



El Colegio de la Frontera Sur Université de Sherbrooke

Potencial de la ricicultura en tierras saladas

TESINA

presentada como requisito parcial para optar al grado de
Maestría Profesionalizante en Ecología Internacional

por

Etna Torres Quiroz

2015

Contenido

Contenido	i
Agradecimientos	iii
Resumen.....	iv
Résumé.....	v
Lista de cuadros.....	vi
Lista de figuras.....	vi
Lista de abreviaciones	vii
Lista de acrónimos	vii
Glosario.....	viii
Introducción.....	1
Objetivos.....	3
1. Capítulo I. La importancia del arroz como alimento básico	4
1.1. Principales consumidores de arroz	4
1.2. Principales importadores	5
1.3. Principales productores de arroz en el mundo.	6
1.4. Problemas en la ricultura.....	10
2. Capítulo II Variedades de arroz y su cultivo	12
2.1. Las variedades de arroz.....	12
2.2. Aportaciones nutrimentales del arroz.....	14
2.3. Los arrozales.....	16
2.4. Factores ambientales en la producción de arroz de secano	18
3. Capítulo III. La salinización del suelo y sus efectos sobre el arroz.	23
3.1. Efectos de la sales en el cultivo de arroz.....	26
4. Capítulo IV. Los arrozales en tierras saladas	30
5. Capítulo V. Variables exógenas	33
5.1. Competitividad y Economía	33

5.2.	Políticas	34
5.3.	Ciencia	36
5.4.	Aspectos internacionales	41
5.5.	Las semillas y el desarrollo rural	42
5.6.	Uso de semillas nativas	43
5.7.	Los consumidores	43
5.8.	Apoyos y subsidios	44
6.	Conclusiones y recomendaciones.....	45
	Recomendaciones	50
7.	Referencias	54

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y al gobierno de Canadá por su apoyo económico, sin el cual este ensayo no existiría.

Gracias a todos los profesores de la MEI que me inspiraron y llenaron de conocimiento. Agradezco de manera especial al Doctor Jorge Mendoza Vega por ser mi guía en el desarrollo de esta tesina, por su apoyo tanto académico como moral y por la paciencia que me brindó.

Los valores que me permitieron enfrentar cada etapa de mi vida se los debo a mis padres. Agradezco a mi padre Juan Miguel que me dio la fortaleza y la objetividad para decidir mis batallas. A mi madre Lourdes por enseñarme a percibir el amor oculto entre las palabras. A mis hermanos Oscar y Omar por su apoyo y amor incondicional. A mis sobrinos Eduardo y Lorena por brindarme alegría y confianza.

También agradezco a mis compañeros y amigos encontrados en este camino por alentarme a esforzarme siempre más. A mis amigos de la generación 2014-2016 por hacerme recordar las emociones de comenzar un nuevo proyecto.

El ciclo de la maestría termina dejando sus enseñanzas plasmadas en mí. Los retos del camino permitieron el recuento conmigo misma, esclareciendo mis prioridades y objetivos en la vida.

Resumen.

Apoyar el desarrollo de la agricultura es la mejor forma de erradicar la pobreza y el hambre de los pueblos. Promover nuevas estrategias para la producción de alimentos agrícolas es cada vez más importante, especialmente por la pérdida de tierras productivas. La salinización de tierras es una de las causas de improductividad que más preocupa a la ciencia. Este problema afecta alrededor del 25% de las tierras de regadío tan sólo en las zonas áridas y semiáridas del planeta. Uno de los cultivos más importantes a nivel mundial es el arroz, alimento base para más de la mitad del mundo. En un inicio el arroz era una especie cultivada en seco que mutó hacia una especie de inundación. Asia ha sido, históricamente, el continente con mayor producción (y consumo) de arroz en el mundo. Por esta razón, las variedades más desarrolladas y de mayor importancia económica son las asiáticas. Sin embargo, existen variedades resistentes a la salinidad, domesticadas y silvestres, tanto africanas como asiáticas. El cultivo de arroz en tierras saladas existe en varias regiones del mundo. Esta actividad, sin embargo, está limitada a una producción local. Es decir, agricultura de subsistencia. Esta agricultura puede ser una opción de aprovechamiento para las parcelas improductivas por la salinidad. Sin embargo, para que este cultivo sea competitivo en el mercado internacional deben crearse variedades de secano resistentes a la salinidad y de alto rendimiento.

Palabras clave: Tierras saladas. Arroz. África. Asia. ALC

Résumé

L'appui au développement de l'agriculture est la meilleure façon de lutter contre la pauvreté et la faim. La création de nouvelles stratégies pour la production alimentaire est de plus en plus importante, en raison notamment de la perte de productivité des terres agricoles. La salinisation des terres est l'une des causes de cette perte de productivité. Cette problématique touche environ 25% des terres irriguées dans les zones arides et semi-arides de la planète. Une des cultures les plus importantes au niveau mondial est le riz, la base alimentaire de plus de la moitié de la population mondiale. Originellement, le riz est une plante de milieux secs, qui a muté pour devenir une plante semi-aquatique ; il est ainsi le résultat d'une adaptation à l'environnement agricole. L'Asie a toujours été le continent qui produit et qui consomme le plus de riz au niveau mondial. Pour cette raison, les variétés les plus développées et aussi les plus importantes dans l'économie sont les espèces asiatiques. Cependant, parmi les variétés sauvages et domestiques qui sont adaptées à la salinité, on retrouve aussi bien les variétés asiatiques que les variétés africaines. Ainsi, la culture du riz sur les terres salées se fait déjà dans quelques régions de l'Asie, de l'Afrique et de l'Amérique. Par conséquent, la culture du riz peut être une alternative pour utiliser les terres peu productives touchée par la salinisation. Néanmoins, il s'agit d'une agriculture essentiellement vivrière, du fait de la basse productivité de ces terres. Pour avoir une production du riz sur les terres salées compétitive au niveau du marché international, il faut développer des variétés résistantes à la sécheresse et à la salinité qui soient de haut rendement. **Mots clés** : Terres salées, riz, Afrique, Asie, ALC

Lista de cuadros

Cuadro 1.1 Producción en toneladas de arroz cáscara de las principales regiones productoras	8
Cuadro 2.1 Contenido nutricional de 5 variedades de arroz.....	15
Cuadro 3.1 Relación de tipo de suelo de salino a sódico. Muestra las principales propiedades que ayudan a determinar el tipo de salinización del suelo.....	25
Cuadro 3.2. Efectos de la salinidad y la alcalinidad sobre el desarrollo de la planta de arroz.	29
Cuadro 4.1 Cambios en la concentración de sales en parcelas con problemas de salinización como consecuencia del cultivo de arroz.	31
Cuadro 5.1 Variedades de arroz identificadas como resistente o altamente resistentes al estrés salino.	38

Lista de figuras

Figura 1.2. Proporción de la producción de arroz con cáscara por continente (promedio 1993-2013). Fuente (FAO, 2014c).	8
Figura 1.3 Producción promedio (1993-2013) de arroz cáscara de las cinco principales regiones productoras de arroz.....	9

Lista de abreviaciones

ALC	América Latina y el Caribe
CE	Conductividad Eléctrica.
SAR	Relación de Adsorción de Sodio

Lista de acrónimos

FAO	United Nations Food and Agriculture Organization por sus siglas en inglés. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
FLAR	Fondo Latinoamericano para el Arroz de Riego.
IRRI	The International Rice Research Institute
NERICA	Acrónimo del inglés New Rice for Africa
ONU	Organización de las Naciones Unidas.
SES	Standard Evaluation System of Rice por sus siglas en inglés.
WARDA	Asociación de África Occidental para el Fomento del Arroz por sus siglas en inglés.

Glosario

Acamar	Dicho del viento y de la lluvia. Hacer que se tienda o recueste el arroz y otras plantas semejantes.
Arroz de secano	Arroz cultivado y cosechado en seco y que depende de las lluvias para obtener humedad.
Arroz anegado	Arroz cultivado en parcelas inundadas. Arroz de regadío.
dS/cm	deciSiemenes sobre centímetro. Unidad de conductividad eléctrica
CO ₂ eq	Equivalentes de Dióxido de carbono.
Elongación	La elongación del tallo es la etapa 3 del desarrollo de la planta del arroz. Comienza con la aparición del cuarto entrenudo del tallo principal y dura hasta que el tallo está completamente elongado.
Fitomejoramiento	Se toman variedades de arroz con niveles nutricionales más altos y las someten a esquemas de mejoramiento con las variedades comúnmente cultivadas.
Lígula	Especie de estípula situada entre el limbo y el pecíolo de las hojas de las gramíneas.
Macollamiento	Segunda etapa de desarrollo de la planta del arroz. Comienza con la aparición del primer hijo y termina con la aparición del último de ellos.
Rival®	Arroz del valle, por sus siglas en francés Riz de la Vallée, introducido por la plataforma de apoyo a las iniciativas del Norte.

Potencial del cultivo de arroz en tierras saladas.

El arroz es vida

Lema del año internacional del arroz (2004)

Introducción

La falta de alimento en una población se refleja en todos los niveles de la sociedad, desde la salud de los individuos hasta la economía de las naciones. Por esto, es un deber de las naciones asegurar al acceso a los alimentos, meta factible a través de la cooperación internacional. El aumento de la población, los conflictos bélicos, la geografía de los países, las relaciones internacionales y los intereses políticos son algunos de los aspectos que deben ser considerados al establecer estrategias para cumplir con el derecho universal de la alimentación (CNDH, 2012; FAO, 2013a).

La seguridad alimentaria es aún un tema polémico, pues involucra la calidad de vida de los ciudadanos y la economía de los países, conceptos que hasta ahora siguen siendo imprecisos. Por esto, la definición de seguridad alimentaria entre países y organizaciones difiere. De manera general, existe seguridad alimentaria cuando todos tienen acceso en todo momento (físico, social y económico) a alimentos suficientes, seguros y nutritivos, considerando las preferencias culturales (FAO, 2007a; Flores, et al., 2012; FAO, 2013a). Para aquellos países cuya producción local de alimentos no es suficiente, la importación se convierte en una solución poco sustentable (Flores, et al., 2012; FAO, 2015a), que puede convertirse en una catástrofe para su economía (Flores, et al., 2012; Banco Mundial, 2013).

En la coyuntura actual, existen dos problemáticas ligadas a la seguridad alimentaria y al ambiente, la primera son los cambios globales y la segunda es el tamaño de la población mundial. Por lo tanto, los científicos se enfrentan al reto de aumentar la producción de alimentos, hasta en un 60% para el año 2050 con la limitante de la calidad de las tierras degradadas a fin de combatir la hambruna, especialmente en los países emergentes (FAO, 2002a; FAO, 2004c; OCDE/FAO; 2013; García, 2014).

En América Latina, a pesar de ser una de las regiones con mayor tasa de éxito en erradicar la hambruna, aún existen alrededor de 49 millones de personas que padecen este mal (FAO, 2013a). En África vive más de un cuarto de las personas subalimentadas del mundo, mientras que el continente asiático alberga la mayor cantidad de gente con hambruna. Tan sólo en Asia meridional vive el mayor número de personas afectadas por el hambre crónica (FAO, 2014a). Para los pueblos asiáticos el arroz es la base de alimentación y tiene un valor agregado por ser parte de su cultura. Este continente es el primer consumidor y productor de arroz (FAO, 2004a), sin embargo, también es el continente que importa más toneladas de arroz (FAO, 2015a).

En palabras de Jaques Diouf, director general de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO por sus siglas en inglés), “La humanidad deber aprender a convivir con el cambio climático. Sin embargo, no podemos permitir que el cambio climático se vuelva un factor agravante más con respecto al hambre en el mundo [...] Es nuestro deber ayudar a los países más pobres y [...] a las poblaciones en riesgo más vulnerables, para [...] afrontar este nuevo desafío.” (FAO, 2007a)

Bajo esta ideología y apoyando al primero de los objetivos del milenio de la ONU (2015), sobre erradicar la pobreza extrema y la hambruna, surge la propuesta de hacer una revisión de literatura sobre el potencial del cultivo de arroz en tierras saladas con la finalidad de proponer la diversificación de las técnicas de cultivo de arroz aprovechando las parcelas con problemas de salinización. Esto surge como una medida de atención a la creciente demanda de alimentos, especialmente de arroz y como una propuesta para la utilización de las tierras con problemas de salinización que cada vez son más extensas y cuyo aprovechamiento es mínimo.

Objetivos

Objetivo principal

Hacer una revisión de literatura sobre el potencial del cultivo de arroz en tierras saladas con la finalidad de proponer la diversificación de las técnicas de cultivo de arroz aprovechando las parcelas con problemas de salinización

Objetivos particulares

- Identificar la oferta y demanda de arroz en el mundo,
- Identificar los cultivares de arroz en tierras saladas,
- Caracterizar las prácticas de cultivo de arroz en tierras saladas y
- Analizar el potencial de la ricultura en tierras saladas.

1. Capítulo I. La importancia del arroz como alimento básico

El arroz es parte esencial de la seguridad alimentaria de muchos países emergentes (FAO, 2005; FAO, 2007a; OCDE/FAO, 20013), ya que es el segundo cereal más cultivado en el mundo, solo después del trigo (FAO, 2002b). Convirtiéndose así en el alimento básico dominante para la mitad de la población mundial (FAO, 2014a), especialmente en Asia, donde el arroz está fuertemente ligado a la cultura popular y juega un papel importante en la economía (ARF, s.f.), mientras que en África, el arroz es la fuente de alimento de más rápido crecimiento y también es parte de la cultura culinaria (FAO, 2007).

1.1. Principales consumidores de arroz

China, India e Indonesia son los tres países que encabezan la lista de los consumidores de arroz (FAO, 2004a; FAO, 2014b). Además, a través del tiempo, diversas culturas del mundo han cambiado su alimentación tradicional favoreciendo el consumo de arroz (Brüntrup, et al., 2006; de la García, 2014). Factores como el cambio de vida, de rural a urbano, la practicidad de los platillos, la facilidad de conservación del grano, la colonización, la economía familiar, el comercio y las políticas internacionales han popularizado el consumo de arroz (FAO, 2005; Brüntrup, et al., 2006; Riddell, et al., 2007; de la García, 2014). Por lo que es de suponer que los países cuyo régimen alimenticio no incluía el arroz como base de su alimentación podrían, ahora, convertirse en nuevos consumidores.

1.2. Principales importadores

Otros países consumidores son aquéllos con déficit de producción y los que reciben ayuda alimentaria. Según estadísticas sobre Embarques de Ayuda Alimentaria de la FAO (2015a), el programa de WFP, de 2004 a 2014, el continente que más toneladas de arroz recibió fue Asia, el país número uno en esta lista es la República Popular Democrática de Corea con 163 mil toneladas de arroz elaborado.

De acuerdo a datos de la FAO (2015a), en 2014 se importaron alrededor de 39.7 millones de toneladas y se espera que para este año aumente a 40 millones de toneladas. Alrededor del 86.5% de las importaciones fueron realizadas por países emergentes, especialmente del continente asiático, siendo China el principal país importador de Asia con 2.8 millones de toneladas.

Por su parte, África en 2014 importó 14 millones de toneladas, el país que más toneladas importó fue Nigeria con 2.9 millones de toneladas, es decir 0.1 millones de toneladas más que China. Hasta 2007, la demanda anual de arroz en África subsahariana crecía a un ritmo de 6% anual (Riddell, et al., 2007). En el futuro se espera que África supere su producción, específicamente en los países de Côte D'Ivoire, Nigeria y Senegal (FAO, 2004b). Sin embargo, en este año, se espera que el resto de los países con producción insuficiente incrementen sus importaciones (FAO, 2014b), lo que podría afectar al mercado internacional (Flores, et al., 2012).

En América Central, las razones de importación son un tanto diferentes, la producción de arroz en tierras altas poco adecuadas para la ricultura aumenta los costos de

producción, esto causa que la importación del arroz sea más rentable. Además del bajo rendimiento y la falta de variedades mejoradas, el tratado de libre comercio entre Centroamérica y Estados Unidos de América amenazan la producción local (Riddell. et al., 2007).

1.3. Principales productores de arroz en el mundo.

El arroz es producido en todos los continentes a excepción de la Antártida. Los arrozales emplean a casi mil millones de personas en zonas rurales de países en desarrollo. Lo que los convierte en una clave para el desarrollo económico y el mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones productoras (FAO, 2007a). En 2014, a nivel mundial, se produjeron alrededor de 744 millones de toneladas de arroz cáscara (FAO, 2014b).

El continente asiático es, además del mayor consumidor, el continente que más produce. En 2014, Asia produjo el 90.6% de la producción mundial, es decir 674.4 millones de toneladas. Los principales productores de arroz son China, quien produce alrededor del 30.6% de la producción en Asia, India con el 23.05%, Indonesia con el 10.46% y Bangladesh con el 7.47% de la producción total del continente (Cuadro 1.1) (FAO, 2014b). Desde 2009, estos países han mantenido esta posición en la lista de productores (FAO, 2014b), sin embargo se espera que para 2022 la aportación de China en el mercado internacional disminuya en relación al resto de los países (OCDE/FAO, 2013).

La producción de arroz en el resto del mundo es mínima, tan sólo representa el 9.4% de la producción. El continente africano produjo, en 2014, alrededor de 27.6 millones de toneladas de las cuales, el 49.3% fue producido en África Occidental. En el Continente Americano se produjeron alrededor de 37.7 millones de toneladas, siendo Suramérica la zona más productiva con 65.8%, de este porcentaje, Brasil produjo casi la mitad. Mientras que Europa y Oceanía produjeron 4.1 y 0.9 millones de toneladas de arroz elaborado, respectivamente (FAO, 2014b).

Hasta ahora, el volumen de exportación a nivel mundial es mínimo, con apenas un aumento aproximado del 8% del total de las exportaciones en los últimos 10 años, esto es debido a que gran parte del arroz se consume donde se produce. Sin embargo, se espera que en esta década el déficit de arroz mundial sea de alrededor de 50 millones de toneladas (Degiovanni, et al., 2010). De las 40.2 millones de toneladas de arroz exportadas en todo el mundo, 20.2 millones de toneladas fueron exportadas por India y Tailandia (10 y 10.2 millones de toneladas, respectivamente) (FAO, 2014b).

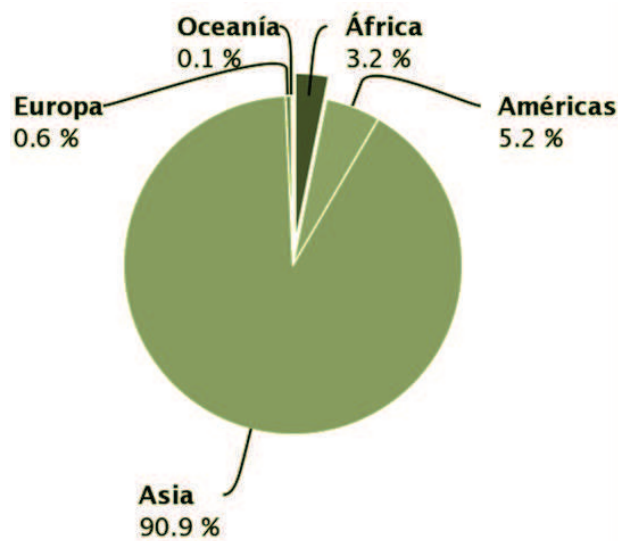


Figura 1.1. Proporción de la producción de arroz con cáscara por continente (promedio 1993-2013). Fuente (FAO, 2014c).

Cuadro 1.1 Producción en toneladas de arroz cáscara de las principales regiones productoras

País	Toneladas de arroz cáscara (Millones de toneladas)
*China	208.1
India	155.5
Indonesia	70.6
Bangladesh	50.4

*Incluye datos de China y China continental (Clasificación geopolítica).

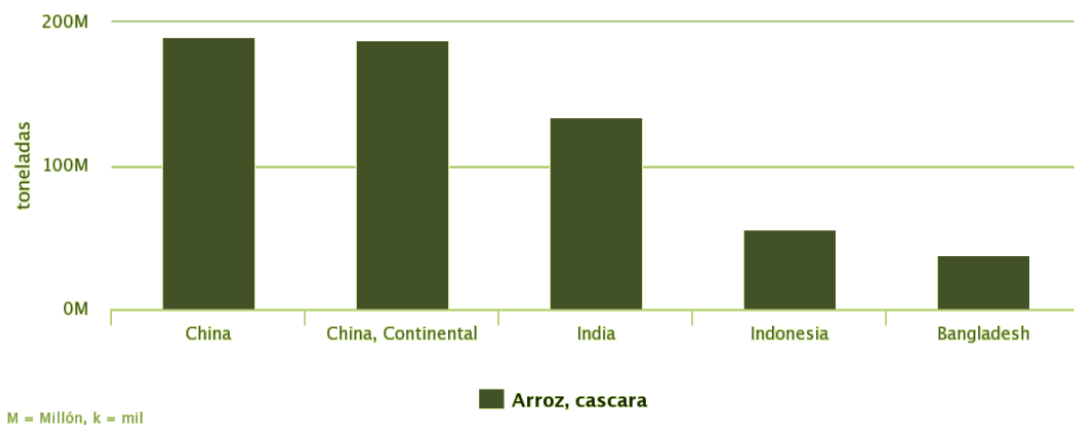


Figura 1.2 Producción promedio (1993-2013) de arroz cáscara de las cinco principales regiones productoras de arroz.

Fuente (FAO, 2014c). (Por razones políticas, la FAO divide a China en China y China continental).

1.4. Problemas en la ricultura.

Existen diferentes preocupaciones entre los países productores sobre todo en relación a dos temas principales, el medio ambiente y la producción. En primer lugar, los arrozales anegados requieren cuantiosas extensiones de tierra y de agua, además genera altos niveles de metano y óxido nitroso. En segundo lugar, los cambios ambientales como el aumento de la temperatura, la alta radiación infrarroja, el agotamiento de los mantos acuíferos y la salinización de las tierras amenazan el rendimiento del arroz (FAO, 2002a; FAO, 2007a; García, 2014).

Los requerimientos de agua para las 165 millones de hectáreas de arroz del mundo (FAO, 2014b) son cinco veces más que los requerimientos de agua para el trigo y el maíz juntos (Riddel, et al., 2006). En cuanto a las emisiones de dióxido de carbono equivalente, de acuerdo a la FAO (2015b), Asia, emite alrededor del 42.7% de las emisiones mundiales de CO₂ por actividades agrícolas. En cuanto a las emisiones mundiales provenientes de la ricultura, China es el país que más CO₂ emite, alrededor del 89.4%, es decir 111,054.82 CO₂eq (promedio de 1990 a 2012) (FAO, 2015b).

Los efectos del calentamiento global en la producción de arroz no es clara aún, en un estudio realizado en diferentes países en Asia (China, India, Indonesia, Filipinas, Tailandia y Vietnam) en 227 granjas que abastecen el 90% de la demanda de arroz (ONU, 2010) dirigido por Welch, et al., (2010) concluye que el efecto en conjunto de la temperatura (20.9°C-24.6°C temperatura mínima y 20.9°C-33.8°C temperatura máxima) y radiación solar (entre 13.6 y 22.4 megajoules m⁻²d⁻¹) no influye significativamente en

el desarrollo de la planta de arroz. Sin embargo, los mismos autores consideran que las variaciones de las condiciones ambientales por el calentamiento global estarán por encima de los intervalos utilizados para su investigación, especialmente los valores de la temperatura mínima, lo que podría ocasionar daños durante la etapa vegetativa y de maduración. Mientras que el aumento de la temperatura máxima afectará severamente los cloroplastos y causará esterilidad (estas estimaciones son sólo válidas para los arrozales de regadío) (Welch, et al., 2010).

Diversos investigadores han reportado cambios en el régimen pluvial en diversas regiones del mundo, disminuyendo la cantidad de agua en los reservorios (Thomas, 2011; Ashour y Al-Najar, 2012). Estas variaciones en el régimen de lluvias, de acuerdo a la FAO (2013b y 2014b) sí tienen efectos negativos sobre el rendimiento del arroz, de hecho, los fenómenos meteorológicos de 2013 y 2014 ocasionaron la reducción en la producción de arroz en países de Asia, como China, la República Democrática Popular Laos, República Democrática del Corea, Tailandia y Malasia.

A pesar de que las estimaciones sobre los impactos del cambio climático sobre los cultivos de arroz no son concluyentes (FAO, 2007a; Welch, et al., 2010; FAO, 2012), los efectos del calentamiento global sobre la calidad de la tierra son un poco más evidentes, en especial sobre la salinización (ver más adelante). Existen variedades de arroz que pueden ser introducidas en zonas con problemas de salinización (ver Cuadro 5.1, más adelante). En el futuro, estas variedades podrían ser la clave de la ricultura.

2. Capítulo II. Variedades de arroz y su cultivo

Como ya se ha hecho mención, el arroz tiene un amplio rango de tolerancia a las variaciones ambientales, lo que ha permitido su cultivo en diversas regiones dando origen a aproximadamente 124,000 variedades de arroz (IRRI, sf; FAO, 2004b). Aunque originalmente el arroz era cultivado en seco, éste mutó hacia una planta semi-acuática como consecuencia de su adaptación al estrés de las condiciones ambientales. En la actualidad, de las 23 especies de arroz que existen, únicamente se cultivan dos (FAO, 2007a; Degiovanni, et al., 2010).

2.1. Las variedades de arroz

El arroz pertenece a la División: Angiospermae, Clase: Monocotyledonae, Orden: Glumiflorae, Tribu: Oryzeae, Familia: Poaceae (gramineae), Género: *Oryza*. El género *Oryza* tiene más de 24 especies silvestres que crecen en Asia, Australia, África y América. Las dos especies cultivadas o domesticadas son *Oryza sativa* L. de origen asiático y *Oryza glaberrima* Steud de origen africano (Acevedo, et al., 2006).

Oryza sativa es la especie con mayor variabilidad genética encontrando hasta 3 sub-especies, Indica, Japónica y Javánica. Sus parentales son *O. ruffipogon* y *O. nivara*, especies anuales (Acevedo, et al., 2006). Es la especie de mayor importancia económica ya que está presente en casi todos los países productores de arroz incluyendo Asia, América del Norte y Sur, Unión Europea, Oceanía y Centro-este de África (Montoroi, 1996; Acevedo, et al., 2006; Brüntrup, et al., 2006; Degiovanni, et al.,

2010). Esta variedad es sensible a la salinidad, clasificación basada en el rendimiento del grano (máximo de 3.0 dS/m-1) (Yadav, et al., 2011).

O. glaberrima es una especie anual originaria de África occidental de aspecto robusto, cultivada en seco que ha permanecido siempre en el continente africano. Sus progenitores son *O. barthii* (especie perenne) y *O. brevipiculata* (especie anual). *O. glaberrima* se extendió desde su origen en el delta central del Níger hasta Senegal entre 1500 y 800 a.C. pero nunca más allá. De hecho, después de la intrusión en África de la especie asiática, el cultivo de *O. glaberrima* decayó considerablemente (Montoroi, 1996; Acevedo, et al., 2006; Brüntrup, et al., 2006; Degiovanni, et al., 2010). A pesar de esto, algunas etnias africanas siguen prefiriendo esta especie debido a su eficacia en la competencia contra la maleza, su resistencia a la mosca de la agalla y al virus del mosaico amarillo y al virus de la necrosis rallada del arroz, además de su alta resistencia a la sequía (Acevedo, et al., 2006; Awala et al., 2010).

Las variedades NERICA (Nuevo Arroz para África) fueron desarrolladas en los años noventa por el Centro Africano del Arroz, sus parentales son *O. sativa* y *O. glaberrima*. NERICA combina la alta productividad del arroz asiático con la resistencia a los factores de estrés del arroz africano. El resultado de esta combinación es un grano con un alto potencial de rendimiento y vigor inicial, con un ciclo de crecimiento corto, resistente al virus moteado amarillo, con buena resistencia a los fertilizantes, un grano de buena calidad, con una producción de hasta 400 granos por panícula (en comparación con los 75-100 granos por panícula de sus parentales africanos). Además, es una variedad que gracias a varios mecanismos de tolerancia como el arreglo osmótico, arreglo de los

estomas y sistema radicular profundo, es resistente a las sequías extremas, se adapta bien a las condiciones locales (africanas), por lo que es adecuado para las altiplanicies y las tierras áridas, que representan alrededor del 70% de los arrozales de África (FAO, 2005; Acevedo, et al., 2006; Mulugeta, et al., 2011; Fall, 2012; Banco Mundial, 2013).

Debido a las características que presenta NERICA, estas variedades son una opción viable para los cultivos de secano (Mulugeta, et al., 2011). Además, NERICA, según Kamwele, et al., (2010), presenta alta resistencia a la salinidad. Esto podría explicarse por la relativamente alta tasa de fotosíntesis que mantiene gracias al gen de la variedad Pokkali (Mohammadi, et al., 2013).

2.2. Aportaciones nutrimentales del arroz

Además de todas las facilidades de preparación y almacenamiento, el arroz proporciona más calorías por hectárea que cualquier otro cereal cultivado (Acevedo, et al., 2006). De hecho, él aporta el 70% de las calorías, el 20% de la energía y el 20% de las proteínas de la dieta de las personas, especialmente si se consume el arroz integral en lugar del blanco (Cuadro 2.1) (FAO, 2004a; 2004b; FAO, 2007). También, el arroz es fuente de Fibra, Hierro, Cinc (Cuadro 2.1), Calcio, Sodio, Fósforo, Tiamina, Riboflavina, Niacina y Aspártico pero carece de Lisina y Trionina (Degiovanni, et al., 2010; FAO, 2004b; FAO, 2013b). El arroz integral es más rico en Fibra (Cuadro 2.1), Fe y Zn que el arroz blanco, durante el proceso de blanqueamiento, el contenido se reduce de 59% a 26%. Como consecuencia de estas deficiencias alimenticias, las poblaciones con alta dependencia al consumo de arroz presentan problemas relacionados con la falta de

minerales y vitaminas, lo que causa anemia, ceguera, retraso en el crecimiento, entre otros (Degiovanni, et al., 2010).

Debido a los padecimientos de quienes tienen una alta dependencia al arroz y en apoyo a la seguridad alimentaria, diversas instituciones de investigación agrícola se empeñan en asegurar que la porción de arroz contenga los nutrientes esenciales para el hombre seleccionando las variedades más nutritivas. Algunas estrategias, son la biofortificación y el fitomejoramiento (FAO, 2004b).

Cuadro 2.1. Contenido nutricional de 5 variedades de arroz.

Tipo de arroz	Proteína (g/100 g)	Hierro (mg/100g)	Cinc (mg/100g)	Fibra (g/100g)
Blanco pulido	6.8	1.2	0.5	0.6
Integral	7.9	2.2	0.5	2.8
Rojo	7.0	5.5	3.3	2.0
Púrpura	8.3	3.9	2.2	1.4
Negro	8.5	3.5 -	nd	4.9

nd= no disponible. Fuente: FAO, 2004b.

Por un lado, la biofortificación consiste en la adición de vitaminas y minerales directamente al grano de arroz durante el proceso de moliendo, también existen programas en los que se reparten suplementos alimenticios en los países altamente consumidores. Estos procesos no requieren la intervención de la ingeniería genética. Por el otro lado, el fitomejoramiento es la el mejoramiento de las semillas a través de la mezcla de genes de individuos del mismo género. Esta técnica ha permitido obtener los beneficios que las variedades de arroz silvestres presentan como mayor concentración

de Fe o Zn y los rendimientos de las variedades de alta producción (Degiovanni, et al., 2010; FAO, 2004b; FAO, 2013b).

2.3. Los arrozales

Los arrozales, tierras en las que se cultiva el arroz, son sistemas de producción que abarcan alrededor de 165 millones de hectáreas en todo el mundo (FAO, 2014b). Emiten alrededor del 10% del total de las emisiones de CO₂ mundiales en relación a las actividades agrícolas (FAO, 2015b). Están localizados en diversos ambientes en los cuales se han desarrollado diversas técnicas de agricultura adaptadas a la disponibilidad de agua, la orografía, los períodos de sequía y el manejo. El sistema de clasificación más popular de arrozales basado en el agua reconoce cinco clases: arroz de riego, las tierras altas, los humedales bañados por las mareas, las aguas profundas y las tierras bajas de secano. (FAO 2004).

El arroz de riego o arrozales inundados, es la forma de cultivo de arroz más popular con alrededor de 135 millones de hectáreas. En estos arrozales se produce aproximadamente el 75% de la producción mundial de arroz. El manejo del agua en estos sistemas productivos es, a su vez una ventaja y una desventaja. Por un lado, son agro ecosistemas complejos que albergan animales como los búfalos de agua, algunos crustáceos, aves y microorganismos. Además, la constante presencia de agua elimina el riesgo de las sequías, aumenta la disponibilidad de los nutrientes presentes en las tierras del cultivo, lo que disminuye las deficiencias nutricionales (FAO, 2004b; Degiovanni, et al., 2010). También, reduce la incidencia de plagas y enfermedades y

facilita el manejo de las malezas (FAO, 2004b; Degiovanni, et al., 2010). Por el otro lado, la demanda de agua que requieren representa alrededor del 43% del total de agua de riego del mundo. La alta demanda de agua sumada a la posible escasez en los años venideros, exige a los agricultores justificar ampliamente el uso del agua por lo que se fomentan las buenas prácticas agrícolas y prácticas alternativas como la rizipiscicultura (FAO 2004c; Degiovanni, et al., 2010). Las principales amenazas de los sistemas de regadío son la escasez de agua y la salinización de las tierras (FAO, 2002c).

Una alternativa al uso excesivo del agua en los arrozales es el arroz de secano. Estos arrozales se localizan especialmente en campos planos o en pendientes, es decir sistemas montañosos o en planicies no inundables donde el ciclo de siembra está regido por las lluvias estacionales. Su principal característica es que el arroz es plantado y cosechado en seco y la humedad se adquiere únicamente a través de las lluvias ya que no se construyen bordos para mantener el agua (Datta, 1982; Chaudhary, et al., 2003).

Existen importantes limitaciones encontradas en el arroz de secano, identificadas especialmente en América Latina y el Caribe (ALC): agronómicas como control de malezas, épocas y métodos de fertilización, fechas y métodos de siembra, tiempos y métodos de preparación del suelo; sanitarios y fisiológicos como la falta de tolerancia al estrés debido al factores del suelo y a la escasez del agua para las variedades de alto rendimiento; sanitario localizado como plagas y enfermedades incluyendo virus poco comunes que merman la producción (Degiovanni, et al., 2010).

Las principales razones por las que el arroz de riego es más popular que el arroz de secano son los bajos costos de producción en el primero y la diferencia de rendimiento entre ambos sistemas. Mientras que el arroz de secano difícilmente supera las 7 ton/ha de producción, el arroz de riego tiene un promedio de 10 ton/ha. Especialmente después de la década de los 70 cuando se introdujeron al mercado nuevas variedades de alto rendimiento para el arroz de riego dejando de lado las investigaciones sobre el arroz de secano (Datta, 1982; Degiovanni, et al., 2010).

A pesar de que las condiciones de secano no tienen el impacto en el abastecimiento de arroz que sí tiene el sistema de riego, impulsar el desarrollo de nuevas técnicas y variedades de secano beneficiará a muchos agricultores que en su mayoría son de subsistencia y que viven en países en vías de desarrollo. De hecho, la mayoría de estos cultivos están localizados en las regiones más pobres del mundo, particularmente en África, cuyo rendimiento es el más bajo de entre los continentes que utilizan este sistema (05 ton/ha) (Datta, 1982; Chaudhary, et al., 2003).

Los arrozales de secano resaltan para este trabajo por su baja dependencia a grandes cantidades de agua. Además, las variedades Africanas están bien adaptadas a este sistema. Por esto, en la siguiente sección hablaremos de los factores ambientales en los sistemas de secano.

2.4. Factores ambientales en la producción de arroz de secano

Al igual que para la mayoría de los cultivos, la luz, el agua y el suelo son factores esenciales para el desarrollo del arroz. Este cultivo, como ya se ha mencionado en el

capítulo primero, presenta un amplio rango de tolerancia a las variaciones ambientales. Sin embargo, un factor importante para el arroz de secano es la precipitación pluvial.

Precipitación pluvial

La cantidad y distribución de la lluvia sobre los arrozales de secano es un factor crítico. De hecho, el suministro de humedad durante el desarrollo del cultivo es mucho más importante que la variación de la radiación solar durante los estados de reproducción y madurez de la planta (Datta, 1982; Chaudhary, et al., 2003). Debido a esta gran dependencia, tanto el ciclo de vida del arroz como las temporadas de lluvia de cada región deben conocerse bien para sincronizar los períodos de siembra con las temporadas de lluvias. Además, la elección de las variedades que serán sembradas también ayuda a aumentar el éxito de los arrozales. Por ejemplo, en las áreas donde las lluvias son marginales, es posible usar cultivares de ciclo corto o sensibles al fotoperiodo (Chaudhary, et al., 2003).

Una de las principales desventajas de la dependencia de las lluvias de temporal es la inestabilidad y los fenómenos meteorológicos de cada zona. Por ejemplo, en las zonas tropicales los tifones y huracanes pueden ocasionar acame. En la época de monzones en Asia, la presencia de nubes limita el paso de los rayos de luz. Además, el exceso de lluvias también puede matar a las plantas tanto como la sequía (Datta, 1982). En las últimas décadas, la inestabilidad del régimen pluviométrico ha ocasionado sequías en zonas de África occidental e inundaciones en Asia, causando pérdidas en la producción de arroz (République du Sénégal, 2001; OCDE/FAO, 2013).

A pesar de que existen diversas formas de mejorar el rendimiento de los arrozales y de pronosticar los fenómenos ambientales, la total dependencia de las precipitaciones y los nuevos regímenes de lluvia, son factores de incertidumbre que pone en riesgo la producción. Especialmente en las zonas áridas y en aquellas que serán aún más áridas. Esto demuestra la importancia de continuar innovando en el campo del arroz de secano (Datta, 1982; Lausén y Benítez, 2012).

Radiación solar

Hablar de la radiación solar y la temperatura en los cultivos cobra especial importancia si se trata del arroz. Puesto que, este cereal se cultiva desde los 45° Norte hasta los 45° Sur en climas templados y tropicales (Datta, 1982; Chaudhary, et al., 2003; FAOSTAT/FAO, 2014). Al igual que para la mayoría de las plantas, la radiación solar es la fuente de energía para el proceso fotosintético y la evapotranspiración de la planta del arroz y la falta de luz durante su desarrollo se refleja en el bajo contenido de clorofila y retraso en el desarrollo foliar. Sin embargo, una sobrexposición a la luz no es mejor, ya que reseca los suelos y limita el rendimiento (Chaudhary, et al., 2003; Degiovanni, et al., 2010). Uno de los mejores rendimientos obtenidos en experimentos con arroz de secano fue alrededor de 7 ton/ha. El éxito de este experimento se logró gracias a la correcta selección de la variedad (la IR5), a la constante humedad en el suelo y a la sincronización de la mayor radiación solar con el período de maduración (Datta, 1982).

En cuanto a la temperatura, el arroz de secano se cultiva especialmente en planicies con temperaturas altas, entre 24°C y 26°C de temperatura media anual (Datta, 1982). El rango de temperatura para los cultivos de regadío es de entre 29°C y 30°C (Welch, et al., 2010). Las temperaturas fuera de este intervalo afectan el rendimiento del grano dependiendo de la etapa de desarrollo en la que se encuentre el arroz (Chaudhary et al., 2003; Welch, et al., 2010). Por ejemplo, los climas templados limitan la duración del período y la tasa de crecimiento así como el desarrollo de la planta, mientras que las temperaturas muy altas causan estrés (Datta, 1982; Chaudhary, et al., 2003; Welch, et al., 2010).

Suelo

Al igual que los ambientes en los que se cultiva el arroz, las características del suelo en los arrozales son muy variadas. La textura va desde arena hasta arcilla, el pH va de 3 a 10, el contenido de materia orgánica va de 1 a 50%, la disponibilidad de los nutrientes va de deficiencias agudas a condiciones en exceso y la humedad en el suelo puede ser nula en la superficie hasta varios horizontes inundados (Datta, 1982). Lo que resalta el alto rango de tolerancia a varios factores ambientales por parte del arroz. Sin embargo, el rendimiento óptimo se ve restringido por las condiciones ambientales y de los nutrientes presentes en el suelo.

La degradación de los suelos de cultivo puede ocurrir por diversas razones, una de las más importantes es la mala aplicación y el abuso en la aplicación de los agroquímicos, en especial los fertilizantes. Los dos factores ambientales descritos anteriormente, la

humedad y la radiación solar, también tienen efectos sobre la calidad del suelo. Por ejemplo, la sobreexposición a la radiación solar causa sequía, y esta a su vez, causa alta tensión que afecta el rendimiento de la planta. Las principales limitación del suelo para el desarrollo del arroz son la erosión, la deficiencia de nutrientes y la toxicidad (Datta, 1982; Chaudhary, et al., 2003).

Actualmente, uno de los principales problemas de degradación del suelo es causado por la acumulación de sales. Este fenómeno causa la disminución de los nutrientes disponible para las plantas, es causa del fenómeno de impermeabilidad de suelos, sobreacumulación de sales tóxicas para las plantas, entre otros. A este problema se le conoce como salinización de suelos y sucede principalmente en zonas donde la evapotranspiración es más alta que la precipitación (ver más adelante).

3. Capítulo III. La salinización del suelo y sus efectos sobre el arroz.

Hasta 2013, el 40% de las tierras cultivables del mundo se encontraban degradadas, así como el 70% de las tierras agrícolas estaban catalogadas como de bajo rendimiento (OCDE/FAO, 2013). La salinización es una forma de degradación de las tierras cuyas investigaciones están en auge debido al alto impacto que ejerce sobre la fertilidad y productividad de los suelos y en consecuencia, sobre el rendimiento de los cultivos (Pliego, et al., 2003). Se estima que este fenómeno puede causar la improductividad de entre 250 y 500 mil hectáreas, lo que podría poner en peligro hasta el 10% de la cosecha mundial de cereales (FAO, 2002a). La mayoría de las regiones que sufren del problema de la salinización de suelos son áreas consideradas marginales, donde el espacio y la alimentación son grandes limitaciones (Ponvert y Lau, 2013).

Se estima que alrededor de 950 millones de hectáreas de sembradío, equivalente a la superficie de Canadá (Stoner, 1988; Pankova, et al., 2010) y alrededor de 24 millones de hectáreas de las tierras de regadío (alrededor del 8%) en el mundo presentan altas concentraciones de sales, mientras que en las zonas áridas y semi-áridas el porcentaje es alrededor de 25% (IITA y FAO 1997; Pliego, et al., 2003; OCDE/FAO, 2013), afectando principalmente a India y Sudafrica (entre otros). Este problema afecta la producción agrícola de manera severa, no sólo influye en el desarrollo de las plantas, sino que disminuye la calidad del suelo. A causa de la acumulación excesiva de los iones Cl^- y Na^+ , la capacidad de las plantas para captar y almacenar agua se ve reducida severamente, mientras que la acumulación de otros iones puede provocar

suelos estériles con disponibilidad poco óptima de nitrógeno (Mesa, 2003; Provin y Pitt 2011).

Los suelos salados son el resultado de procesos naturales y antrópicos. De manera natural los suelos acumulan sales en exceso por la inundación de las tierras por el agua de mar, dejando las sales atrapadas en los poros de la tierra, y por las sales transportadas por los vientos. También, el exceso de radiación solar puede incrementar la evapotranspiración en zonas con bajas precipitaciones. Las causas antrópicas son sobre todo el mal manejo del riego, la mala dosificación de los agroquímicos y la sobre explotación de los mantos acuíferos (FAO, sf.; IAT y FAO, 1997; Feitz, et al., 2002; Mirsal, 2008; Blanco y Lal. 2010; Provin y Pitt, 2011). Por ejemplo, en Pakistán, los sistemas de riego aportan alrededor de dos toneladas de sal a la tierra cada año (Stoner, 1988).

La clasificación de los suelos salinos incluye aquellos con saturación de iones no solo de Sodio, sino también aquellos con saturación de Calcio, Magnesio, Potasio, Carbonato y Bicarbonato, Cloruro, Nitrato, Sulfato, Magnesio, Hidrógeno, Aluminio, NaCl (Cloruro de sodio), CaCl_2 (Cloruro de calcio), CaSO_4 (Sulfato de calcio), MgSO_4 (Sulfato de magnesio), KCl (Cloruro de potasio) y Na_2SO_4 (Sulfato de sodio). De acuerdo a la conductividad eléctrica (CE), el pH y el porcentaje de intercambio sódico, las tierras salinas se clasifican en salinas, sódicas-salinas y sódicas, ver Cuadro 3.1 (Villafañe, 2000; IUSS, 2007; Mirsal, 2008; Otero, et al., 2008; Blanco y Lal, 2010; Provin y Pitt, 2011).

El problema de la salinización de los suelos avanza rápidamente, en especial por efecto del calentamiento global. Algunos de efectos comprobados de este fenómeno global son el aumento del nivel del mar, el aumento de las temperaturas y de la radiación solar, el cambio en el régimen pluvial y las sequías que afectan varias regiones del planeta (Thomas, 2011; Ashour y Al-Najar, 2012), todas estas condiciones favorecen la salinización de las tierras, especialmente la escases de agua y el aumento de la evapotranspiración tal como se explica previamente en esta sección.

Además, el crecimiento poblacional ha ocasionado la extracción excesiva de agua de los mantos acuíferos, lo que permite que el agua de mar remonte en estas zonas. En muchas regiones, esta agua de mar se utiliza para irrigar los campos, lo que aumenta considerablemente la aportación de sales. Otra consecuencia del aumento poblacional es el aumento de la demanda de alimentos, lo que exige una producción más alta causando que los agricultores abusen de los agroquímicos (Holden, 2004; Lamz y González, 2013).

Cuadro 3.1 Relación de tipo de suelo de salino a sódico. Muestra las principales propiedades que ayudan a determinar el tipo de salinización del suelo.

pH	CE (dS/m)	PIS%	Tipo de suelo
≤8.5	≥ 4	< 15	Salino
≤8.5	≥ 4	≥ 15	Sódico-salino
8.5-10	< 4	≥ 15	Sódico

Modificado de Provin & Pitt, 2011

Todos estos factores han causado que la salinización se extienda hacia más y más tierras llegando hasta los cultivos de arroz (ARF, sf). Dos ejemplos claros de

salinización en los cultivos de arroz son China y Senegal (Thomas, 2011). En China alrededor de 21.5 millones de hectáreas están afectadas por la salinización. 12 millones son salinas y 9.5 millones son alcalino/sódicas (Mohammadi, et al., 2013). Mientras que en Senegal, la disminución de las precipitaciones ha favorecido la salinización de los pólderes de arroz (Marius, 198; Häfele, et al., 1999). La producción de arroz no se ve severamente afectada en tierras con hasta 3 dSm^{-1} de salinidad (Mohammadi, et al., 2013), sin embargo, la salinización en muchas regiones sobrepasa este límite.

3.1. Efectos de la sales en el cultivo de arroz

La salinización es uno de los principales factores de estrés en la producción de arroz (Awala, et al., 2010; Mohammadi, et al., 2013). Cada unidad de salinidad (dS/m) que sobrepasa la tolerancia del arroz causa la disminución de alrededor del 12% en la producción (Mohammadi, et al., 2013). Las primeras etapas de desarrollo de la planta de arroz son las más vulnerables, siendo la germinación y la floración las más afectadas. Mientras que la tolerancia aumenta con la edad durante la fase de macollamiento y la elongación (Abrol, et al., 1988; Awala, et al., 2010; García, 2014), en el Cuadro 3.2 se describe los efectos de la salinidad y la alcalinidad sobre estas dos etapas de crecimiento (IRRI, 2002). La etapa de germinación en los campos de arroz se hace normalmente en invernaderos (ver más adelante en el Capítulo IV. Los arrozales en tierras saladas).

Entre los efectos que causa la toxicidad de sales (en especial Na, Cl, Mg, SO₄ y S-) destacan la inhibición de la actividad de nitrato reductasa, la reducción del contenido de

clorofila y la tasa de fotosíntesis en la planta, así como la concentración de K y Ca en las hojas. Además, incrementa la tasa de respiración y la concentración de Nitrógeno, NO₃, Na, S y Cl (García, 2014). El exceso de Na⁺ limita la absorción de K y reduce el crecimiento. Además el exceso de sales en el agua de regadío causa estrés osmótico que puede limitar la absorción de otros iones (nutrientes) necesarios para el desarrollo del arroz. (Awala, et al., 2010; Mohammadi, et al., 2013; García, 2014).

La tolerancia a la salinidad depende de la variedad de arroz (Cuadro 5.1), por ejemplo *Oryza sativa* L. resiste hasta 3.0 dSm⁻¹ (Chaudhary, 2003). En el Cuadro 3.1 se describen las condiciones generales en relación a la susceptibilidad a la alcalinidad y salinidad y sus efectos sobre el desarrollo de acuerdo a la escala del Sistema Estándar de Evaluación para el Arroz (SES, por sus siglas en inglés) creada por el IRRI (IRRI, 2002). La selección de las variedades a cultivar debe depender de las condiciones ambientales locales, prefiriendo las variedades de arroz tolerantes a la sal en las parcelas con problemas de salinización o en zonas de invasión de aguas marinas. Chaudhary (2003) recomienda seleccionar las variedades más adaptadas a las condiciones ambientales locales.

El IRRI (2002) y Aslam, et al. (1993) recomiendan tomar en cuenta las condiciones generales de la tierra de cultivo pues estas pueden ser muy heterogéneas y considerar el tipo de salinización de los suelos. En un estudio dirigido por Aslam, et al. (1993), se demostró que la sal más tóxica para el desarrollo del arroz fue NaCl, mientras que el menos nocivo fue Na₂CO₃, presente especialmente en tierras sódicas.

En el estudio dirigido por Platten, et al. (2013) se menciona que ambas especies *O. sativa* y *O. glaberrima* tienen variedades resistentes a la salinidad e identifica 103 variedades que son entre moderada y altamente resistentes a la salinidad, de las cuales 12 son de origen africanas (*O. glaberrima*). En el Cuadro 5.1, se muestran las especies a las cuales se les identificó una alta o muy alta tolerancia a la salinidad (Platten, et al., 2013). El avance en el desarrollo de variedades de alto rendimiento y de resistencia a la salinidad se ha enfocado a las variedades asiáticas dejando rezagado el mejoramiento de las variedades africanas (Holden, 2004; Awala, et al., 2010). Gracias a los estudios en *O. sativa* se ha descubierto que cada variedad tiene un rango diferente de tolerancia a la salinidad (Mohammadi, et al., 2013; García, 2014).

La complejidad de la tolerancia a la salinidad sugiere la necesidad de mecanismos combinados para cada etapa, así como en las dos etapas más sensibles. Numerosos estudios (en condiciones de estrés salino bajo) han identificado cientos de genes implicados en las respuestas al estrés de la salinidad, muchos de los cuales conducen a una mejor tolerancia al exceso (Platten, et al., 2013). Experimentos liderados por el investigador Ajay Parida de M.S. Swaminathan Research Foundation (MSSRF) han avanzado en las investigaciones sobre la resistencia del arroz a la salinidad tomando el gen resistente a la salinidad del manglar e introduciéndolo en la variedad asiática de arroz (Holden, 2004).

La pérdida de la diversidad genética del arroz ha sido una consecuencia de la preferencia por las variedades asiáticas y del mejoramiento de los cultivares modernos, lo cual ha resultado en cultivos genéticamente vulnerables ante factores abióticos y

agentes bióticos. Se estima que los programas de mejoramiento genético de arroz sólo están utilizando alrededor del 25% de la variabilidad genética existente en la especie (Díaz, et al., 2011).

Cuadro 3.2. Efectos de la salinidad y la alcalinidad sobre el desarrollo de la planta de arroz.

Valor SES	Efectos
1	Crecimiento normal
3	Sal: Blanqueamiento. Alcalinidad: Crecimiento normal pero con disminución en el macollamiento y en algunos casos decoloración.
5	Sal: Blanqueamiento y baja elongación. Alcalinidad: Crecimiento y macollamiento reducido. En algunos casos decoloración.
7	No hay crecimiento y algunas plantas pueden encontrarse casi muertas.
9	La mayoría de las plantas están muertas o casi muertas.

Las principales etapas de crecimiento afectadas son el macollamiento y el sistema de elongación. En el Cuadro 5.1 se enlistan variedades que son resistentes a la salinidad y fueron evaluadas bajo este sistema. Tomado de IRRI, 2002.

4. Capítulo IV. Los arrozales en tierras saladas

En los campos de arroz, la salinidad, por lo general es más severa durante la estación seca, debido a la alta evapotranspiración y al bajo suministro de agua. Al mismo tiempo, la escasez de agua dulce obliga a los agricultores a utilizar el agua del subsuelo, que puede contener sales en altas concentraciones. La sal aportada por el agua de riego se queda atrapada en los poros de la tierra en la superficie afectado considerablemente el rendimiento de los cultivos. Por lo que, la disposición constante de agua dulce para el cultivo de arroz supone un reto más para el cultivo de arroz, en especial en las regiones más áridas (Abrol, et al., 1988).

A pesar de esto, el cultivo de arroz se prefiere por encima de otros para su producción en tierras saladas (Abrol, et al., 1988). Por ejemplo en Paquistán, 1 millón de hectáreas de cultivo de arroz son producidas en tierras saladas (6.2 millones de hectáreas en total con problemas de salinización) (Aslam, et al., 1993). Una ventaja más de cultivar arroz, aunque de regadío, en parcelas con saturación de sales es la recuperación de las tierras. El beneficio de la producción de cultivos de arroz simultánea es ideal durante la recuperación de suelos salinos. El Cuadro 4.1 proporciona datos sobre los cambios de salinidad debido al cultivo de arroz. Sin embargo, la lixiviación en condiciones de estancamiento continuo tiene la desventaja de ser menos eficiente para el lavado de sales en comparación con riego intermitente (Abrol, et al., 1988).

Cuadro 4.1 Cambios en la concentración de sales en parcelas con problemas de salinización como consecuencia del cultivo de arroz.

Suelo Profundidad cm	dS/m			
	Inicial	Después del primer ciclo	Después del segundo ciclo	Después del tercer ciclo.
0-10	169	20.1	16.9	12.1
10-20	130	22.1	15.9	12.1
20-40	75.1	31.5	21.2	16.1
40-60	42.2	33.4	26.4	20
60-80	33.8	35.5	29.0	22.7
80-100	30.2	36.5	30.4	24.2

Toma en cuenta los cambios en el suelo de pH y SAR. Se puede observar como disminuye la salinidad después de tres ciclos de cultivo de arroz a diferentes profundidades. Fuente: Abrol, et al., 1988).

En el apartado sobre los efectos de la salinización sobre el arroz se destaca la vulnerabilidad de la planta durante la etapa de germinación. Sin embargo, esto no supone mayor problema puesto que la mayoría de los agricultores siembran la semilla en viveros bajo condiciones óptimas de suelo. Posteriormente, cuando las plántulas tienen de 20 a 40 días de edad son trasplantadas. Sin embargo, los efectos de la salinidad en la etapa de floración son inevitables (Abrol, et al., 1988) causando pérdidas económicas. Por ejemplo, en Paquistán, hasta 1992 se habían registrado pérdidas anuales de 107 millones de dólares en los campos de arroz sobre tierras saladas (Aslam, et al., 1993).

Otra estrategia es la de cultivar durante la estación de lluvias aunque en un principio la salinidad del suelo puede ser alta, después de una o dos lluvias la salinidad se reduce permitiendo la siembra de las plántulas (Abrol, et al., 1988). En India, la variedad silvestre *Oryza coarctata Roxb* crece a las orillas del mar y en marismas (Bal y Dutt, 1986). Esta variedad sobrevive a condiciones extremas de salinidad (CE 30-40 dSm-1)

y es capaz de sobrevivir en condiciones de inundación con agua marina (CE 20-40DScm-1) durante un período largo de tiempo gracias a la presencia de glándulas que le permiten excretar las sales (Yadav, et al., 2011). También es importante mencionar que algunos estudios realizados con cultivos de alfalfa han demostrado que otros factores como la calidad del aire influyen mucho más en la producción que la misma salinidad del suelo (Abrol, et al., 1988).

5. Capítulo V. Variables exógenas

Papa Abdoulaye Seck, director general del Centro Africano del Arroz (WARDA) comentó: "Estamos convencidos de que el futuro del cultivo de arroz se encuentra en África. [...] la producción local de arroz bajo condiciones de riego puede ser tan competitiva como en Asia y mucho más barata que en los Estados Unidos" (Banco Mundial, 2013).

Explorar las variables exógenas puede ayudar a comprender la situación actual del arroz en un contexto social, político y económico. En este estudio se resaltan aspectos que deben considerarse y ser desarrollados más a fondo por expertos en cada área de estudio con la finalidad de conocer ampliamente el potencial que la ricicultura en tierras saladas puede tener en el mercado internacional.

5.1. Competitividad y Economía

La competitividad por calidad del producto corresponde a la adaptabilidad a las demandas del mercado, la calidad real y percibida del producto así como el tiempo de venta y de envío del producto. Esta competitividad es a largo tiempo pues requiere de tiempo para crearla (Demont, et al., 2013). El arroz africano es una de las variedades que menos se ha desarrollado a pesar de su facilidad de adaptación a condiciones poco favorables. Hasta la década de los 80, existía poca información sobre la competitividad del arroz africano. Un estudio realizado en los años 70 dirigido por Pearson y colaboradores mostró que de cinco países productores de arroz (Côte d'Ivoire, Liberia, Sierra Leona, Senegal y Mali), sólo la producción de arroz de dos de ellos (Sierra Leona

y Mali) era ventajosa. Bajo esta visión se justificó la dependencia del arroz de importación. Sin embargo, nuevos estudios muestran que la competitividad del arroz ha mejorado después de la crisis alimentaria de 2008 (Demont, et al., 2013) y el aumento en la producción de los últimos años demuestra el potencial de la región para la mejora del arroz (Banco Mundial, 2013).

El cultivo de arroz representa la actividad económica y la fuente de ingreso más importante para más de 100 millones de personas en Asia y África (Degiovanni, et al., 2010). Este cereal es el más caro del mercado internacional (FAO, 2014b). Los países que tienen el precio más bajo de arroz son México, Senegal y Brasil. Mientras que los países que venden más caro son Estados Unidos de América y Francia (FAO, 2014b). El estudio dirigido por Demont, et al. (2013) indica que los ciudadanos senegaleses están dispuestos a pagar hasta 17% más del valor del arroz quebrado de importación por un arroz de mejor calidad y de origen africano como el Rival®.

Esta información da esperanza sobre la aceptación que la gente puede tener hacer nuevas variedades de arroz cultivadas localmente, aún si el precio no es menor al que pagarían normalmente por un arroz importado, siempre y cuando sea un grano de calidad.

5.2. Políticas

Los países emergentes deben abogar por políticas comerciales más justas, integrales e inclusivas de los productores locales, así como la distribución más eficiente de los recursos (Degiovanni, et al., 2010).

A pesar de que la producción mundial de alimentos es la más alta en la historia de la humanidad, la distribución y accesibilidad de los alimentos siguen siendo limitantes en la lucha contra el hambre (Flores, et al., 2012). En América Latina, por ejemplo, la producción de alimentos es suficiente para alimentar a la totalidad de su población. Sin embargo, aún existen 53 millones de personas que sufren hambre, debido sobre todo, a la inequidad al acceso de los alimentos (FAO, 2013b). Bajo este problema, organizaciones internacionales como las Naciones Unidas (UN) hacen un esfuerzo para obligar por ley y moralmente, a las naciones a asegurar el acceso equitativo de los alimentos.

La política es un instrumento clave en la lucha contra el hambre, incluso si la ciencia y la agricultura llegaran a obtener cifras más altas sobre la producción de alimentos, el acceso a ellos por la mayoría de las personas es un deber de los parlamentos que tienen la responsabilidad de aportar instrumentos de protección alimentaria a la población (FAO, 2013b).

Una estrategia del mercado para poner al alcance todos una porción de arroz es la poner el mercado arroz de baja calidad a precios accesibles, en especial para aquellos que no pueden costear un producto más caro, mientras que para las personas con mayores ventajas económicas se puede ofrecer en el mercado productos con valores agregados como productos elaborados o procesados Sin embargo, el fitomejoramiento y el apoyo a la producción local son estrategias más integrales y funcionales (Degiovanni, et al., 2010; FAO, 2013b).

El arroz producido localmente tiene la ventaja de aprovechar los recursos locales, genera empleos y ofrece la oportunidad de participar en el mercado internacional, especialmente en los países productores cuyo consumo per cápita es bajo, en especial si el arroz es de alta calidad y puede ser exportado, lo que generando mayores ingresos (Degiovanni, et al., 2010). Además, la autonomía alimenticia es parte, generalmente, de los objetivos políticos de los países pues deja recursos económicos disponibles para importar productos que no son producidos localmente y es una protección contra las fluctuaciones del mercado internacional de los alimentos. Además reduce la alta dependencia alimentaria de los países importadores, evitando problemas en el mercado internacional (Flores, et al., 2012).

ALC era autosuficiente en un 90% en cuanto su consumo de arroz, pero se ha pronosticado que para este año tendrán un déficit de 2 a 4 millones de toneladas, lo cual podría aumentar debido al calentamiento global (Degiovanni et al., 2010).

5.3. Ciencia

El avance de las técnicas de sembradío y el mejoramiento de las variedades de arroz permiten a los agricultores la conquista de nuevos territorios, aún con limitaciones de recursos. Los avances para el cultivo de arroz son claros, se sabe que el 70% de la producción total de arroz en ALC proviene de cultivos (de riego y de secano) con variedades mejoradas (Datos de entre 1985 y 2005) (Degiovanni, et al., 2010).

En China el avance ha sido mucho mayor, pues los investigadores chinos fueron los primeros en obtener los híbridos del arroz en 1974 con lo que lograron un rendimiento

de entre 15 y 20% mayor. Gracias a esto, el rendimiento promedio en China aumento de 3.5 a 6.2 ton/ha. La mitad de las hectáreas dedicadas a la ricicultura en China están sembradas con arroz híbrido. Los híbridos son una buena estrategia contra el hambre en países de escasos recursos con una densidad poblacional creciente y una pequeña superficie de tierra cultivable (FAO, 2004d).

Hasta el momento se han sembrado variedades de NERICA® en más de 200.000 hectáreas de tierras de varios países africanos. Durante los últimos tres años, se han diseminado estas variedades a través de programas con la participación de agricultores como parte del proyecto quinquenal NERICA®, por US\$35 millones, dirigido por WARDA, con el apoyo del Banco Africano de Desarrollo (BAD), el gobierno japonés y el PNUD (Banco Mundial, 2013).

En los últimos años, los investigadores han concentrado sus esfuerzos en el desarrollo de variedades de arroz resistente a la salinidad, especialmente después de conocer los posibles efectos del calentamiento global sobre las tierras de cultivo (Platten, et al., 2013). Se ha recolectado una gran variedad de germoplasma de arroz de diferentes zonas salinas en la India, identificando varios genotipos que son extremadamente tolerantes a la sal (Cuadro 5.1). Sin embargo, la mayoría de las variedades de origen asiático son fotosensibles y de bajo rendimiento (Abrol, et al., 1988).

Cuadro 5.1 Variedades de arroz identificadas como resistente o altamente resistentes al estrés salino.

Genotipo	Especie	Origen	Estatus	*SES	Tolerancia
	<i>O. glaberrima</i>	Guinea-Bissau	Cultivo tradicional	2,22	Alta
	<i>O. glaberrima</i>	Guinea-Bissau	Cultivo tradicional	2,4	Alta
	<i>O. glaberrima</i>	Senegal	Cultivo tradicional	3	Alta
	<i>O. glaberrima</i>	Senegal	Cultivo tradicional	3,78	Alta
Kalarata	<i>O. sativa</i>	India	Cultivo tradicional	2,17	Alta
Nona Bokra	<i>O. sativa</i>	India		2,17	Alta
Pokkali	<i>O. sativa</i>	India	Cultivo tradicional	2,17	Alta
Pokkali	<i>O. sativa</i>	Sri Lanka	Cultivo tradicional	2,17	Alta
Capsule	<i>O. sativa</i>	Bangladesh	Cultivo tradicional	2,22	Alta
Kutipatnai	<i>O. sativa</i>	Bangladesh	Cultivo tradicional	2,22	Alta
Cheriviruppu	<i>O. sativa</i>	India	Cultivo tradicional	2,5	Alta
Daw Hawm	<i>O. sativa</i>	Thailandia		2,5	Muy alta
Ching-Tai-1chan	<i>O. sativa</i>	China		2,56	Alta
Gundang	<i>O. sativa</i>	Filipinas	Cultivo tradicional	2,58	Alta
Jumbo-jet	<i>O. sativa</i>	Filipinas	Cultivo tradicional	2,67	Alta
Bora Dudh Kalam	<i>O. sativa</i>	Bangladesh	Cultivo tradicional	2,78	Alta
Hoglapata	<i>O. sativa</i>	Bangladesh	Cultivo tradicional	2,78	Alta
Mulai	<i>O. sativa</i>	Iran	Cultivo tradicional	2,78	Alta
Urichadra	<i>O. sativa</i>	Bangladesh	Cultivo tradicional	2,8	Muy alta
Gurdoi	<i>O. sativa</i>	Bangladesh	Cultivo tradicional	2,83	Muy alta
Demshi	<i>O. sativa</i>	Bangladesh	Cultivo	2,89	Muy alta

			tradicional		
Gia Dhan	<i>O. sativa</i>	Bangladesh	Cultivo tradicional	2,89	Alta
Basmati 217	<i>O. sativa</i>	India		3	Alta
BPI RI-2	<i>O. sativa</i>	Filipinas	Cultivo avanzado	3	Muy alta
Dharga Sail	<i>O. sativa</i>	Bangladesh	Cultivo tradicional	3	Alta
Eratio	<i>O. sativa</i>	Senegal		3	Alta
Gachia	<i>O. sativa</i>	Bangladesh	Cultivo tradicional	3	Alta
Pokkali	<i>O. sativa</i>	India		3	Muy alta
Horkocha	<i>O. sativa</i>	Bangladesh	Cultivo tradicional	3,1	Alta
Anbarloo Sadri	<i>O. sativa</i>	Iran	Cultivo tradicional	3,11	Alta
Celtik Tosya	<i>O. sativa</i>	Turquía		3,11	Alta
Hassan Tareme	<i>O. sativa</i>	Iran	Cultivo tradicional	3,11	Alta
Som	<i>O. sativa</i>	Guinea-Bissau	Cultivo tradicional	3,11	Alta
FL478	<i>O. sativa</i>	Filipinas	Breeding line	3,13	Alta
Dom Sofid	<i>O. sativa</i>	Iran	Cultivo tradicional	3,17	Alta
Dom Sofid	<i>O. sativa</i>	Iran	Cultivo tradicional	3,22	Alta
Larome	<i>O. sativa</i>	Iran	Cultivo tradicional	3,22	Alta
Choi Mora	<i>O. sativa</i>	Bangladesh	Cultivo tradicional	3,33	Alta
Maoanrano	<i>O. sativa</i>	Madagascar	Cultivo tradicional	3,33	Alta
Rayada	<i>O. sativa</i>	Bangladesh	Cultivo tradicional	3,33	Alta
Damodar	<i>O. sativa</i>	India	Cultivo avanzado	3,44	Alta
FR13A	<i>O. sativa</i>	India		3,5	Alta
Walimbo	<i>O. sativa</i>	Senegal	Cultivo tradicional	3,5	Alta
Bora Dhan	<i>O. sativa</i>	Bangladesh	Cultivo tradicional	3,67	Alta
Hasawi	<i>O. sativa</i>	Arabia		3,67	Alta

Saudita					
Taangteikpan	<i>O. sativa</i>	Myanmar		3,67	Alta
Msalim Jaro	<i>O. sativa</i>	Kenia	Cultivo tradicional	3,7	Alta
Carolina Seln	<i>O. sativa</i>	Perú	Cultivo tradicional	3,75	Alta
Ta Lay	<i>O. sativa</i>	Vietnam	Cultivo tradicional	3,83	Alta
Carolina Gold	<i>O. sativa</i>	Estados Unidos de América		3,89	Alta
Rajasail	<i>O. sativa</i>	Bangladesh	Cultivo tradicional	3,89	Alta
ARC 18567	<i>O. sativa</i>	India		4	Alta
Chini Sokkor	<i>O. sativa</i>	Bangladesh	Cultivo tradicional	4	Alta
Cypress	<i>O. sativa</i>	Estados Unidos de América	Cultivo avanzado	4	Alta

El número de especies de origen indico es más elevado que las especies de origen africano. La mayoría de las especies identificadas son fitomejoradas. Fuente: Platten, et al., 2013. *En

Cuadro 3.2 se muestra la escala y los efectos sobre el crecimiento del arroz.

El Fondo Latinoamericano para el Arroz de Riego (FLAR) desde su creación en 2003 se ha comprometido con el mejoramiento de la producción, especialmente en los arrozales de regadío y en los de las tierra altas (Riddell, et al., 2006). También sugiere que si se pone en marcha un paquete agronómico de siete pasos, siembra en la época oportuna, semilla de buena calidad; nivelación adecuada, buen manejo del agua, control oportuno de malezas, fertilización aplicada en tiempo y asistencia técnica, la producción de secano en ALC, aún con las mismas variedades de arroz que de hábitud, el rendimiento puede aumentar de 2-3% y los costos pueden reducir de 20% al 30% (Degiovanni, et al., 2010).

Desafortunadamente, el uso de híbridos resulta en la pérdida de biodiversidad genética del arroz. Actualmente solo se aprovecha el 25% de la diversidad genética del género. Como resultado de esto, los arrozales actuales son genéticamente vulnerables a los cambios del medio ambiente (Díaz, et al., 2011).

5.4. Aspectos internacionales

Asegurar el acceso a la alimentación es un reto que todos debemos afrontar. Algunos obstáculos internacionales para asegurar el acceso a la alimentación son la globalización y el calentamiento global.

Por un lado la globalización ha causado cambios en los hábitos alimenticios tradicionales, perdiendo la diversidad de los alimentos y dejando en manos algunas empresas internacionales el control de lo que comemos. Es por esto, que cada vez más se exige el acceso a la información sobre la calidad y las aportaciones nutrimentales que los productos procesados (Flores, et al., 2012). Además, la urbanización también ha favorecido el cambio alimenticio hacia productos de rápida cocción y preparación como el arroz. Dentro del mercado, esto ejerce presión pues si la oferta no cubre la demanda, podría ocasionar una inflación en el precio de los productos lo que a su vez dificulta su acceso para las personas de bajos recursos (Lasuén & Benítez 2012)

Por otro lado, el calentamiento global puede aumentar la dependencia de los países en desarrollo de las importaciones de alimentos y acentuar la inseguridad alimentaria en los grupos y países más vulnerables (FAO, 2002b). Lo que probablemente causará más conflictos en países dependientes de importaciones alimentarias puesto que la sequía y

la inundación de las tierras limitan el acceso a los recursos necesarios para la producción alimentaria generando conflictos al compartirlos, lo que podría desencadenar conflictos bélicos (de la Guerra, 2013), dificultando aún más el acceso a todas las regiones para distribución de los alimentos. Además, limitan la ayuda económica externa, impiden el intercambio de productos y detienen el desarrollo económico y la creación de empleos (ONU, 2014).

Un claro ejemplo de los efectos de los conflictos bélicos es el caso de Corea del Norte, en la provincia de Hwanghae del sur, conocida como la cuenca arroceras, en 2012, la producción local de arroz, aunque suficiente para alimentar a sus pobladores, la inequidad de la repartición del alimento puso en riesgo la vida de sus pobladores, puesto que, debido a intereses políticos, la repartición del arroz fue preferentemente para los funcionarios de seguridad e inteligencia y para los soldados (Oryza, 2012).

5.5. Las semillas y el desarrollo rural

Dar prioridad a la producción local de alimentos y una menor desigualdad en el acceso a los alimentos puede hacer que mejore esta situación (FAO, s.f.).

La agricultura familiar por su capacidad de proveer alimentos y de superar la pobreza rural es clave en la lucha de la soberanía alimentaria, sin embargo no ha recibido el apoyo suficiente por los gobiernos (FAO, 2004c). A nivel comunitario y familiar, la seguridad alimentaria se ve influenciada por el poder de compra de la población, la disponibilidad de alimentos, las estrategias ecológicas, económicas y sociales de la

población para obtener los alimentos y sus preferencias y costumbres alimenticias (Flores, et al., 2012).

5.6. Uso de semillas nativas

El uso de semillas adaptadas a las condiciones locales favorece la economía de los agricultores, pues requieren de menos insumos agro-químicos. Sin embargo, las políticas de los sistemas de producción, distribución, de semillas, la inequidad en el acceso a las semillas mejoradas y la inaccesibilidad a apoyos económicos para los agricultores, son factores que han impedido que los agricultores gocen plenamente de las ventajas de utilizar semillas de locales de calidad (FAO; 2014d; 2004c).

5.7. Los consumidores

Los consumidores de arroz ejercen una fuerte presión sobre el transporte, la conservación, la forma de cocinar y consumir sus platillos, la calidad, origen y precio de los granos de arroz en el mercado. Por esto, es fundamental fomentar la educación sobre la nutrición entre los consumidores de arroz. (FAO, 2013b). Esta es una estrategia que puede llegar a promover reformas en las políticas nacionales y dentro del mercado internacional.

Un ejemplo es el estudio realizado entre los ciudadanos de Dakar, Senegal, sobre la percepción del arroz producido localmente y su calidad. La población senegalesa consume arroz importado de países asiáticos, costumbre que permaneció desde la época de la colonia francesa. Sin embargo, en este país se cultiva arroz de mayor

calidad que la del arroz quebrado importado. Cambiar el hábito de consumir un arroz de mejor calidad por uno producido localmente de mayor calidad nutricional, no debería suponer mayor dificultad. Sin embargo la tendencia es clara, los ciudadanos senegaleses prefieren el grano asiático. Por esto, además del mercado internacional y el precio del arroz africano, es necesario llegar hasta los consumidores ofreciendo la información sobre los productos a través de las etiquetas en los productos y la mercadotecnia (FAO, sf; Demont, et al., 2013, de la Guerra, 2013).

5.8. Apoyos y subsidios

El arroz es el cultivo más subsidiado en el mundo, hasta 2010 recibía un apoyo de más de US\$20,000.00 millones al año (Degiovanni, et al., 2010). Esto a su vez genera beneficios para los consumidores, en especial los urbanos en países en vías de desarrollo. Sin embargo, también ocasiona desempleo como consecuencia de la reducción de la producción local por la preferencia del arroz subsidiado (Degiovanni, et al., 2010).

La FAO, el IRRI y el PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) apoyan continuamente proyectos de ricultura con arroz híbrido. Entre 2001 y 2002, se apoyó la siembra de 800 000 ha de arroz híbrido en países asiáticos diferentes de China (FAO, 2004d). El arroz híbrido tiene una ventaja en el rendimiento del 15 al 20%. Esto permite diversificar la producción agrícola, ya que para satisfacer la demanda de arroz se requiere una superficie menor que con otras variedades de arroz (FAO, 2004d).

6. Conclusiones y recomendaciones

El objetivo particular de este trabajo sobre identificar la oferta y demanda de arroz en el mundo fue alcanzado, sin embargo, la información disponible sobre las superficies de tierras saladas utilizadas como arrozales no es muy extensa. Tampoco existen muchos trabajos que traten las prácticas de cultivo de arroz en tierras saladas. Por lo que se puede concluir que es un tema que, a pesar de que se practica entre los agricultores de subsistencia, no ha sido explorado en su totalidad de manera científica.

En todo el mundo existen superficies de tierras con problemas de salinización, las cuales pueden extenderse aún más debido a la escasez de lluvias, al aumento de la temperatura y al aumento del nivel del mar, cambios provocados por el cambio climático. Actualmente, ya existe evidencia de que el problema de la salinización de tierras afecta de manera considerable la producción de arroz causando pérdidas económicas. Por lo que encontrar una forma productiva de aprovechar estas tierras puede ser una herramienta útil en el abastecimiento de alimentos en el mundo, en especial si se trata del arroz por su gran importancia en la alimentación humana.

Las tierras salinas, en su mayoría, son subutilizadas, por lo que, con la expansión de tierras salinas, cada vez más tierras perderán su productividad en la agricultura. Afortunadamente, existe una gran diversidad genética en el arroz que le permite, a esta especie, adaptarse a diferentes condiciones ambientales en casi todo el mundo. Además, también tiene un amplio rango de adaptación a las diferentes características que un suelo salino puede presentar tales como la textura, el pH (de ligeramente ácido

a ligeramente alcalino), el contenido de materia orgánica, la deficiente disponibilidad de los nutrimentos y la nula humedad en el suelo.

Debido a las condiciones ambientales que favorecen la salinización de las tierras, es decir, baja precipitación y la alta evapotranspiración y considerando que el cambio climático favorecerá dichas condiciones, el cultivo de arroz de secano es una opción viable para estas regiones. Además, existen variedades, tanto mejoradas como locales, de arroz adaptadas a esta técnica de cultivo. Sin embargo, debe considerarse que uno de los principales efectos reportados del cambio climático es el cambio errático del régimen de lluvias, lo que supone una desventaja para el cultivo de secano, pues éste depende de las lluvias para obtener agua. Por lo que es necesario adoptar técnicas eficientes de colecta y almacenamiento de agua. La de arroz en tierras saladas es posible como cultivo de subsistencia. Participar en el mercado internacional con este producto aún no es una posibilidad.

Impulsar el cultivo de secano de arroz en un ecosistema poco favorable (parcelas con problemas de salinización) y diversificar el uso de las semillas nativas de arroz a través proyectos en los que se apoye a los productores locales puede ser una herramienta eficaz en la lucha contra el hambre en países emergentes. Especialmente porque el arroz es el principal cereal consumido por el hombre. Aunque los principales países consumidores y productores son asiáticos, el consumo de arroz se ha popularizado bastante en muchas otras regiones del mundo. Además, el creciente déficit de producción de arroz, sumado al aumento de la demanda de este cereal es una

motivación para innovar en las técnicas de cultivo y el continuo mejoramiento de las variedades de arroz.

La ricultura local en parcelas con problemas de salinización no es un tema nuevo para muchos pueblos tanto de Asia, como de África e incluso de ALC. Los casos presentados en este documento muestran que gracias a las diversas adaptaciones que las variedades de arroz presentan a las condiciones de salinidad, el desarrollo de la planta de arroz en condiciones de estrés salino es factible. Además, el manejo de los agricultores sobre los cultivos es un factor que potencializa el éxito del desarrollo del arroz.

La ricultura de secano es la mejor técnica para el cultivo de arroz en tierras saladas, debido a las condiciones ambientales que favorecen la salinización de las tierras, es decir, condiciones áridas, y para favorecer la reducción de agua por cultivos de arroz. Sin embargo, la elección de la técnica dependerá de las condiciones particulares de cada parcela.

En las regiones áridas y semi-áridas, es decir, las más vulnerables a la salinización de tierras, la baja disponibilidad de agua es un factor limitante. La irregularidad de las lluvias, única fuente de humedad, puede ser enfrentado mediante técnicas sencillas de captación de agua y mediante un buen sistema de almacenaje, especialmente para los pequeños cultivos (Riddell, et al., 2006).

Debido a la presión que ha generado la salinización de las tierras en los cultivos de arroz, la ciencia ha avanzado rápidamente en el aislamiento de los genes resistentes a la salinidad. Lo que permitirá, en un futuro, el desarrollo de más variedades de alto rendimiento y alta resistencia a la salinidad. Al mismo tiempo, los avances en la ciencia ha causado la disminución de la diversidad genética del arroz. Ya que se han enfocado considerablemente en el mejoramiento de las variedades asiáticas y de regadío.

Las variedades mejoradas normalmente se venden a precios que los agricultores de subsistencia no pueden costear. Por esto, se recomienda la agricultura con semillas de arroz locales, como las africanas, que presentan diversas cualidades entre las que destacan la alta resistencia a la salinidad. Para aquellos cuyo poder adquisitivo sea suficiente para adquirir las variedades mejoradas, NERICA es una opción viable para las parcelas que presenten condiciones ambientales semejantes a las presentes en África del oeste. Sin embargo es necesario aclarar que una de las desventajas de utilizar semillas silvestres o locales es la baja productividad, en comparación a la alta producción de las semillas mejoradas.

La falta de variedades de secano resistentes a la salinidad y de alto rendimiento, limita la producción de arroz en parcelas salinas impidiendo su competitividad en el mercado internacional. Esta es una de las razones por las que se sugiere seguir el desarrollo de las variedades de secano resistentes a la salinidad y de alto rendimiento a través de la investigación de las especies silvestres.

A pesar de esto, la ricicultura de secano en parcelas salinas ofrece ventajas diferentes, como el aprovechamiento de las especies silvestres y locales ayuda a la conservación de la diversidad genética. Además, para los agricultores de subsistencia, son una buena opción puesto que estas semillas ya están adaptadas a las condiciones ambientales de la región. Asimismo, se desarrolla la economía local y el aprovechamiento de los recursos naturales es realizado directamente por los pobladores de la región.

El uso razonable del agua es la principal razón por la que en este estudio no se recomienda el sistema de regadío para los arrozales. Sin embargo, se ha demostrado que disminuyen la concentración de sales. Es importante considerar el tipo de sales presentes en las parcelas, ya que en tierras sódicas, por ejemplo el lixiviado puede aumentar la alcalinidad (Ginés y Simón, 2013).

Recomendaciones

Una de las mejores estrategias contra la pobreza y el hambre es la inversión en la agricultura (FAO, 2013b).

El aprovechamiento de las parcelas con problemas de salinización a través del cultivo de arroz, podría ayudar a conseguir esta meta. El éxito de esta propuesta exige una visión holística cuyo principal promotor es el consumidor (FAO, sf; Marín y Delgado, 1997; Andrade, et al., 2011). Este estudio fue dirigido principalmente hacia la ecología, sin embargo, se recomienda explorar más los factores antrópicos, ya que son parte fundamental del correcto manejo de los arrozales (Chaudhary, et al., 2003; FAO 2007).

A continuación se enlistan algunas recomendaciones que surgen a partir de la lectura realizada para la elaboración del presente documento.

Esta propuesta está dirigida hacia la agricultura de subsistencia a escala local. La primera etapa es conocer las particularidades de las condiciones ambientales de cada región y parcela. En esta etapa, la participación de los pobladores locales y comunidades indígenas es fundamental, ya que permite enriquecer el conocimiento empírico sobre las condiciones locales. Esta información difícilmente se encuentra al alcance de los científicos ya que cada sociedad se relaciona con su medioambiente de una forma propia (FAO, 2007b; FAO, 2013b).

Así mismo, la participación de los agricultores locales fomenta el empoderamiento del proyecto, factor fundamental para éxito de cualquier proyecto. El proyecto de ricultura

de subsistencia en tierras saladas permite a los pobladores locales tomar decisiones sobre el uso de sus propios recursos naturales tales como tierra y agua. (Marín y Delgado, 1997).

El buen manejo de los recursos naturales requiere de una retroalimentación entre los agricultores locales, los científicos y políticos encargados del proyecto (FAO, 2013b). La labor de los científicos deberá ser la de escoger y desarrollar las mejores variedades para su cultivo en las parcelas salinas, tomando en cuenta el tipo de salinidad, el grado de salinidad, el régimen de lluvias, las condiciones ambientales generales de la zona como radiación solar, nutrientes, materia orgánica disponibles en el suelo. También serán los encargados de seleccionar y dosificar los agroquímicos.

Por su parte, los políticos deberán crear leyes que permitan el amplio aprovechamiento sustentable de los recursos necesarios para el cultivo de arroz. También se debe procurar el apoyo económico para fomentar la producción local de alimentos y su competitividad. Se debe tomar en cuenta que el arroz producido en muchos países recibe subsidios que permiten bajar los costos de producción. Dichas acciones deben considerarse como parte de una estrategia para el cumplimiento del derecho a la alimentación (FAO, 2013b).

Los agricultores locales deberán comprometerse con la producción de arroz y el aprendizaje de esta nueva experiencia. La organización de los agricultores permitirá crear grupos eficientes para la transmisión del conocimiento. Un ejemplo de esto son las escuelas en los campos de arroz en Asia promovidos por la ONU (2007b). El

objetivo de estas escuelas es la recopilación de datos sobre crecimiento y plagas que afectan los cultivos a través de la observación.

La recopilación de la información empírica y científica permitirán conocer los efectos que tendrá el cultivo de arroz en un sistema de por sí ya frágil. Asimismo, debe considerarse el impacto que los agroquímicos producen a las tierras aledañas, al manto acuífero y a las zonas costeras. Por otro lado, se debe conocer, en la medida de lo posible, los factores del medio ambiente que afectarán la producción de arroz en un sistema degradado por la salinidad, tomando en cuenta los cambios ambientales futuros. En el caso de los arrozales de secano en parcelas saladas, el impacto podría ser mínimo, pues generalmente, estas parcelas son aprovechadas más allá del pastoreo.

La gestión financiera también debe ser contemplada en cualquier proyecto productivo. El uso de semillas nativas puede dar un valor agregado debido al uso y conservación de la diversidad genética del arroz (FAO, 2014d). El uso de productos orgánicos, como manejo orgánico de plagas y malezas, bio-fertilizantes y el manejo correcto del agua también dan un valor agregado que se deberá verse reflejado en el precio del arroz. Los daños previstos en el punto tres, es decir, daños a los ecosistemas aledaños y también a las poblaciones aledañas deberá ser considerado en el precio del producto con la finalidad de poder invertir una parte de las ganancias en la restauración del ecosistema o comunidades afectadas.

El mantenimiento de los servicios ecosistémicos es una obligación que debe respetarse dentro de cualquier actividad. Por esto, se sugiere aplicar técnicas que permitan, no solo el aprovechamiento a corto plazo de las parcelas salinas, sino también la recuperación de éstas. La restauración de las parcelas dependerá de factores como el origen y tipo de salinización, el tiempo al que ha estado expuesto a factores de degradación de calidad del suelo, como pastizales y ganadería y el tipo de agricultura que se realizará en la zona, de regadío o de secano, orgánica, etc.

A pesar de que los efectos de los cambios globales sobre la producción de arroz aún no se conocen ampliamente, es necesario considerar los posibles cambios y sus efectos en la construcción de los escenarios futuros. También deberán plantearse estrategias efectivas contra la escasez de agua dependiendo de las condiciones locales.

Además de los puntos arriba expuestos, el mejoramiento de los servicios de saneamiento, las tecnologías de almacenamiento, reducir las pérdidas y el desperdicio de los alimentos en los sistemas alimentarios podría contribuir en la accesibilidad de los alimentos. Así mismo, factores como el precio del petróleo, políticas nacionales, disponibilidad de agroquímicos, la falta de apoyos económicos futuros, entre otros, son factores exógenos clave en el éxito de un proyecto productivo (FAO, 2013b).

7. Referencias

- Abrol, I., Yadav, J., Massoud, F., 1988. *Salt-affected soils and their management*. No. 39. Food & Agriculture Org.
- Acevedo M, Castrillo W., Belmonte U., 2006. *Origen, evolución y diversidad del arroz*. Trabajo especial. *Agronomía tropical* 56(2): 151-170.
- Andrade, A., Arguedas, S., Vides, R., 2011. *Guía para la aplicación y monitoreo del Enfoque Ecosistémico*. CEM-UICN, CI-Colombia, ELAP-UCI, FCBC.
- Aslam, M., Qureshi, R. H., Ahmed, N., 1993. *A rapid screening technique for salt tolerance in rice (Oryza sativa L.)*. *Plant and Soil*, 150(1), 99-107.
- ARF, sf. *Learn about rice*. The Asian rice foundation Disponible en: <<http://www.asiarice.org/sections/learnrice/riceislife.html>> [Consultado el 22 de enero de 2015].
- Ashour EK, Al-Najar H (2012) *The Impact of Climate Change and Soil Salinity in Irrigation Water Demand in the Gaza Strip*. *Earth Sci Climate Change* 3:120. doi:10.4172/2157-7617.1000120
- Awala, S. K., Nanhapo, P. I., Sakagami, J. I., Kanyomeka, L., Iijima, M., 2010. *Differential salinity tolerance among Oryza glaberrima, Oryza sativa and their interspecies including NERICA*. *Plant Production Science*, 13(1), 3-10.
- Bal, A. R. & Dutt, S. K., 1986. *Mechanism of salt tolerance in wild rice (Oryza coarctata Roxb)*. *Plant and soil*, 92(3), 399-404.
- Banco Mundial, 2013. *Un nuevo arroz de alta productividad permite ahorrar millones a los países africanos*. Noticias. Disponible en: <<http://go.worldbank.org/60DGBCXK60>> [Consultado el 8 de septiembre de 2014].
- Blanco H. & Lal, 2010. *Soil and water conservation*. Chapter 1 en: *Principles of soil conservation and management*. Springer Science+Business Media B.V.pp. 1-19
- Brüntrup, M., Nguyen, T., Kaps, C., 2006. *Le marché du riz au Sénégal*. *Agriculture & développement rural* pp.23–26.
- Chaudhary, R.C., Nanda, J.S., Tran, D. V., 2003. *Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz*. FAO; Comisión internacional del arroz.

- Degiovanni, B., Víctor, M., Martínez, R., César, P., Motta, O. eds., 2010. *Producción eco-eficiente del arroz en América Latina* [e-book]. CIAT. Tomo I V. Degiovanni, C. Martínez, & F. Motta, eds., Disponible en: Google Books <<https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=vdw-JYBkra8C&pgis=1>> [Consultado el 23 de febrero de 2015].
- CNDH, 2012. *Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, y su Protocolo Facultativo*. México.
- Datta, S. D., 1982. *El arroz de temporal en el mundo*. Arroz de temporal. Investigaciones Sobresalientes/SK de Datta. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Demont, M., Ndour, M., Zossou, E., 2013. *Le riz africain peut-il être compétitif? Une analyse de la compétitivité-qualité par la méthode des enchères expérimentales*. Cahiers Agricultures, 22(5), 345-352.
- Díaz, S., Cristo, V., Morejón, R., Shiraishi, M., Dhanapala, M., 2011. *Evaluación morfoagronómica de germoplasma de arroz de diferente origen y grupo varietal*. Cultivos Tropicales, 32 Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193222349008>> ISSN 0258-5936.
- Fall A., 2012. *Catalogue officiel des espèces et des variétés cultivés au Sénégal*. MARE, ISRA. Ministère de l'agriculture et de l'équipement rural 1ère édition. Sénégal. Pp 192.
- FAO, *Agua en la agricultura*. <pdf>. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/factsheet_wwf_spa.pdf> [Consultado el 12 de diciembre de 2013]
- FAO, 2002a. *La sal de la tierra: peligro para la producción de alimentos*. Cumbre mundial sobre la alimentación. Disponible en: <<http://www.fao.org/worldfoodsummit/spanish/newsroom/focus/focus1.htm>> [Consultado el 12 de diciembre de 2013]
- FAO, 2002b. *Perspectivas por sectores principales*. En Agricultura mundial. Hacia los años 2015/2030 Informe resumido. Roma pp. 32-74.
- FAO, 2002c. *Agricultura mundial : hacia los años 2015 / 2030*. <pdf> Informe resumido. Roma pp. 1–10. Disponible en:<<http://www.fao.org/3/a-y3557s.pdf>>.FAO, 2004a. *El Arroz y la Nutrición Humana*. Disponible en: <http://www.fao.org/rice2004/es/f-sheet/hoja3.pdf> [Consultado el 22 de enero del 2015].

- FAO, 2004a. *El Arroz y la Nutrición Humana*. Disponible en: <http://www.fao.org/rice2004/es/f-sheet/hoja3.pdf> [Consultado el 22 de enero del 2015].
- FAO, 2004b *Arroz híbrido para contribuir a la seguridad alimentaria*. Año internacional del arroz 2004. Disponible en: www.rice2004.org.
- FAO, 2004c. *Arroz y nosotros: Medio ambiente*. AIA. El arroz es vida. Disponible en: <http://www.fao.org/RICE2004/es/rice4.htm> [Consultado el 16 de febrero de 2015].
- FAO, 2005. *El futuro del arroz*. Enfoques 2005. Disponible en <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0512sp2.htm> [Consultado el 11 de enero del 2015]
- FAO, 2007a. *Cambio climático y seguridad alimentaria*, Roma.
- FAO, 2007b. *El enfoque ecosistémico aplicado a la alimentación y la agricultura. Situación y necesidades*. Comisión de recursos genéticos para la alimentación y la agricultura. 11ª reunión ordinaria. Roma, 11-15 de junio de 2007. CGRFA-11/07/15.4
- FAO, 2012. *Agricultura climáticamente inteligente*. Cambio climático. Disponible en: <http://www.fao.org/climatechange/climatesmartpub/66245/es/> [Consultado el 12 de febrero de 2015]
- FAO, 2013a. *La ley: Derecho a la alimentación, seguridad y soberanía alimentaria*.
- FAO, 2013b. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2013*. Sistemas alimentarios para una mejor nutrición.
- FAO, 2014a. *Mapa del mundo 2014*. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/templates/hunger_portal/img/map2014/poster_web_rev2_ESP-MDG.jpg [Consultado el 16 de octubre de 2014].
- FAO, 2014b. *Seguimientos del mercado del arroz, octubre y diciembre 2014*. Seguimiento del Mercado del Arroz (SMA). Disponible en: <http://www.fao.org/economic/est/publications/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/> [Consultado el: 1 de diciembre de 2014]
- FAO, 2014c. *Producción/Cultivo*. FAOSTAT. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S> [Consultado el 22 de enero de 2015]

- FAO, 2014d. *AGP-Seed Systems*. Disponible en <http://www.fao.org/agriculture/crops/core-themes/theme/seeds-pgr/seed_sys/es/>. [Consultado el 28 de septiembre de 2014].
- FAO, 2015a. *Indicadores clave/ Embarcadores de ayuda alimentaria (WFP)*. Arroz elaborado. FAOSTAT. Disponible en <<http://faostat3.fao.org/browse/X/FA/S>> [Consultado el 17 de marzo de 2015]
- FAO, 2015b. *Emisiones de metano y óxido nitroso producido por las actividades agrícolas*. FAOSTAT. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/browse/G1*/S>. [Consultado el 25 de marzo de 2015).
- Feitz, A.J., Lundie, S. Technology, W., 2002. *Soil Salinisation: A local life cycle assessment impact category*. LCA Discussions, 7(Abs 1996), pp.244–249.
- Flores, J., Vázquez, B., Quintero, M.L., 2012. *¿Soberanía, seguridad, autosuficiencia o crisis alimentaria? Caso de México y la región este de África*. Problema básico en salud y calidad de vida. Revista Digital Universitaria, 13 N 8(1067-6079), pp.1–19. Disponible en: <<http://www.revista.unam.mx/vol.13/num8/art87/index.html>>
- García, A. 2014. *Problemática de salinidad en el cultivo de arroz*. IUSS.
- de la Guerra, A. M. S., 2013. *África: riesgos y oportunidades en el horizonte de 2035: introducción*. In *África: riesgos y oportunidades en el horizonte de 2035* (pp. 9-18). Instituto Español de Estudios Estratégicos.
- Lasuén, J.R. & Benítez, C., 2012. *Los retos del regadío y la seguridad alimentaria*. SNC Lavalin.
- Häfele S., Wopereis M., Boivien P., N'Diaye. 1999. *Effect of puddling on soil desalinization and rice seedling survival in the Senegal River Delta*. Soil and Tillage Research. Vol 51. Pp 35-46.
- Holden C (edit). 2004. *Salt-Resistant Rice*. Random samples. Science Vol. 303 pp 308.
- I.I. de A.T. & FAO, 1997. *Manual de Prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. In Curso de Capacitación sobre el Manejo y Conservación de Suelos. IITA. pp. 1–238
- IRRI, sf. *The International Rice Genebank*. Disponible en: < <http://irri.org/our-work/research/genetic-diversity/international-rice-genebank>> [Consultado el: 27 de marzo de 2015].

- IRRI, 2002. *Standard Evaluation System for Rice (SES)*. Manila: International Rice Research Institute. Disponible en: www.knowledgebank.irri.org/extension/index.php/ses [Consultado el 05 de abril de 2015].
- IUSS, 2007. *Base referencial mundial del recurso suelo*. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. In G. de trabajo WRB, ed. Informes sobre recursos mundiales de suelos No 103. Roma: FAO
- Lamz A & González M. 2013. *La salinidad como problema en la agricultura: La mejora vegetal una solución inmediata*. Revisión bibliográfica. Cultivos tropicales. Vol 24 N 4 pp. 31-42.
- Lasuén, J.R. & Benítez, C., 2012. *Los retos del regadío y la seguridad alimentaria*. SNC Lavalin.
- Marín, V., & Delgado, L., 1997. *Manejo ecosistémico de los recursos naturales*. Ambiente y Desarrollo, 13(2), 70-76.
- Marius, C., 1981. *Acid sulphate soils of the mangrove area of Senegal and Gambia*. In N. Dost, H. van Breemen, ed. *Proceedings of the Bangkok Second International Symposium on Acid Sulphate Solis*, Bangkok, Thailand, pp. 103–136.
- Mesa, D., 2003. *Obtención de plantas resistentes a la salinidad para los suelos salinos cubanos*. Revista cubana de ciencia agrícola, 37(3), pp.217–226
- Mirsal, I.A., 2008. *Soil pollution: Origin, monitoring & remediation* <pdf> 2nd ed., Springer Berlin Heidelberg. Disponible en: <<http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>> [Consultado el 24 de octubre de 2014].
- Mohammadi, R., Mendioro, M. S., Díaz, G. Q., Gregorio, G. B., Singh, R. K., 2013. *Mapping quantitative trait loci associated with yield and yield components under reproductive stage salinity stress in rice (Oryza sativa L.)*. Journal of genetics, 92(3), 433-443.
- Montoroi, J.-P., 1996. *Mise en valeur des bas-fonds en Basse-Casamance*. Agriculture et développement, 10(1).
- Mulugeta S., Sentayehu A., Bantte K. 2011. *Evaluation of upland NERICA rice (Oryza sativa L.) genotypes for grain yield and yield components along an altitude gradient in southwest Ethiopia*. Journal of agronomy 10(4): 105.111.105.111

- ONU, 2010. *Aumento de temperaturas por cambio climático afecta producción de arroz*. Centro de noticias. Disponible en: <http://www.un.org/spanish/News/story.asp?NewsID=18934#.VNqCnvmG_Is> [Consultado el 11 de febrero de 2015]
- ONU, 2015. *Millennium goals*. Disponible en: <<http://www.un.org/millenniumgoals/>> [Consultado el 27 de septiembre de 2015].
- OCDE/FAO, 2013. *Perspectivas agrícolas 2013-2022*. UA de Chapingo., Texcoco, Estado de México, Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2013-es>.
- Oryza, 2012. *Exclusiva Oryza: Miles de personas mueren de hambre en la cuenca arroceras de Corea del Norte, pero no se le da acceso al WFP para proporcionar ayuda alimentaria*. Disponible en <<http://arroz.com/content/exclusiva-oryza-miles-de-personas-mueren-de-hambre-en-la-cuenca-arroceras-de-corea-del-norte>>. [Consultado el 17 de marzo de 2015]
- Otero, L., Francisco, A., Gálvez, V., Morales, R., Sánchez, I., Labaut, M., Vento M., Cintra M. & Rivero, L., 2008. *Caracterización y evaluación de la salinidad*.
- Pankova, Y., Konyushkova, M., Luo, G. (2010). *Effect of climate on soil salinity in sub boreal deserts of Asia*. In 19th World Congress of Soil Science, Brisbane, Australia.
- Pliego, L., Ocaña, A., Lluch, C., 2003. *Metabolismo del carbono en el citosol nodular y bacterioide en la simbiosis Rhizobium tropici-Phaseolus vulgaris var. África en condiciones salinas*. Terra Latinoamericana, 21(2), pp.203–2013. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57315595007>> [Consultado el 21 de octubre de 2014]
- Platten J., Egdane J., Ismail A. 2013. *Salinity tolerance, Na⁺ exclusion and allele mining of HKT1; 5 in Oryza sativa and O. glaberrima: many source, many genes, one mechanism?* BMC plant biology 13:32. Disponible en: <<http://www.biomedcentral.com/1471-2229/13/32>>
- Provin, T. & Pitt, J.L., 2011. *Managing Soil Salinity*. Texas A&M Agri Life Extension, E-60, pp.3–12
- République du Sénégal, 2001. *Plan régional de développement intégré de Fatick*, Fatick, Sénégal
- Riddell, P. J., Facon, T., Bouman, B., 2007. *WWF-FAO-IRRI global initiative to improve food security, enhance livelihoods and reduce water conflicts in irrigated rice—a concept note*. International Rice Commission Newsletter (FAO).

- Stoner, R. (1988). *Engineering a solution to the problem of salt-laden soils*. New scientist. 120(1641).
- Thomas, R.P., 2011. Global Forum on Salinization and Climate Change (GFSCC2010). FAO. No. Octubre 2010. p.25-29.
- Villafañe, R., 2000. *Clasificación de los suelos por sales y dispersión por sodio y su aplicación en la evaluación de tierras*. Agronomía Tropical. Disponible en: <[http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia Tropical/at5004/arti/villafane_r.htm#tope1](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/AgronomiaTropical/at5004/arti/villafane_r.htm#tope1)> [Consultado el 12 de junio de 2013]
- Welch, J. R., Vincent, J. R., Auffhammer, M., Moya, P. F., Dobermann, A., Dawe, D., 2010. *Rice yields in tropical/subtropical Asia exhibit large but opposing sensitivities to minimum and maximum temperatures*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(33), 14562-14567.
- Yadav, S., Irfan, M., Ahmad, A., Hayat, S. 2011. *Causes of salinity and plant manifestations to salt stress: A review*. Journal of Environmental Biology. 32(5): 667-685. Disponible en: <http://imsear.hellis.org/handle/123456789/146632>