malezas dentro del campo como resultado de esta distribución de semillas de malezas en el suelo (Chauhan y Johnson, 2009). Por ejemplo, la mayoría de las semillas de malas hierbas permanecen cerca de la superficie del suelo después de plantarlas en un sistema de labranza cero. Esto crea condiciones favorables para la germinación de semillas de malas hierbas presentes en la superficie del suelo. Por otro lado, con los sistemas de labranza convencionales, las semillas de malas hierbas en la superficie pueden quedar demasiado profundas para emerger. Sin embargo, también es cierto que las semillas de malezas de labranza cero son más propensas a una rápida desecación y depredación en caso de labranza cero en comparación con los sistemas convencionales.

Varios estudios han informado que la biomasa de malezas y la densidad de malezas fueron más altas en los sistemas sin labranza que en los sistemas de labranza convencional, lo que resultó en mayores rendimientos de grano en las parcelas con labranza convencional en comparación con los sistemas de labranza cero (Fig. 1) (Singh *et al.*, 2015). Las prácticas de labranza afectan no solo al cultivo actual, sino también a la incidencia de malezas en el próximo cultivo. No hay duda de que la labranza se puede utilizar como una herramienta importante para el control de malezas y la reducción de la labranza puede aumentar este

problema (Shrestha *et al.*, 2005). Sin embargo, la labranza no es un control definitivo de malezas porque las semillas de malezas se entierran en la capa profunda que no sale a la superficie y se llevan a la capa superficial, por lo que solo se puede usar para el control temporal de malezas y crear un entorno favorable para la germinación y el crecimiento (Chauhan y Johnson, 2010 a,b).

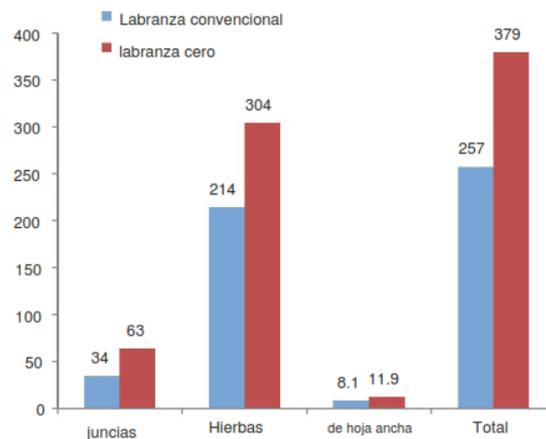


Figura. 1. Biomasa de malezas influenciada con diferentes prácticas de labranza.
Fuente: Singh *et al.*, (2015)

Método del establecimiento del Cultivo

Se han introducido varios métodos de cultivo para el arroz, como el trasplante, la siembra directa en seco, la siembra directa en húmedo y la siembra en agua. Estos métodos marcan una diferencia en la flora de malezas del campo. En comparación con los métodos de trasplante convencionales, el control de malezas en los sistemas SSD es particularmente desafiante debido a la variabilidad y la gravedad de la infestación de malezas y la falta de una película de agua para controlar las malezas en el momento de la emergencia del trasplante. Además, en SSD, tanto el arroz como las malas hierbas emergen en el sistema SSD al mismo tiempo, por lo que las plantas no pueden utilizar el tamaño de la planta contra las malas hierbas como en el sistema trasplantado. Las distribuciones de semillas de malezas en los perfiles del suelo se ven afectadas por el trabajo de preparación del suelo en los sistemas SSD, lo que resulta en una abundancia de especies de malezas en comparación con los métodos de trasplante (Chauhan y Opeña, 2012).

Los sistemas SSD de labranza convencionales están dominados por numerosas especies perennes, pastos anuales y arbustos anuales (Timsina *et al.*, 2010). Sin embargo, se observó

una reducción en el crecimiento de malezas perennes (*C. rotundus*) y malezas anuales en el sistema de labranza cero SSD en comparación con el sistema de labranza convencional. Por lo tanto, el método de cultivo se puede utilizar como una herramienta eficaz para el control de malezas en el arroz. La pérdida de rendimiento por malezas en los tratamientos SSD varió de 91,4 a 99,0 % en comparación con 16,0 a 42,0 % en los tratamientos de trasplante (Chauhan y Opeña, 2012). Por lo tanto, elegir técnicas de cultivo apropiadas es un paso importante hacia el manejo integral de malezas en el cultivo de arroz.

Densidad de siembra

Los enfoques de manejo cultural de malezas se enfocan principalmente en reducir el impacto de las malezas en los cultivos, ya sea haciéndolos menos competitivos o haciéndolos más competitivos (Gibson *et al.*, 2002). El aumento de las tasas de siembra se puede utilizar para mejorar la competitividad de los cultivos y ha demostrado ser un componente eficaz en las estrategias de manejo de malezas (Kristensen *et al.*, 2008). La competitividad de las plantas contra las malezas aumenta a medida que aumenta la densidad de plantas al reducir el espacio entre hileras (Chauhan y Johnson, 2010a). La sombra, la cobertura del dosel y la acumulación de biomasa están determinados por la densidad de plantación del cultivo y afectan acumulativamente la capacidad de control de malezas (Anwar *et al.*, 2011). El espacio estrecho entre plantas (10 cm) redujo significativamente la biomasa de malezas en comparación con el espacio más amplio entre plantas (20 cm) (Chauhan y Opeña, 2013a,b). Zhao *et al.*, (2007) informaron que la biomasa de malezas disminuyó y el rendimiento del arroz aeróbico aumentó a medida que el número de semillas viables aumentó de 100 a 300 por m². Chauhan y Augho (2013) también encontraron en experimentos de macetas que el aumento de la densidad de población disminuyó el crecimiento y la reproducción de *E. crus-galli*. Por lo tanto, se sugiere que el aumento de la tasa de siembra puede usarse como una herramienta de control de malezas en sistemas agrícolas de bajos y altos insumos.

Cultivares competitivos de malezas

El arroz generalmente se considera un competidor débil de las malezas en comparación con otros cultivos como el maíz (Saito *et al.*, 2010a). Sin embargo, se han documentado diferencias de cultivares en la capacidad de controlar las malas hierbas en el arroz (Zhao, 2006). Además, se pueden desarrollar genotipos de arroz mejorados para el control de malezas. El desarrollo de tales variedades con una mayor competitividad frente a las malas

hierbas puede ser más aceptable para los productores de arroz y ayudar a reducir la dependencia de los herbicidas.

La competitividad de cultivos y malezas tiene dos componentes principales. Estos son la resistencia a malezas y la capacidad de control de malezas (Jannink *et al.*, 2000). La tolerancia a las malas hierbas es la capacidad de un cultivo para mantener altos rendimientos a pesar de la competencia, y la capacidad de control de malas hierbas es la capacidad de una planta para controlar el crecimiento de malas hierbas y reducir la producción de semillas, reduciendo así la producción de semillas durante la temporada de crecimiento actual y las subsiguientes, de la producción de semillas de malezas y la posterior acumulación en el banco de semillas son deseables en los cultivos que crecen con malezas, por lo que cuando se trata de la competitividad del cultivo y de las malezas, ambos factores son importantes (Jordan, 1993).

Las variedades ideales de arroz que compiten con las malezas deben tener una fuerte capacidad de supresión de malezas y un alto rendimiento tanto en condiciones libres de malezas como con malezas. La biomasa de malezas se evalúa en condiciones de malezas para determinar la capacidad de supresión de los cultivos (Saito *et al.*, 2010b). Este método de manejo en el control de malezas a través de cultivares se conoce como método genético. El papel de los cultivares competidores puede explotarse aún más mediante la manipulación de prácticas agrícolas, como cambios en la densidad de siembra y la temporada de siembra. Esto puede resultar útil para proporcionar un control adicional de malezas cuando no se usan herbicidas o se usan de manera reducida (Mahajan y Chauhan, 2011).

Varios rasgos confieren resistencia a las malezas (Mahajan y Chauhan, 2013a). Estos son la altura de la planta (Mennan *et al.*, 2012), el número de macollos (Harding y Jalloh, 2011; Mennan *et al.*, 2012), la biomasa de los macollos (Ni *et al.*, 2000), el índice de área foliar (Moukoubi Harding y Jalloh, 2011), cobertura foliar (Lotz *et al.*, 1995), área foliar específica (Moukoubi *et al.*, 2011), crecimiento de raíces (Gibson *et al.*, 1999; Fofana and Jalloh, 2011) Rauber, 2000), vigor de plántula temprana (Zhao *et al.*, 2006), área foliar y biomasa de plántulas (Namuco *et al.*, 2009). Fischer *et al.*, (1997) observaron que la competitividad del arroz contra *E. colona* se correlacionó más con el macollamiento del arroz y el área foliar que con la altura de la planta.

Estudios previos han demostrado que existen diferencias significativas en la competitividad entre los genotipos de arroz. Mennan *et al.*, (2012) encontraron que entre varios cultivares

de arroz (Osmanc¸yk, K¸yz¸ly¸rmak, Karadeniz, Koral y Ne¸yis), Koral fue significativamente m¸as alto que otras variedades independientemente de la densidad de *E. crus-galli*. la producci¸on, con *E. crus -galli* disminuyendo en un 30% y 16%, respectivamente. Este cultivar mostr¸o la mejor competitividad debido a la alta acumulaci¸on de biomasa en las primeras etapas de crecimiento y menor reducci¸on de la altura de la planta en presencia de *E. cruz-galli* en comparaci¸on con otras variedades.

Las caracter¸isticas alelop¸aticas tambi¸en se pueden usar para reducir la infestaci¸on de malezas sin costo adicional. Este m¸etodo de control de malezas no da¸na el medio ambiente ni aumenta los costos de control de malezas. El control alelop¸atico de malezas se puede aplicar como estrategia ¸unica en ciertos sistemas de cultivo (Farooq *et al.*, 2011). Adem¸as, se puede integrar con otros m¸etodos para lograr un control efectivo. En este caso, las estrategias de control alelop¸atico manipulan el potencial del cultivo de tal manera que estos aleloqu¸imicos del cultivo reducen la competencia de malezas (Jabran *et al.*, 2015).

Rotaci¸on de cultivos y sistema de cultivo

Cada cultivo permite que crezcan malas hierbas espec¸ificas en su asociaci¸on. se reconocen en diferentes rotaciones y por lo tanto, se controlan mediante la rotaci¸on de cultivos, que tienen diferentes ciclos de vida y h¸abitos culturales. Por ejemplo, las diferentes ¸epocas de siembra y cosecha de los cultivos de rotaci¸on impiden el establecimiento de malas hierbas y la producci¸on de semillas, lo que aumenta las oportunidades de los agricultores para controlar las malas hierbas (Rao, 2011).

Hay tres mecanismos principales por los cuales la presi¸on de selecci¸on cambia con la rotaci¸on. Estos son (i) cambios en las pr¸acticas de manejo (momento de las actividades de campo, herbicidas, etc.), (ii) cambios en los patrones de competencia por los recursos y (iii) alelopat¸ia. Sin embargo, los tres mecanismos no se utilizan para todos los tipos de rotaci¸on.

Por lo tanto, al examinar el impacto de una rotaci¸on de cultivos en particular sobre la din¸amica de las malezas, es necesario considerar qu¸e mecanismos utiliza una rotaci¸on de cultivos en particular (Nichols *et al.*, 2015). El desarrollo de sistemas de cultivo, como una disposici¸on espacial adecuada y la labranza eficiente ayudan a las plantas a competir con las malezas (Avola *et al.*, 2008). Sin embargo, si queremos utilizar la manipulaci¸on del sistema de cultivo como un componente de manejo de un sistema integrado de malezas, se requiere una compresi¸on profunda de la din¸amica de las malezas y el impacto de los factores

relacionados con la planta y el suelo en el ciclo de vida de las malezas (Davis y Liebman 2003).

Control físico

El control físico de malezas se puede realizar por métodos manuales o mecánicos. El deshierbe manual es la intervención de control de malezas más común en los sistemas de cultivo de arroz. Es eficaz para reducir la competencia directa de malezas y evitar que las malezas produzcan y arrojen semillas, pero requiere mucha mano de obra, ya que necesita de 250 a 780 horas de mano de obra por hectárea (Rodenburg y Johnson, 2009).

Roder (2001) identificó que se necesitan de 150 a 200 días de deshierbe manual por hectárea para mantener los cultivos de arroz libres de malezas. Además, dado que las malezas herbáceas y las plántulas de arroz son morfológicamente similares, y el retraso en el control de malezas debido a la falta de disponibilidad, los altos costos de la mano de obra (Johnson, 1996) o debido a las malas condiciones climáticas son otros problemas del deshierbe manual.

Sin duda, el deshierbe mecánico ha demostrado ser muy útil, pero su ámbito de aplicación se limita únicamente a los cultivos en hileras, lo que lo convierte en un método menos común. Además, se requieren condiciones óptimas de suelo y agua para que los herbicidas mecánicos funcionen de manera eficiente y efectiva. Sin embargo, el control mecánico de malezas combinado con la aplicación de herbicidas antes del brote puede usarse como una herramienta eficaz para el manejo integrado de malezas en SSD (Matloob *et al.*, 2015). El deshierbe mecánico es más efectivo cuando las malezas no pueden controlarse con medios químicos u otros (como lluvia prolongada o sequía). Los desmalezadores mecánicos también ayudan a reducir el uso general de herbicidas.

Control químico

Los métodos tradicionales de control de malezas incluyen labranza inicial, deshierbe manual con azadones y extracción manual. Dependiendo de la especie de maleza, la intensidad de la infestación y el cultivo que se está cultivando, generalmente se aplican 2 o 3 deshierbes manuales para un control efectivo. Sin embargo, el control de malezas del arroz trasplantado por medios mecánicos y culturales es costoso, especialmente en esta crisis laboral. Además de los altos costos, la escasez de mano de obra, las condiciones climáticas desfavorables y algunas malezas resistentes (*E. colona* y *E. crus-galli*) y el arroz han hecho que los métodos químicos sean más populares que los métodos tradicionales (Matloob *et al.*, 2015).

En los últimos años, los productores de arroz de muchos países han pasado de los sistemas de trasplante a los sistemas de siembra directa. Las malas hierbas son una limitación importante para los agricultores que practican la labranza cero (Rao *et al.*, 2007). En los métodos de trasplante tradicionales, el agua estancada suprime las malas hierbas, pero en el sistema SSD, el control de malas hierbas se pierde el control inherente de malas hierbas del agua estancada en el establecimiento del cultivo de arroz y las malas hierbas emergen al mismo tiempo que el arroz, compitiendo por los recursos. Varias estrategias de control de malezas, culturales, mecánicas, manuales y químicas también se pueden practicar con los sistemas SSD para controlar las malezas. Sin embargo, entre varias estrategias de control de malezas, el control químico de malezas se considera el más eficiente y económico (Suria *et al.*, 2011). El uso de herbicidas reduce el tiempo de control de malezas en 100 h ha⁻¹ en comparación con el control manual de malezas con SSD. Por lo tanto, la mayoría de los productores de arroz que practican SSD usan herbicidas (Mazid *et al.*, 2003).

Ingredientes activos y su modo de acción

La actividad y selectividad de los herbicidas se basan en la eliminación de malas hierbas según la cantidad y el mecanismo por el cual los ingredientes actúan sobre sus procesos metabólicos esenciales (Morcote, 2013). El Comité de Acción de Tolerancia a los Herbicidas (Herbicide Resistance Action Comitee), desarrollaron un esquema para clasificar los herbicidas según su función. Esto facilita a los investigadores el desarrollo de nuevos productos que ayuden a evitar que las malas hierbas se vuelvan resistentes a los nuevos herbicidas. (Ramírez, 2014). La Tabla 2 muestra la clasificación de los herbicidas por sitio de acción:

Tabla 2. Clasificación de los Herbicidas según el Sitio de Acción.

Grupo HRAC	Sitio de acción	Familia Química	Ingrediente Activo	Grupo WSSA
A	Inhibición de la enzima Acetil Coenzima A Carboxilasa	Ariloxifenoxipropionato	Clodinafop-propargyl Cyhalofop-butyl Diclofop-methyl Fenoxaprop-P-ethyl Fluazifop-P-butyl Haloxifop-R-methyl Propaquizafop Quizalofop-P-ethyl	1

		Ciclohexadiona	Alloxydim Butroxydim Clethodim Cycloxydim Profoxydim Sethoxydim Tepraloxyn Tralkoxydim	
		Fenilpirazolina	Pinoxaden	
B	Inhibición de la enzima Aceto Lactato Sintasa (ALS)	Sulfonilurea	Amidosulfuron Azimsulfuron Bensulfuron-methyl Chlorimuron-ethyl Chlorsulfuron Cinosulfuron Cyclosulfamuron Ethametsulfuron- methyl Ethoxysulfuron Flazasulfuron Flupysulfuron- methyl-Na Foramsulfuron- methyl Halosulfuron-methyl Imazosulfuron Iodosulfuron Mesosulfuron Metsulfuron-methyl Nicosulfuron Oxasulfuron Primisulfuron- methyl Prosulfuron Pyrazosulfuron-ethyl Rimsulfuron Sulfometuron- methyl Sulfosulfuron Thifensulfuron- methyl Triasulfuron Tribenuron-methyl Trifloxysulfuron- methyl Tritosulfuron	2
		Imidazolinona	Imazapic Imazamethabenz- methyl Imazamox Imazapyr Imazaquin Imazethapyr	
		Triazolpirimidina	Cloransulam-methyl Diclosulam florasulam flumetsulam metosulam penoxsulam	
		Pirimidinilribenzoato	Bispyribac-Na Pyribenzoxim Pyriftalid Pyriothiobac-Na Pyriminobac-methyl	

		Sulfonilamino-carboniltriazolinona	Flucarbazone-Na Propoxycarbazone- Na	
C1	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II (PSSII)	Triazina	Ametryne Atrazine Cyanazine Desmetryne Dimethametryne Prometon Prometryne Propazine Simazine Simetryne Terbumeton Terbutylazine Terbutryne Trietazine	5
		Triazinona	Hexazinone Metamitron Metribuzin	
		Trizolinona	Amicarbazone	
		Uracil	Bromacil Lenacil Terbacil	
		Piridazinona	Pyrrazon = cloridazon	
		Fenil-carbamato	Desmetpham Phenmedipham	
C2	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II (PSII)	Urea	Chlorobromuron Cholorotoluron Chloroxuron Dimefuron Diuron Ethidimuron Fenuron Fluometuron (see F3) Isoproturon Isouron Linuron Methabenzthiazuron Metobromuron Metoxuron Monolinuron Neburon Siduron tebutrhiuron	7
		Amide	Propanil Pentanochlor	
C3	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II (PSII)	Nitrilo	Bormofenoxin Bromoxynil Ioxynil	6
		Benzotiadiazinona	Bentazon	
		Fenil-piridazina	Pyridade Pyridafol	

D	Inhibición del flujo de electrones en el fotosistema I (PSI)	Bipiridilo	Diquat Paraquat	22
E	Inhibición de protoporfirogeno Oxidasa (PPO)	Difenileter	Acifluorfen-Na Binefox Clomethoxyfen Fluoroglycofen-ethyl Fomesafen Halosafen Lactofen Oxyfluorfen	14
		Fenilpirazol	Fluazolate Pyraflufen-ehtyl	
		N-fenilftalamida	Cinidon-ethyl Flumioxazin Flumiclorac-pentyl	
		Tiadiazol	Fluthiacet-methyl Thidiazimin	
		Oxadiazol	Oxadiazon Oxadiargyl	
		Triazolinona	Azafenidin Carfentrazone-ethyl Sulfentrazone	
		Oxasoldimediona	Pentoxazone	
		Pyrimidindiona	Benzfendizone Butafenacil	
F1	Inhibición de las síntesis de carotenoides a nivel de la fitoeno desaturasa (PDS)	Piridazinona	Norflurazon	12
		Piridincarboxiamida	Diflufenican Picolinafen	
F2	Inhibición de 4-hidroxifenil- piruvato-dioxigenasa (4-HPPD)	Triketona	Mesotrione Sulcotrione	27
		Isoxasol	Isoxachlortole Isoxaflutole	
		Pirasol	Benzofenap Pyrazolynate Pyrazoxyfen	
F3	Inhibición de la biosíntesis de carotenoides (sitio objetivo desconocido)	Triasol	Amitrole	11
		Isoxazolidinona	Clomazone	
		Urea	Fluometuron	
		Difenileter	Aclonifen	
G	Inhibición de EPSP sintasa	Glicina	Glyphosate Sulfosate	9
H	Inhibición de la glutamino sintasa	Ácido fosfínico	Glufosinate-ammonium Bialaphos = bilanaphos	10
I	Inhibición de DHP (dihidropterato) sintasa	Carbamato	Asulam	18

K1	Inhibición del ensamblaje de microtúbulos de la mitosis	Dinitroanilina	Benefin = benfluralin Butralin Dinitramine Ethalfluralin Oryzalin Pendimethalin Trifluralin	3
		Fosforoamidato	Amiprofos-methyl Butamiphos	
		Piridina	Dithiopyr Thiazopyr	
		Benzamida	Propyzamide = pronamide Tebutam	
		Acido benzoico	DCPA = chlorthal- dimethyl	
K2	Inhibición de la mitosis/Organización de microtúbulos	Carbamato	Chlorpropham Propham Carbetamide	23
K3	Inhibición de la división celular	Cloroacetamida	Acetochlor Alachlor Butachlor Dimethachlor Metazachlor Metolachlor Pethoxamid Pretilachlor Propachlor Thenylchlor	15
		Acetamida	Diphenamid Napropamide Naproanilide	
		Oxyacetamida	Flufenacet Mefenacet	
		Tetrazolinona	Fentrazamide	
L	Inhibición de la síntesis de la pared celular (celulosa)	Nitrilo	Diclobenil Chlorthiamid	20.21.26
		Benzamida	Isoxaben	
		Triazolocarboxamida	Flupoxam	
		Ácido quinolin carboxílico	Quinclorac	
M	Desacople (desorganización de la membrana)	Dinitrofenol	DNOC	24

N	Inhibición de la síntesis de lípidos (no inhibición de ACCasa)	Tiocarbamato	Butylate Cycloate Dimepiperate EPTC Esprocarb Molinate Orbencarb Pebulate Prosulfocarb Thiobencarb = Benthocarb Tiocarbazil Triallate Vernolate	8.26
		Fosforoditioato	Bensulide	
		Benzofuran	Benfuresate Ethofumesate	
		Acido cloro carbónico	TCA Dalapon Flupropanate	
O	Acción como ácido indolacético (Auxinas sintéticas)	Ácido fenoxi- carboxílico	Clomeprop 2,4-D 2,4-DB Dichlorprop = 2,4-DP MCPA MCPB Mecoprop = MCPP = CMPP	4
		Ácido benzoico	Chloramben Dicamba TBA	
		Ácido piridin- carboxílico	Clopyralid Fluroxypyr Picloram Triclopyr	
		Ácido quinolín carboxílico	Quinclorac	
P	Inhibición del transporte de auxinas	Ftalamato	Naptalam Diflufenzopyr-Na	19
Z	Desconocido. Nota: Ya que el sitio de acción de los herbicidas en el grupo Z es desconocido es probable que difieren en el sitio de acción entre sí y con otros grupos	Ácido arilaminopropionico	Flamprop-M-methyl / - isiopropyl	25.26.17
		Pirazolio	Didenzoquat	
		Organoarsenical	DSMA MSMA	

Fuente: Menne (2013)

Entre los herbicidas, las sulfonilureas y los compuestos fenoxi son los productos químicos más utilizados para controlar las malezas de hoja ancha en SSD (Mahajan y Chauhan, 2013b). Rao *et al.*, (2007) informaron sobre el uso extensivo de propanil, pendimetalin, fenoxaprop, molinate, thiobencarb, quinclorac, butachlor y acetochlor para controlar malezas gramíneas. Para controlar plantas anuales y malezas de hoja ancha, se ha encontrado que el herbicida oxadiazon es efectivo (Dickmann *et al.*, 1997). De manera similar, se ha encontrado que la aplicación de bispiribac sodio como postemergencia es muy efectiva contra malezas de hoja ancha (Jabran *et al.*, 2012a). Los herbicidas de preemergencia (oxadiazón, pendimetalina, etc.) se aplican dentro de los tres DDS en el arroz, preferiblemente poco después de la siembra y antes de la emergencia de malezas o cultivos (Jabran *et al.*, 2012 a, b). Los herbicidas de postemergencia temprana (butaclor, propanil, tiobencarb, etc.) se aplican en la etapa de 2 a 4 hojas. Los herbicidas de emergencia tardía (bispiribac-sodio, azimsulfuron, fenoxaprop, etoxysulfuron, 2,4-D, etc.) se aplican comúnmente por vía foliar, con tiempos de aplicación que varían entre 14 y 28 DDS (Awan *et al.*, 2015).

Cuando los cultivos están infestados de malas hierbas complejas y diversas, ningún herbicida por sí solo puede controlar todas las malas hierbas. En tales situaciones, se puede lograr un control efectivo de malezas mediante combinaciones de herbicidas (aplicaciones secuenciales o aplicación en tanque). herbicidas de amplio espectro en combinación con otras prácticas de cultivo. Esta práctica puede controlar eficazmente todos los grupos de malezas, incluidas las malezas herbáceas de hoja ancha (Awan *et al.*, 2015). Singh *et al.*, (2006) informaron que una mezcla en tanque de 50 + 18 g ha⁻¹ fenoxaprop-etilo más etoxisulfuronato 50 + 18 g ha⁻¹ como postemergencia a los 18–21 DDS fue eficaz tanto en malezas forrajeras como de hoja ancha. Al combinar diferentes herbicidas, se debe tener cuidado para asegurar que los diferentes herbicidas sean compatibles entre sí y no tengan efectos antagónicos. Zhang *et al.*, (2005) también encontraron un efecto antagonista sobre la actividad fenoxaprop sobre *Echinochloa spp.* cuando se aplica en combinación con bensulfuron, carfentrazone, halosulfuron y triclopyr. De manera similar, una aplicación de mezcla en tanque de fenoxaprop etilo o cihalofop-butilo con clorimuron más metsulfuron o 2,4-D también mostró un efecto antagónico. Awan *et al.*, (2015) demostraron que el oxadiazon controla eficazmente todas las especies de malezas dominantes presentes en sitio cuando se aplica solo o en combinación con otros herbicidas post-emergentes. Se encontró que es el mejor los herbicidas de amplio espectro cuando se aplica solo o en combinación

con otros herbicidas de postemergencia para controlar de manera efectiva todas las especies de malezas dominantes presentes en el sitio.

Los herbicidas han demostrado ser herramientas muy importantes para el control de malezas en el cultivo de arroz (Zimdahl, 2007). Además, la aplicación de herbicidas requiere el momento adecuado en relación con las etapas de crecimiento del cultivo y las malezas (King y Oliver, 1992), las condiciones climáticas (Hammerton, 1967) y las inundaciones. Por ejemplo, los herbicidas foliares activos como bentazón, 2,4-D y triclopir deben aplicarse después del drenaje para permitir un mejor contacto entre el herbicida y el follaje (Singh *et al.*, 2009). Sin embargo, algunos herbicidas, como el molinato, deben aplicarse en agua, ya que una aplicación en campos drenados provocaría su pérdida por volatilidad. Las sulfonilureas deben aplicarse en agua ya que la inundación actúa como un medio para una distribución uniforme.

En la investigación de Espinoza, (2019, realizada en la localidad de San Pablo, provincia de Los Ríos Ecuador, fue evaluado mezclas de herbicidas de pre-mergencia y post-emergencia en el cultivo de arroz. Según los resultados el mejor control de malezas a los 20 y 40 días se reportó en la mezcla de Clomazone + Bentiocarbo, en dosis de 0,850 L + 4,0 L y Bispiribac sodium + Picloram + 2,4 D amina en dosis de 0,4 L + 0,7 L sin daño evidente al cultivo.

Épocas de aplicación en herbicidas

Según Cerruffo (2018) la aplicación de los herbicidas pueden ser de varios tipos, todo de acuerdo a la época del cultivo y el sistema de siembra, clasificándolos de la siguiente manera:

Pre-Siembra (PS), el herbicida se aplica antes de la siembra. Generalmente se realiza en presencia de malas hierbas.

Presiembra incorporada (PSI). Estos herbicidas se incorporan al suelo durante el cultivo para evitar la evaporación.

Preemergentes (PRE), son aplicados antes de la emergencia de la maleza y del cultivo.

Post-Emergencia (POST): Estos herbicidas se suelen aplicar después de que el arroz ya ha emergido y actúan directamente sobre las hojas de la maleza. Estos son de dos tipos:

- Postemergentes tempranos (POST1), estos son aplicados a los 15 días después que el cultivo haya germinado.
- Postemergentes tardíos (POST2), son aplicados 20 días después que el cultivo haya germinado.

Resistencia a herbicidas en malezas

En la agricultura moderna, los herbicidas tienen un papel vital en el manejo de malezas, la función de los herbicidas está mejor desarrollado en el sistema de arroz aeróbico, haciendo que otros métodos sean menos efectivos y aumentando la infestación de malezas. La selección y propagación de malezas resistentes es un problema muy serio; bajo una continua presión de selección, muchas especies de malezas tolerantes a herbicidas han evolucionado en los sistemas de arroz (Fischer *et al.*, 2000).

Los mecanismos de resistencia a los herbicidas se agrupan en dos tipos: resistencia basada en el sitio objetivo y resistencia basada en el sitio no objetivo. La resistencia basada en el sitio objetivo es causada por la alteración de los sitios objetivo del herbicida. Mientras que la resistencia basada en el sitio no objetivo incluye otros mecanismos de resistencia, como un mayor metabolismo de los herbicidas, un mayor secuestro de herbicidas y una menor absorción de herbicidas (Powles y Yu, 2010).

Un informe reciente mostró que 48 especies de malezas que se encuentran en los cultivos de arroz desarrollaron tolerancia a varios herbicidas (Heap, 2016). La resistencia a los inhibidores de la acetolactato sintasa (ALS) es la forma más común de resistencia en las malas hierbas del arroz. Las principales malezas han desarrollado resistencia a los inhibidores de ALS frente a varios herbicidas incluyen *E. crus-galli* y *C. difformis* (Heap 2016). Después de varios años de uso y abuso de los herbicidas fenoxi (2,4-D) y sulfonilureas en sistemas aeróbicos de arroz, varias especies de malezas, como *S. zeylanica*, *M. minuta* y *F. miliacea*, fueron dejando sin uso estos herbicidas en Tailandia, Malasia y Vietnam (Azmi *et al.*, 2005). De igual forma, han desarrollado resistencia a propanil, quinclorac y clomazone *E. crusgalli* (Talbert y Burgos, 2007).

Estas malas hierbas tolerantes a los herbicidas representan un gran desafío para los productores de arroz, ya que reducen los rendimientos y aumentan los costos de producción (Fischer *et al.*, 2000). Por lo tanto, en este contexto de casos crecientes de resistencia a los

herbicidas, se deben implementar estrategias integradas para controlar las malezas tolerantes a los herbicidas (Fischer y Hill, 2004).

Control biológico

El biocontrol es la técnica de aplicar enemigos naturales (agentes de biocontrol) a las malezas sin afectar significativamente las plantas deseadas. Estos patógenos biológicos incluyen insectos, animales, peces (como la carpa china), caracoles, pájaros (como los patos), microorganismos (como hongos, bacterias, virus y nematodos), sus sustancias tóxicas y plantas (plantas parásitas y compuestos parasitarios). Este enfoque es aún más útil cuando la evolución de algunas malezas tolerantes a herbicidas requiere el desarrollo de nuevas estrategias de control de malezas.

El control biológico se puede dividir en dos enfoques: convencional y bioherbicidas (Hallett, 2005). Los enfoques clásicos que utilizan depredadores o patógenos exóticos no se han implementado en el arroz. Sin embargo, el desarrollo de bioherbicidas es de gran interés para la investigación. Los enfoques de bioherbicidas se basan en enemigos naturales que pueden reducir el impacto negativo de las malezas en el rendimiento de los cultivos al no causar daños. Varios autores han revisado el estado de los bioherbicidas (Charudattan, 2001; Hallett, 2005).

Los patógenos fúngicos se pueden utilizar como agentes biológicos para el control de malezas (Motlagh, 2011). Los hongos *Trichoderma viride* Pers. y *Gliocladium virens* controlan *Echinochloa spp.* en condiciones de laboratorio que no afectan negativamente al cultivo de arroz (ICAR, 2007). De manera similar, se descubrió que el hongo *Fusarium equiseti* infecta a *Echinochloa crus-galli* con más frecuencia en comparación con el cultivo de arroz (Motlagh, 2011). Por lo tanto, *Fusarium equiseti* puede considerarse un bioherbicida que controla *E. crus-galli* en la etapa de crecimiento de dos o tres hojas de la maleza.

Las estrategias biológicas de control de malezas en el arroz también incluyen patos silvestres (Smith y Sullivan, 1980) e insectos (Oraze y Grigarick, 1992). Los agricultores de Arkansas, EE. UU., atraen a los patos inundando los campos de arroz durante el invierno, que controlan el arroz maleza (*Oryza sativa* f. *spontanea*) alimentándose de sus semillas. Una prueba de campo consecutiva de 9 años en China, informó que el cultivo de arroz - pato redujo el número de especies de malezas en el banco de semillas de 38 a 21 y redujo la densidad de semillas de malezas en el suelo en más del 90%. (Li *et al.*, 2012).

Los métodos de control biológico pueden ser herramientas muy útiles para controlar las malas hierbas en el arroz. Sin embargo, la integración de métodos biológicos con otros métodos de control es fundamental en el programa de manejo de los sistemas de producción de arroz (Smith, 1991). Las estrategias biológicas controlan un espectro comparativamente estrecho de especies de malezas en comparación con los métodos químicos u otros.

Manejo integrado de malezas

Como se mencionó anteriormente, las malezas son un factor limitante importante en el cultivo de arroz, especialmente en SSD, y el manejo adecuado de las malezas garantiza el éxito del cultivo de arroz. Hasta la década de 1940, los medios físicos, culturales y biológicos fueron los principales medios de control de malezas (Juraimi *et al.*, 2013). Desde su introducción a fines de la década de 1940, se ha creído que los herbicidas pueden resolver los problemas de malezas a largo plazo. Sin embargo, después de más de 50 años de uso intensivo de herbicidas, cada vez es más claro el uso exclusivo de herbicidas, lo que lo convierte en una estrategia a corto plazo (Juraimi *et al.*, 2013). El uso intensivo de herbicidas puede conducir a la contaminación ambiental, el desarrollo de resistencia a los herbicidas (Heap, 2016) y el empobrecimiento de la flora y la fauna natural. Además, la presencia de malezas rústicas y compleja significa que no solo puede fallar un método para controlar las malezas, sino que también puede conducir a al desarrollo de malezas complejas (Jabran y Chauhan). 2015). Debido a todos estos problemas, existe la necesidad de encontrar maneras de cómo reducir los peligros ambientales injustificados que plantea el uso de herbicidas y cómo eliminar el deshierbe manual que requiere mucha mano de obra en el arroz. Por lo tanto, existe la necesidad de reevaluar las estrategias de control de malezas físicas, culturales y biológicas integradas con métodos químicos de control de malezas. Un sistema que combina múltiples métodos de control de malezas se denomina control integrado de malezas. Esto incluye la selección, integración e implementación de medidas efectivas de control de malezas considerando sus impactos económicos, ambientales y sociales. El manejo integrado de malezas hace un mejor uso de los recursos y ofrece una gama más amplia de opciones de manejo (Buhler *et al.*, 2000).

La integración de prácticas agronómicas mejoradas, la puntualidad de las operaciones, fertilización óptima, manejo del agua e incorporación de residuos de cultivos al suelo, aumenta la eficiencia de los herbicidas aplicados y mejora la competitividad de las plantas contra las malezas (Chauhan *et al.*, 2012). Subramanian y Martin (2006) informaron que se logró un control eficaz de malezas con pretilacloro y protector a 400 g ha⁻¹ combinado con

cultivos intercalados de sesbania combinado con azolla. Pretilaclor con safener + intercalado de daincha + cultivo dual de azolla mantuvo su superioridad al registrar mayores rendimientos de grano (57,4 q ha⁻¹).

Muchos investigadores han defendido la adopción de un enfoque integrado de manejo de malezas para la producción sostenible de arroz (Bhurer *et al.*, 2013). Por lo tanto, el manejo integrado de malezas es la opción más viable y práctica para lograr un control sostenible de las malezas en los sistemas de arroz, proporcionando no solo un control económico de las malezas sino también el uso adecuado de herbicidas y evitar degradación ambiental.

Arroz tolerante a herbicidas

Se han introducido varios herbicidas selectivos que afectan negativamente a las malas hierbas sin afectar al arroz. Sin embargo, las malezas resistentes a los herbicidas y el arroz silvestre se están convirtiendo en un desafío cada vez mayor para los productores de arroz en todo el mundo (Mubeen *et al.*, 2014). La introducción de arroz tolerante a herbicidas puede ser una herramienta muy útil para el control de maleza.

Cuando el arroz es tolerante a herbicidas específicos o herbicidas que pueden dañar la planta, se denomina arroz tolerante a herbicidas (IRRI, 2015). Se desarrollaron tres sistemas de arroz tolerantes a herbicidas. Estos son tolerantes a: imidazolinona, glufosinato y glifosato (Gealy *et al.*, 2003). La tecnología transgénica se ha utilizado para cultivares de arroz tolerantes al glufosinato-glifosato. El arroz tolerante a la imidazolinona se desarrolló mediante mutagénesis de semillas inducida químicamente y mejoramiento convencional. Los cultivares de arroz tolerantes a herbicidas son una forma clásica, segura, novedosa y eficaz de controlar las malas hierbas mediante la aplicación de un método herbicida de nueva generación, altamente eficaz, no tóxico y rápidamente biodegradable (Mahajan y Chauhan 2013 a)

El primer arroz tolerante a herbicidas (Clearfield®) se desarrolló en los Estados Unidos para controlar las malas hierbas comúnmente conocidas como arroz rojo en los Estados Unidos. Hasta 2012, era el único arroz tolerante a herbicidas disponible para los productores en algunos países. La tecnología de arroz tolerante a herbicidas de Clearfield ofrece una opción para controlar las malas hierbas del arroz usando herbicidas de imidazolinona, particularmente imazetapir (Croughan, 2003; Reyes *et al.*, 2020). Además del arroz Clearfield, también se han desarrollado otros cultivares de arroz tolerantes a herbicidas, como el arroz Liberty Link® y Roundup Ready® (IRRI, 2015).

El arroz tolerante a herbicidas puede ayudar a mejorar el control de malezas y reduce los costos de producción. Sin embargo, si esta herramienta no se maneja adecuadamente, los problemas de malezas se pueden agravar, especialmente en los sistemas de monocultivo. Si la resistencia a los herbicidas se propaga a las malezas y al arroz silvestre, su control puede volverse más difícil. Además, con el aumento del uso de un solo tipo de herbicida, muchas malezas pueden desarrollar resistencia a herbicidas similares. Por lo tanto, puede reducir la eficacia de los herbicidas actuales. El arroz tolerante a herbicidas se convierte en un problema cuando las semillas de arroz tolerantes a herbicidas en el suelo se convierten en malas hierbas en los años siguientes cuando se cultivan diferentes variedades de arroz. Hay una larga lista de malezas de arroz en todo el mundo que han desarrollado resistencia a los herbicidas (Heap, 2016).

7.6. Conclusiones

Las malas hierbas son limitaciones biológicas clave que obstruyen el crecimiento y la productividad de los sistemas de arroz. La flora de malezas está cambiando rápidamente en respuesta a cambios en el manejo agronómico. Por lo tanto, se necesitan estrategias y tecnologías apropiadas de manejo de malezas para mantener la estabilidad del rendimiento y reducir el costo de producción.

Hay varias estrategias en el manejo de malezas para los sistemas de arroz en combinación con herramientas agronómicas como: la densidad de siembra, el espacio entre hileras, el patrón de siembra y la explotación de cultivares competitivos de malezas. El uso de una sola estrategia no puede proporcionar un control de malezas eficaz y sostenible durante toda la temporada, por la variabilidad y diferentes hábitos de crecimiento en estos organismos.

7.7. Bibliografía

Anwar MP, Juraimi AS, Puteh A, Selamat A, Man A, Hakim MA (2011) Seeding method and rate influence on weed suppression in aerobic rice. *Afr J Biotechnol* 10:15259–15271.

Avola G, Tuttobene R, Gresta F, Abbate V (2008) Weed control strategies for grain legumes. *Agron Sustain Dev* 28:389–395.

Awan TH, Cruz PCS, Chauhan BS (2015) Agronomic indices, growth, yield-contributing traits, and yield of dry-seeded rice under varying herbicides. *Field Crop Res* 177:15–25.

Azmi M, Abdullah MZ (1998) A manual for the identification and control of padi angin (weedy rice) in Malaysia. MARDI Publication, Serdang, p. 18.

Azmi M, Baki BB (1995) The succession of noxious weeds in tropical Asian rice fields with emphasis on Malaysian rice ecosystem. Proceedings of 15th Asian Pacific Weed Science society Conference, Tsukuba, pp. 51–67.

Azmi M, Chin D, Vongsaroj P, Johnson D (2005) Emerging issues in weed management of direct-seeded rice in Malaysia, Vietnam, and Thailand. In: Toriyama K, Heong KL, Hardy B (eds) Rice is life: scientific perspectives for the 21st century. International Rice Research Institute, Philippines Proceedings world rice research conference, Tokyo and Tsukuba, November, 4–7, 2004, Japan, pp. 196–198.

Azmi M, Rezaul MR (2008) Weedy rice- biology, ecology and management. MARDI Publication, Kuala Lumpur, p. 56.

Bhurer KP, Yadav DN, Ladha JK, Thapa RB, Pandey K (2013) Effect of integrated weed management practices on performance of dry direct seeded rice (*Oryza sativa* L.). Agron J Nepal 3:53–63

Buhler DD (2002) Challenges and opportunities for integrated weed management. Weed Sci 50:273–280.

Buhler DD, Liebman M, Obrycki JJ (2000) Theoretical and practical challenges to an IPM approach to weed management. Weed Sci 48:274–280.

Cadena, D; Helfgott, S; Drouet, A; Cobos, F and Rojas, N. (2021). "Herbicides in the Irrigated Rice Production System in Babahoyo, Ecuador, Using Neutrosophic Statistics." Neutrosophic Sets and Systems 39, 1 ().
https://digitalrepository.unm.edu/nss_journal/vol39/iss1/13.

Cerruffo, O. (2018). Manejo de malezas en arroz de riego (*Oryza sativa* L.) sembrado con semilla pre-germinada, en la zona de Babahoyo (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2018).

Charudattan R (2001) Biological control of weeds by means of plant pathogens: significance for integrated weed management in modern agroecology. BioControl 46:229–260.

Chauhan BS (2013a) Effect of tillage systems, seeding rates, and herbicides on weed growth and grain yield in dry-seeded rice systems in the Philippines. Crop Prot 54:244–250.

- Chauhan BS (2013b) Strategies to manage weedy rice in Asia. *Crop Prot* 48:51–56.
- Chauhan BS, Abugho SB (2013) Effects of water regime, nitrogen fertilization, and rice plant density on growth and reproduction of lowland weed *Echinochloa crus-galli*. *Crop Prot* 54:142–147
- Chauhan BS, Johnson DE (2009) Influence of tillage systems on weed seedling emergence pattern in rainfed rice. *Soil Tillage Res* 106:15–21
- Chauhan BS, Johnson DE (2010a) The role of seed ecology in improving weed management strategies in the tropics. *Adv Agron* 105:221–262.
- Chauhan BS, Johnson DE (2010b) Implications of narrow crop row spacing and delayed *Echinochloa colona* and *Echinochloa crus-galli* emergence for weed growth and crop yield loss in aerobic rice. *Field Crop Res* 117:177–182.
- Chauhan BS, Mahajan G, Sardana V, Timsina J, Jat ML (2012) Productivity and sustainability of the rice-wheat cropping system in the Indo-Gangetic Plains of the Indian subcontinent: problems, opportunities, and strategies. *Adv Agron* 117:315–369.
- Chauhan BS, Opeña J (2012) Effect of tillage systems and herbicides on weed emergence, weed growth, and grain yield in dry-seeded rice systems. *Field Crop Res* 137:56–69
- Chauhan BS, Opeña J (2013a) Implications of plant geometry and weed control options in designing a low-seeding seed-drill for dry-seeded rice systems. *Field Crop Res* 144:225–231
- Chauhan BS, Opeña J (2013b) Weed management and grain yield of rice sown at low seeding rates in mechanized dry-seeded systems. *Field Crop Res* 141:9–15
- Croughan TP (2003) Clearfield rice: it's not a GMO. *Louisiana Agric* 46:24–26.
- Davis AS, Liebman M (2003) Cropping system effects on giant foxtail (*Setaria faberi*) demography: I. Green manure and tillage timing. *Weed Sci* 51:919–929.
- De Datta SK, Baltazar AM (1996) Weed control technology as a component of rice production systems. In: Auld BA, Kim KU (eds) *Weed management in rice*. FAO plant production and protection paper 139, Rome, pp. 27–52

Delouche JC, Burgos NR, Gealy DR, Zorilla-San Martin G, Labrada R, Larinde N (2007) Weedy rices: origin, biology, ecology and control. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Dickmann R, Melgarelo J, Loubiere P, Montagnon M (1997) Oxadiargyl: a novel herbicide for rice and sugarcane. In: Proceedings of the 1997 British Crop Protection Conference-Weeds, Brighton, pp. 51–57.

Espinoza, F. (2019). Mezclas de herbicidas de pre-emergencia y post-emergencia en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) de riego en la zona de Babahoyo (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2019).

Farooq M, Jabran K, Cheema ZA, Wahid A, Siddique KH. (2011) The role of allelopathy in agricultural pest management. *Pest Manag Sci* 67:493–506.

Fischer AJ, Ateh CM, Bayer DE, Hill JE (2000) Herbicide-resistant *Echinochloa oryzoides* and *E. phyllopogon* in California *Oryza sativa* fields. *Weed Sci* 48:225–230.

Fischer AJ, Hill JE (2004) Weed control programs. In: University of California Cooperative Extension and California Rice Research Board (ed) Rice production workshop. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, pp. 9.1–9.10.

Fischer AJ, Ramirez HV, Lozano J (1997) Suppression of jungle rice [*Echinochloa colona* (L.) Link] by irrigated rice cultivars in Latin America. *Agron J* 89:516–552

Fofana B, Rauber R (2000) Weed suppression ability of upland rice under low-input conditions in West Africa. *Weed Res* 40:271–280.

Gealy DR, Mitten DH, Rutger JN (2003) Gene flow between red rice (*Oryza sativa*) and herbicide resistant rice (*O. sativa*): implications for weed management. *Weed Technol* 17:627–645.

Gibson KD, Fischer AJ, Foin TC, Hill JE (2002) Implications of delayed *Echinochloa* spp. Germination and duration of competition for integrated weed management in water-seeded rice. *Weed Res* 42:351–358.

Gibson KD, Foin TC, Hill JE (1999) The relative importance of root and shoot competition between water-seeded rice and water grass. *Weed Res* 39:181–190.

- Hallett SC (2005) Where are the bioherbicides? *Weed Sci* 53:404–415.
- Harding SS, Jalloh AB (2011) Evaluation of the relative weed competitiveness of upland rice varieties in Sierra Leone. *African J Plant Sci* 5:396–400
- Heap I (2016) The international survey of herbicide resistant weeds. www.weedscience.org.
- Ho NK (1991) Comparative ecological studies of weed flora in irrigated rice fields in the Muda area. Muda Agricultural Development Authority, Telok Chenga, Alor Setar Kedah, p. 97.
- ICAR (2007) Vision 2025. NRCWS perspective plan. Indian Council of Agriculture Research, New Delhi
- IRRI (2015) Herbicide-resistant rice. <http://irri.org/news/hot-topics/herbicide-resistant-rice>.
- Jabran K, Chauhan BS (2015) Weed management in aerobic rice systems. *Crop Prot* 78:151–163.
- Jabran K, Ehsanullah E, Hussain M, Farooq M, Babar M, Dogan MN, Lee DJ (2012a) Application of bispyribac-sodium provides effective weed control in direct-planted rice on a sandy loam soil. *Weed Biol Manag* 12:136–145.
- Jabran K, Farooq M, Hussain M, Ehsanullah, Khan MB, Shahid M, Lee DJ (2012b) Efficient weeds control with penoxsulam application ensures higher productivity and economic returns of direct seeded rice. *Int J Agric Biol* 14:901–907.
- Jabran K, Mahajan G, Sardana V, Chauhan BS (2015) Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Prot* 72:57–65.
- Jannink JL, Orf JH, Jordan NR, Shaw RG (2000) Index selection for weed suppressive ability in soybean. *Crop Sci* 40:1087–1094.
- Johnson DE (1996) Weed management in small holder rice production in the tropics. <http://ipmworld.umn.edu/chapters/johnson.htm>.
- Jordan N (1993) Prospects for weed control through crop interference. *Ecol Appl* 3:84–91.

Juraimi AS, Uddin Md K, Anwar Md P, Mohamed MTM, Ismail Mohd R, Azmi M (2013) Sustainable weed management in direct seeded rice culture: a review. *Aust J Crop Sci* 7:989–1002.

Karim SMR, Man AB, Sahid IB (2004) Weed problems and their management in rice fields of Malaysia: an overview. *Weed Biol Manage* 4:177–186.

Kristensen L, Olsen J, Weiner J (2008) Crop density, sowing pattern, and nitrogen fertilization effects on weed suppression and yield in spring wheat. *Weed Sci* 56:97–102.

Kumar V, Bellinder RR, Gupta RK, Malik RK, Brainard DC (2008) Role of herbicide-resistant rice in promoting resource conservation technologies in rice–wheat cropping systems of India: a review. *Crop Prot* 27:290–301.

Li SS, Wei SH, Zuo RL, Wei JG, Qiang S (2012) Changes in the weed seed bank over 9 consecutive years of rice-duck farming. *Crop Prot* 37:42–50.

Lotz LAP, Wallinga J, Kropff MJ (1995) Crop-weed interactions: quantification and prediction. In: Glen DM, Greaves MP, Anderson HM (eds) *Ecology and integrated farming systems*. Wiley and Sons, Chichester, pp. 31–47.

Lovato, R; Giménez, L & López, M. (2022). *Ecología de comunidades de malezas de arroz (Oryza sativa L.) como aporte hacia una agricultura sustentable*. Ediciones INTA.

Mahajan G, Chauhan B, Johnson D (2009) Weed management in aerobic rice in Northwestern Indo-Gangetic Plains. *J Crop Improv* 23:366–382.

Mahajan G, Chauhan BS (2011) Effects of planting pattern and cultivar on weed and crop growth in aerobic rice system. *Weed Technol* 25:521–525.

Mahajan G, Chauhan BS (2013a) The role of cultivars in managing weeds in dry-seeded rice production systems. *Crop Prot* 49:52–57

Mahajan G, Chauhan BS (2013b) Herbicide options for weed control in dry-seeded aromatic rice in India. *Weed Technol* 27:682–689

Matloob A, Khaliq A, Chauhan BS (2015) Weeds of direct-seeded rice in Asia: problems and opportunities. *Adv Agron* 130:291–336.

Mazid MA, Jabber MA, Mortimer M, Wade LJ, Riches CR, Orr AW (2003) Improving rice-based cropping systems in north-west Bangladesh: diversification and weed management. In: The BCPC International Congress, Crop Prod Prot, Hampshire, UK, BCPC publisher, pp. 1029–1034.

Mennan H, Ngouajio M, Sahin M, Isik D, Altop EK (2012) Competitiveness of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars against *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. in water-seeded production systems. *Crop Prot* 41:1–9.

Menne, H. (2013). Classification of Herbicides According to Side of Action. Ficha Informativa, Comité de Acción contra la Resistencia a Herbicidas. Obtenido de <http://www.weedscience.org/Documents/ShowDocuments.aspx?DocumentID=1193>

mith RJ Jr (1991) Integration of biological control agents with chemical pesticides. In: TeBeest DO (ed) *Microbial control of weeds*. Chapman and Hall, New York, pp. 189–208.

Moody K, Cordova VG (1985) Wet-seeded rice. In: *Women in rice farming*. International Rice Research Institute, Los Baños, pp. 467–480

Morcote, H. (2013). Eficacia y selectividad de Amicarbazone aplicado en diferentes dosis en caña panelera (*Saccharum officinarum* L.), en Güepsa, Santander. *Ciencia y Agricultura*, X(1), 47-56.

Motlagh MRS (2011) *Fusarium Equiseti* (corda) Saccardo as biological control agent of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* L.) in rice fields. *J Food Agric Environ* 9:310–313.

Motlagh MRS (2011) *Fusarium Equiseti* (corda) Saccardo as biological control agent of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* L.) in rice fields. *J Food Agric Environ* 9:310–313.

Moukoumbi YD, Sie M, Vodouhe R, Bonou W, Toulou B, Ahanchede A (2011) Screening of rice varieties for their weed competitiveness. *Afr J Agric Res* 6:5446–5456.

Mubeen K, Nadeem M, Tanveer A, Jhala A (2014) Effects of seeding time and weed control methods in direct seeded rice (*Oryza sativa* L.). *J Anim Plant Sci* 24:534–542.

Mukherjee D (2004) Weed management in rice. *Agric Today* 11:26–27.

Namuco OS, Cairns JE, Johnson DE (2009) Investigating early vigour in upland rice (*Oryza sativa* L.): part I. Seedling growth and grain yield in competition with weeds. *Field Crop Res* 113:197–206.

Ni H, Moody K, Robles RP, Paller EC, Lales JS (2000) *Oryza sativa* plant traits conferring competitive ability against weeds. *Weed Sci* 48:200–204.

Nichols V, Verhulstb N, Cox R, Govaerts B (2015) Weed dynamics and conservation agricultura principles: a review. *Field Crop Res* 183:56–68.

Oerke EC (2006) Crop losses to pests. *J Agric Sci* 144(01):31–43.

Oliver LR, Klingaman TE, McClelland M, Bozsa RC (1993) Herbicide systems in stale seedbed soybean (*Glycine max*) production. *Weed Technol* 7:816–823.

Oraze MJ, Grigarick AA (1992) Biological control of ducksalad (*Heteranthera limosa*) by wáterlily aphid (*Rhopalosiphum nymphaeae*) in rice (*Oryza sativa*). *Weed Sci* 40:333–336.

Ordeñana, R. (2013). *Bioecología y Fisiogenética de Malezas*. Babahoyo, Los Rìos, Ecuador: Editorial Malena.

Powles SB, Yu Q (2010) Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annu Rev Plant Biol* 61:317–347.

Ramírez, J. (2014). *Dinámica poblacional de malezas del cultivo de arroz en las zonas centro, meseta y norte del departamento del Tolima*. Tesis o trabajo de Investigación presentado como requisito para optar al título de Magister en Ciencias Agrarias-Malherbología, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Bogotá, Colombia.

Rao AN (2011) Integrated weed management in rice in India. In: *Rice Knowledge Management Portal (RKMP)*. Directorate of Rice Research, Rajendranagar, pp. 1–35.

Rao AN, Johnson DE, Sivaprasad B, Ladha JK, Mortimer AM (2007) Weed management in direct- seeded rice. *Adv Agron* 93:153–255.

Rao AN, Moody K (1994) Ecology and management of weeds in farmers' direct seeded rice (*Oryza sativa* L.) fields. International Rice Research Institute, Los Baños.

Reyes Borja, W. O., Santelices Villalta, J. C., Quispe Sandoval, M. F., & Cobos Mora, F. J. (2020). Variación hereditaria de líneas F2 de arroz (*Oryza sativa* L. ssp. *indica*) derivadas de un parental femenino portador del gen Clearfield. *Journal of Science and Research*, 5(CININGEC), 275–293. Recuperado a partir de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/1013>.

Rocafuerte, Á. (2019). Herbicidas postemergentes en el manejo de control de malezas y su efecto en el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2019).

Rodenburg J, Johnson DE (2009) Weed management in rice-based cropping systems in Africa. *Adv Agron* 103:149–218.

Roder W (2001) Slash-and-burn rice systems in the hills of northern Lao PDR. In: Description, challenges, and opportunities. International Rice Research Institute, Los Baños, p. 201.

Saito K, Azoma K, Rodenburg J (2010b) Plant characteristics associated with weed competitiveness of rice under upland and lowland conditions in West Africa. *Field Crop Res* 116:308–317.

Saito K, Phanthaboon K, Shiraiwa T, Horie T, Futakuchi K (2010a) Genotypic variation in ability to recover from weed competition at early vegetative stage in upland rice. *Plant Prod Sci* 13:116–120.

Shrestha A, Lanini T, Mitchell J, Wright S, Vargas R, Tulare UCCE, County M (2005) An update of weed management issues in conservation tillage systems. *California Weed Science Society Proceedings*, Monterey, CA, pp. 58–63.

Sindhu PV, Thomas CG, Abraham CT (2010) Seed bed manipulations for weed management in wet seeded rice. *Indian J Weed Sci* 42:173–179

Singh G, Singh Y, Singh VP, Johnson DE, Mortimer M (2005a) System level effects in weed management in rice-wheat cropping in India. BCPC International Congress on Crop Science and Technology-2005. SECC, Glasgow.

Singh M, Bhullar MS, Chauhan BS (2015) Influence of tillage, cover cropping, and herbicides on weeds and productivity of dry direct-seeded rice. *Soil Tillage Res* 147:39–49.

Singh S, Bhushan L, Ladha JK, Gupta RK, Rao AN, Shivaprasad B (2006) Weed management in dry-seeded rice (*Oryza sativa*) cultivated on furrow irrigated raised bed planting system. *Crop Prot* 25:487–495.

Singh S, Chhokar RS, Gopal R, Ladha JK, Gupta RK, Kumar V, Singh M (2009) Integrated weed management: a key to success for direct-seeded rice in the Indo-Genetic Plains. In: Ladha JK, Singh Y, Errenstein O, Hardy B (eds) *Integrated crop and resource management in the rice – wheat system of South Asia*. International Rice Research Institute, Los Banos, pp. 261–278

Singh Y, Singh G (2008) Cropping systems and weed flora of rice and wheat in the Indo Gangetic plains. In: Singh Y, Singh VP, Chauhan B, Orr A, Mortimer AM, Johnson DE, Hardy B (eds) *Direct seeding of rice and weed management in irrigated rice wheat cropping system of the Indo Gangetic Plains*. Los Banos, International Rice Research Institute and Pantnagar: Directorate of Experiment Station, G B Pant University of Agriculture and Technology, pp. 33–43.

Smith RJ Jr, Sullivan JD (1980) Reduction of red rice grain in rice fields by winter feeding of ducks. *Arkansas Farm Res* 29:3

Subramanian E, Martin GJ (2006) Effect of chemical, cultural and mechanical methods of weed control on wet seeded rice. *Indian J Weed Sci* 38:218–220.

Suria ASMJ, Juraimi AS, Rahman MM, Man AB, Selamat A (2011) Efficacy and economics of different herbicides in aerobic rice system. *Afr J Biotechnol* 10:8007–8022.

Talbert RE, Burgos NR (2007) History and management of herbicide-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in Arkansas rice. *Weed Technol* 21:324–331.

Timsina J, Haque, Chauhan BS, Johnson DE (2010) Impact of tillage and rice establishment methods on rice and weed growth in the rice-maize-mungbean rotation in northern Bangladesh. Presented at the 28th International Rice Research Conference, 8–12 November 2010. Hanoi, Vietnam OP09: Pest, Disease, and Weed Management

Vanegas, F., & Muñoz, R. (1984). *Malezas Tropicales del Litoral Ecuatoriano*. Institución Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental "Pichilingue". Quito, Ecuador: INIAP.

Zhao DL, Atlin GN, Bastiaans L, Spiertz JHJ (2006) Cultivar-weed competitiveness in aerobic rice: heritability, correlated traits, and the potential for indirect selection in weed-free environment. *Crop Sci* 46:372–380.

Zhao DL, Bastiaans L, Atlin GN, Spiertz JHJ (2007) Interaction of genotype \times management on vegetative growth and weed suppression of aerobic rice. *Field Cro.*



ISBN: 978-9942-606-08-2



9 789942 606082

