

EFFECTO DE LA TRANSFORMACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS DE ARROZ DE SECANO A RIEGO MEDIANTE LA COSECHA DE AGUA LLUVIA Y DEL MANEJO AGRONÓMICO SOSTENIBLE SOBRE LOS RENDIMIENTOS DEL CULTIVO EN DOS LOCALIDADES DE NICARAGUA

Santiago Jaramillo Cardona

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2017

Efecto de la transformación de sistemas productivos de arroz de secano a riego mediante la cosecha de agua lluvia y del manejo agronómico sostenible sobre los rendimientos del cultivo en dos localidades de Nicaragua.

Santiago Jaramillo Cardona

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director:

Doctor Edward Pulver

Línea de Investigación:

Biosistemas Integrados

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

2017

Dedicado a todos aquellos productores que enfrentan la sequía en sus campos día a día

A mis padres, a mi esposa y a Morgan por siempre estar allí.

“La vida no se trata de encontrarse a sí mismo, se trata de crearse a sí mismo”.

Agradecimientos

Primero quiero agradecer a la Universidad de Manizales y al cuerpo docente de la Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, por haber despertado en mí un espíritu investigativo con énfasis conservacionista. Al Doctor Jhon Fredy Betancur por sus orientaciones, asesoría y paciencia en el desarrollo de este proyecto, y al Doctor Edward Pulver por sus lecciones y apoyo invaluable.

Adicionalmente, quiero agradecer a cada una de las personas que me ayudaron durante la recolección y el procesamiento de información de este estudio. Esto Incluye al Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR) y las instituciones gubernamentales de Nicaragua quienes suministraron valiosa información y datos.

Finalmente, quiero dar un especial agradecimiento a Roger Cáceres Moncada y Alexis Cáceres por su apoyo técnico y constante entrega para el desarrollo de las actividades de campo en el Norte de Nicaragua

-Título del trabajo:

EFFECTO DE LA TRANSFORMACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS DE ARROZ DE SECANO A RIEGO MEDIANTE LA COSECHA DE AGUA LLUVIA Y DEL MANEJO AGRONÓMICO SOSTENIBLE SOBRE LOS RENDIMIENTOS DEL CULTIVO EN DOS LOCALIDADES DE NICARAGUA

-Autores:

Santiago Jaramillo Cardona. Ingeniero Agrónomo aspirante a Magister.

-Instituciones:

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical)

FLAR (Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego)

-Proyectos u otras fuentes de financiación.

CFC (Fondo Común para los Productos básicos)

-Nombre completo:

Santiago Jaramillo Cardona

-Dirección al que hay que dirigir la correspondencia

Calle 5ª Oeste Número 3B-136. Edificio Reserva del Peñón. (Cali)

-Celular

304-3976143

Dirección electrónica

sjaramillo@cgiar.org

Dirección institucional

CIAT (Km17 Recta Cali-Palmira)

TITULO

EFFECTO DE LA TRANSFORMACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS DE ARROZ DE SECANO A RIEGO MEDIANTE LA COSECHA DE AGUA LLUVIA Y DEL MANEJO AGRONÓMICO SOSTENIBLE SOBRE LOS RENDIMIENTOS DEL CULTIVO EN DOS LOCALIDADES DE NICARAGUA

RESUMEN

A nivel mundial los rendimientos por hectárea del arroz de secano son 50% más bajos que los rendimientos obtenidos con riego. Esta baja productividad de los sistemas de secano es el factor que más acentúa el hambre, la pobreza y el desempleo en países como Nicaragua que hace parte del corredor seco centroamericano. Al depender de las lluvias, los agricultores sólo pueden producir sus cultivos marginalmente una vez por año durante la época lluviosa y son altamente vulnerables a sequías periódicas e inundaciones. Ante el reto de satisfacer la creciente demanda global del cereal, durante los últimos 15 años se han intensificado los esfuerzos de la investigación para incrementar los rendimientos y la estabilidad de los sistemas de arroz de secano a través de tecnologías promisorias como la cosecha de agua lluvia y la intensificación sostenible. El presente estudio es un análisis comparativo de los rendimientos anuales de arroz en dos fincas tradicionales de secano que fueron transformadas al riego mediante la cosecha de agua lluvia y sometidas a planes de manejo sostenible del cultivo. Durante cuatro cosechas se evaluaron los rendimientos anuales por hectárea de dos variedades de arroz, en dos localidades de Nicaragua que fueron sometidas a tres tratamientos de irrigación y manejo agronómico. La intensificación sostenible basada en la transformación al riego mediante cosecha de agua lluvia y en el manejo sostenible, demostró aumentos entre 269% y 300% en los rendimientos anuales de arroz por hectárea en ambas localidades frente al testigo control de secano tradicional.

Palabras Clave: Biosistemas integrados, Arroz de Secano, Cosecha de Agua, Intensificación Sostenible, Adaptación, Cambio Climático

ABSTRACT

At global level, rainfed rice yields are 50% lower than yields obtained under irrigated conditions. The low productivity of the upland and rainfed systems is one of factors that accentuate hunger, poverty and unemployment in Nicaragua and other countries located across Central American Dry Corridor. Due to the rainfall dependence, farmers only can cultivate their marginal crops once per year, being highly vulnerable to periodic droughts and flooding. To front the challenge of supply the growing demand of the cereal, during the last 15 years, the research efforts has been intensified to increase yields and stability of rainfed systems through innovative technologies like water harvesting and sustainable intensification. This study is a comparative analysis of the annual rice yields in traditional rainfed farms transformed to irrigation through water harvesting and managed with sustainable crop practices. During four crop seasons, annual yield trends of two rice varieties were evaluated in two locations of Nicaragua, under three different treatments of irrigation and crop management. Sustainable intensification based on the transformation to irrigation through rain water harvesting using sustainable crop management, practices, demonstrated increases in annual rice yields of the evaluated varieties among 269% and 300% in comparison with traditional rainfed treatment used like check.

Keywords: Integrated Bio-systems, Rainfed Rice, Water Harvesting, Sustainable Intensification, Adaptation, Climate Change

Tabla de contenido

Glosario.....	11
Introducción.....	14
1.0 Planteamiento del problema.....	19
2.0 Justificación.....	22
3.0 Objetivos	24
3.1 Objetivo General	
3.2 Objetivos específicos	
4.0 Hipótesis.....	24
5.0 Marco teórico.....	25
5.1 La intensificación sostenible y los biosistemas integrados	25
5.2 El ciclo hidrológico y la cosecha de agua lluvia	29
5.3 Generalidades del cultivo de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	36
6.0 Materiales y métodos	47
6.1 Descripción del experimento	52
6.2 Metodología para el objetivo específico 1.....	52
6.3 Diseño experimental	52
6.4 Actividades de campo.....	53
6.5 Metodología para el objetivo específico 2	55
7.0 Resultados y Discusión.....	56
7.1 Resultados del objetivo específico 1.....	56
7.2 Discusión del Objetivo específico 1	60
7.3 Resultados del objetivo específico 2.....	61
7.4 Discusión del objetivo específico 2	63
8.0 Conclusiones y recomendaciones	64
9.0 Bibliografía	67
10.0 Anexos	71

GLOSARIO

Acuífero: término que hace referencia a aquellas formaciones geológicas en las cuales se encuentra agua y que son permeables permitiendo así el almacenamiento de agua en espacios subterráneos.

Aeróbico: Condición en la cual los organismos viven en presencia de oxígeno

Alfisoles: Suelos minerales que presentan un alto contenido de arcillas y un porcentaje de saturación de bases de medio a alto.

Aliviadero: ruta o canal planificado y estructurado para evacuar los excesos de agua de un reservorio.

Anaeróbico: Proceso que se da en ausencia de oxígeno

Área contributiva: Superficie sobre la cual desciende la escorrentía que posteriormente es almacenada en un reservorio para usos benéficos

Biomasa: Cantidad de materia acumulada en una planta, expresada en peso por unidad de volumen

Brecha de rendimiento: Diferencia de rendimiento entre los que obtienen los mejores agricultores con las prácticas de manejo adecuadas en ambientes óptimos y los rendimientos obtenidos por los agricultores promedio.

Calicata: Excavación de profundidad media que permite la inspección directa de los diferentes perfiles y de las propiedades del suelo.

Cambio climático: cambio significativo y duradero en cuanto a los patrones de clima, condiciones y distribución en periodos que varían de décadas a millones de años. Es causado por factores como los procesos oceánicos, variaciones en la radiación recibida por la tierra, placas tectónicas y erupciones volcánicas, así como por alteraciones inducidas por los humanos en la naturaleza.

Ciclo hidrológico: es la dinámica del agua en un contexto geográfico específico o en la biosfera. El agua líquida continuamente se evapora de la superficie de los suelos, los mares, lagos y ríos y se incorpora a la atmósfera, o concentrándose en nubes y neblina que, en ciertas condiciones de presión atmosférica local, se precipita en forma de lluvia.

Cosecha de agua: Colección de agua de escorrentía de lluvias en un reservorio para usos en la producción

Coefficiente de escorrentía: es el porcentaje promedio de agua lluvia que desciende sobre una superficie por efecto de la gravedad.

Cuenca: área total del relieve por donde desciende el agua de escorrentía hacia un determinado sitio o drenaje.

Curva de nivel: es una línea perpendicular a la pendiente de un determinado terreno.

Ecoregión: área extensa de tierra que contiene un conjunto de comunidades ecológicas que comparten condiciones medioambientales y dinámicas ecológicas

Efecto Flush: es un torrente de agua repentina y de corta duración, movido por la gravedad y sin obstáculos, a través de una pendiente.

El Niño: cuando en la región del cuadrante 3.4 (entre las islas de Tahití francesas y Darwin Australia) el índice de oscilación Sur (SOI, por sus siglas en inglés o IOA: Índice de Oscilación Austral) es pequeño (diferencia de presión atmosférica pequeña: elevación de la temperatura del mar en 0,5 grados centígrados), se asocia con los vientos alisios más débiles de los normal. Este evento corresponde en Centroamérica a un periodo prolongado de sequía. Lo contrario es Niña asociada a lluvias intensas por influencia de huracanes y tormentas.

Escorrentía: agua que escurre a través de una superficie cuando cae más agua de la que la superficie puede absorber.

Evaporación: es el cambio del agua del estado líquido al estado gaseoso por efecto de la temperatura.

Evaporación PAN: medida de los efectos combinados de la temperatura, humedad relativa, precipitación, dispersión de sequía, radiación solar y velocidad del viento para estimar la tasa evaporativa de una superficie que contiene agua.

Evapotranspiración: Suma de la evaporación del agua de las superficies de los cuerpos inertes (suelo, roca, superficie de las plantas) provocada por el calor y la pérdida de agua hacia la atmósfera.

Fanguero: sistema de preparación de suelos bajo inundación, en donde el nivel del agua permite aplanar uniformemente los campos

Granos básicos: cultivos que producen granos de principal uso en la dieta de la población. (Arroz, Maíz, frijol *Phaseolus vulgaris*, Frijol alacin *Vigna unguiculata*).

Infiltración: movimiento vertical del agua a través del perfil del suelo, desde la superficie hacia las horizontes inferiores.

Mulch: capa porosa de materia orgánica sobre la superficie del suelo, que incrementa la fertilidad de los suelos y reduce las pérdidas de humedad de los suelos por efecto de la evaporación.

Labranza convencional: Laboreo del suelo anterior a la siembra que se realiza con implementos mecánicos con el fin de aflojar el suelo para facilitar el crecimiento óptimo de las plantas.

Landplane: Implemento de nivelación de suelos arroceros que consta de discos y una serie de cuchillas alternadas que hace el efecto de nivelación sobre la superficie del suelo para garantizar una germinación uniforme de las plántulas y para asegurar un riego homogéneo

Pendiente: porcentaje de inclinación que indica el cambio en elevación entre un punto y otro.

PETIP: Coeficiente que se logra dividiendo la evaporación potencial anual entre la precipitación media anual, cuando es mayor a 1 la zona es seca, cuando es cercana a 1 el ambiente es subhúmedo y si es mucho menor, la zona es húmeda.

pH: medida de acidez o alcalinidad que varía de 1 a 14, 7 es neutral, por debajo de 7 incrementa la acidez y por encima de 7 incrementa la alcalinidad.

Piricularia: Enfermedad del Arroz causada por el hongo *Magnaporthe grisea*, a nivel mundial es la enfermedad fungosa de mayor importancia económica en el cultivo.

Renovable: recurso que puede ser remplazado en un periodo corto de tiempo. Renovable no necesariamente significa sostenible.

Reservorio de terraplén: estructura para almacenar agua.

Resiliencia: capacidad de un sistema social o ecológico para afrontar la adversidad y lograr adaptarse ante las situaciones adversas, absorbiendo la alteración sin perder su estructura básica. Ni su modo de funcionamiento, ni capacidad de auto organización, o adaptación al estrés o al cambio.

Riego suplementario: fuente adicional de agua aplicada a un cultivo para suplir la escasez de precipitación.

Rhizoctonia: enfermedad fungosa del tallo del arroz producida por el hongo del suelo *Rhizoctonia solani*, que afecta económicamente los cultivos de riego.

Suelo saturado: suelo en el cual el espacio poroso es completamente lleno de agua.

Sedimento: partículas arena y minerales que son lavadas del suelo por efecto del agua, usualmente después de las lluvias y que se depositan en las partes bajas.

Sostenible: condición en la cual la biodiversidad y la recuperación natural del ecosistema se mantiene a lo largo del tiempo.

Taipa: Borda de baja altura que se construye sobre una curva de nivel con el propósito de facilitar el establecimiento de la lámina de agua en lotes de arroz de riego y sembrar sobre la curva, de manera de aprovechar el 100% del área disponible en el lote para el cultivo. Se denomina taipadora al implemento para construir este tipo de bordas.

Transpiración: pérdida de humedad de las plantas hacia el ambiente por vía estomática.

Vulnerabilidad: Nivel de riesgo que afronta una familia o individuo a perder la vida, sus bienes y propiedades, y su sistema de sustento (medio de vida) ante un determinado fenómeno natural.

Zonas de vida de Holdridge: es un sistema de clasificación bioclimática que conjuga la temperatura, la precipitación, la evapotranspiración potencial, la altitud, y la latitud para determinar el tipo de vegetación que se espera encontrar en un sitio o área dada.

Introducción

Centroamérica es una de las regiones del mundo con mayor vulnerabilidad a los riesgos climáticos (Kreft, S; Eckstein, D. 2013). El Corredor Seco Centroamericano (CSC) es una eco región de bosque tropical seco que abarca desde Guanacaste en Costa Rica hasta el sur de México, y en donde habitan cerca de 7,5 millones de personas cuya principal actividad socio-económica es la producción agrícola de secano, principalmente granos básicos como arroz, maíz y frijol, además de la ganadería. Esta zona se caracteriza por tener un régimen de precipitación de tendencia unimodal, es decir, que las lluvias se concentran durante cinco meses y el resto del año hay sequía extrema.

En Nicaragua, el riesgo socio-económico relacionado con la sequía y más específicamente con la agricultura de secano, históricamente ha ocasionado problemas de pobreza, inseguridad alimentaria y desempleo, así como migración rural (Ray *et al*, 2013). La producción de cultivos de secano es aquella que depende únicamente de las lluvias. En este tipo de sistemas los agricultores siembran sus cultivos al inicio de la temporada lluviosa con el objetivo de garantizar que estos se establezcan al utilizar únicamente el agua que el suelo es capaz de retener. Sin embargo, el secano tiene dos grandes limitantes que lo convierten en un sistema altamente riesgoso tanto para la seguridad alimentaria y el empleo, como para la producción competitiva de alimentos. El primero es que al sembrar durante los cinco meses lluviosos, la menor oferta de energía solar predominante en estos meses, limita la fotosíntesis y, por ende, el potencial productivo de los cultivos a casi la mitad del potencial genético que poseen las variedades e híbridos modernos. El segundo limitante tiene que ver con la estacionalidad de la producción y salida al mercado, pues al sembrar con las lluvias, todos los agricultores obtienen sus cosechas al mismo tiempo, ocasionando una sobre oferta históricamente seguida por una caída de los precios, lo que afecta drásticamente sus ingresos.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ha venido trabajando durante 50 años en investigación agrícola para sentar las bases para la sostenibilidad alimentaria futura a través del concepto de eco-eficiencia. El centro trabaja fuertemente en alcanzar la Agenda 2030 que persigue los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que parten a su vez de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y que definen una nueva era de desarrollo sostenible que espera ser testigo de un gran progreso en el tema ambiental, así como en el bienestar social y económico de todas las personas. Si bien la estrategia del centro está conectada de distintas maneras a los 17 objetivos, cuatro de ellos son de su especial interés. El primer objetivo busca disminuir la pobreza en los países de desarrollo en donde la agricultura representa la principal fuente de empleo, a través del mejoramiento de cultivos y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles que promuevan el crecimiento incluyente de los ingresos rurales de los más pobres. El objetivo dos busca disminuir el hambre a través del aumento de la productividad de los cultivos de primera necesidad y del acceso a alimentos de alta calidad nutricional. El objetivo ocho del desarrollo sostenible busca el crecimiento económico y el acceso a un trabajo decente a través de una agricultura más competitiva. Además de esto el centro persigue el objetivo trece que está enfocado en acciones por el clima según el acuerdo COP21 de París, ya que se puede decir que el cambio climático es la mayor amenaza que enfrenta la humanidad. En este acuerdo la cooperación internacional se compromete a prevenir, adaptar y mitigar los efectos de este importante reto mundial.

El Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego (FLAR) conjuntamente con el CIAT ha sido líder en América Latina en el desarrollo de nuevas variedades y tecnologías sostenibles para el cultivo del arroz durante los últimos 20 años. Los principales aumentos en productividad se han dado principalmente en arroz de riego, ya que en los sistemas de arroz de secano que dependen de las lluvias, el riesgo asociado a sequías periódicas, inundaciones y baja radiación solar, no permite que los rendimientos sean competitivos, y ocasiona pérdidas económicas a los productores de escasos recursos que carecen de irrigación. Desde 2008 estas dos organizaciones financiadas por donantes internacionales como el Fondo Común para los Productos Básicos (CFC) y la agencia de ayuda internacional de Los Estados Unidos (USAID), vienen implementando en cuatro países del Corredor Seco Centroamericano (Nicaragua, México, Honduras y Costa Rica) una estrategia de adaptación de intensificación sostenible basada en (1) la transformación de los sistemas tradicionales de secano al riego renovable mediante la cosecha de agua lluvia y (2) en la implementación y transferencia de tecnologías de manejo e intensificación sostenible de los cultivos para obtener rendimientos

competitivos que mejoren los ingresos y las condiciones de vida de los pequeños agricultores ubicados en áreas secas. El interés en la investigación del impacto de este tipo de tecnologías de aprovechamiento sostenible del agua lluvia con fines productivos, surge porque la cosecha de agua puede ser una estrategia para aumentar la resiliencia en todos los países de América Latina y en gran parte de África tropical, dada la abundancia de recursos de agua lluvia que se pierden en formas de escorrentía, las condiciones topográficas diversas y la prevalencia de pequeños agricultores de secano que son cada vez más vulnerables al hambre y a la pobreza relacionada con la escasez de agua.

La intensificación sostenible es un concepto que ha sido el elemento central de la estrategia de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola (CGIAR), ya que a pesar de años de desarrollo e investigación en áreas secas, muchas comunidades continúan enfrentando la inseguridad alimentaria crónica y estacional, debida a condiciones de estrés climático como la escasez de agua, y la degradación del suelo. Ante este panorama, el reto de los investigadores tiende no sólo al análisis de la sostenibilidad sino al estudio de las diferentes alternativas de adaptación, encaminadas a reducir la vulnerabilidad al aumentar la resiliencia socio-ecológica de los productores más vulnerables a la escasez hídrica. La intensificación sostenible es más un objetivo que una práctica agrícola particular, ya que va más allá de aumentar los rendimientos por unidad de área al contribuir con la reducción de gases de efecto invernadero y con el aumento en la eficiencia del uso del agua y de los fertilizantes (Conway, 1997; Tilman, 2001), ya que la sostenibilidad no sólo contempla la parte ambiental sino también las dimensiones económica y social (Barbier, 1989).

Con el objetivo de conocer el efecto de la transformación al riego y del manejo sostenible del cultivo del arroz sobre los rendimientos por hectárea, se llevó a cabo un estudio durante los años 2015 y 2016 en dos localidades arroceras de secano de Nicaragua, dada la similitud de condiciones climáticas y topográficas con los demás países del Corredor seco Centroamericano. En cada localidad se seleccionó una propiedad que fue transformada al riego mediante la construcción de un reservorio de terraplén para coleccionar aguas de escorrentía, en cuyos lotes comerciales se estableció un diseño experimental en parcelas subdivididas para evaluar el efecto de tres tratamientos de riego y de manejo del cultivo sobre los rendimientos anuales de arroz, en comparación con el sistema de secano tradicional que anteriormente usaban los productores para producir sus cultivos en estos predios.

El presente documento describe el desarrollo de la investigación, en las siguientes áreas temáticas:

1. El planteamiento de los principales problemas en la región. En primera instancia el problema de la baja productividad del arroz de secano, ocasionado por la falta de riego y la dependencia de la precipitación para la producción, así como por la baja adopción tecnológica; que se traducen en pobreza, hambre e inseguridad alimentaria amenazada por el cambio climático y por los tratados de libre comercio con Estados Unidos.
2. La importancia de generar alternativas de manejo sostenible para áreas secas basadas en el aprovechamiento del agua lluvia con fines de riego mediante un modelo de Biosistemas Integrados, aprovechando la abundancia de recursos renovables de agua lluvia y en la experiencia y acceso a modernas tecnologías para la producción sostenible del arroz.
3. El enfoque por cada uno de los objetivos específicos que conducen a lograr el objetivo general de la investigación.
4. Se formula la hipótesis que pretende responder a la pregunta problema “Un biosistema integrado que involucre la transformación al riego mediante la cosecha de agua lluvia y la implementación de prácticas de manejo sostenible del cultivo de arroz, es el que permite obtener rendimientos anuales que sean competitivos para los productores tradicionalmente ubicados en zonas de secano.
5. La sustentación de los conceptos y la teoría que soporta la propuesta de un biosistema integrado a partir de la transformación de fincas tradicionales de arroz de secano al riego mediante la cosecha de agua lluvia, como una alternativa para reducir el hambre, la pobreza, la inseguridad alimentaria, el desempleo y la presión sobre los recursos naturales en los países del corredor seco centroamericano.

6. La descripción los materiales utilizados y los métodos seguidos en cada una de las fases del desarrollo de la investigación.

7. Los resultados obtenidos en cada una de las etapas de la investigación, relacionando datos de rendimiento de cada uno de los tratamientos obtenidos durante las cosecha en las dos localidades, se complementa con el registro de los eventos climáticos a los que estuvo sometido el experimento, que puede servir para próximas investigaciones en donde se correlacione el clima con otras variables de rendimiento. Aspectos como los aportes de la tecnología a los planes nacionales de adaptación al cambio climático y los aportes a las sostenibilidad también se exponen en este capítulo.

8. Las conclusiones y la recomendaciones generadas durante el ciclo de vida del ensayo, compendian las experiencias del autor que pueden servir de insumo para posteriores trabajos de investigación en el tema de aprovechamiento sostenible del agua lluvia con fines productivos.

1. Planteamiento del problema

El arroz es el alimento más importante a nivel mundial, ya que más de la mitad de la población depende del cereal como la principal fuente de calorías y proteína. Debido al crecimiento demográfico se estima que el incremento en la demanda global del cereal pasará de 439 millones de toneladas en 2010 a 555 millones de toneladas para 2035, lo que significa un incremento de 26% en los próximos 20 años. Para suplir esta demanda futura del grano se requerirá incrementar entre 1.0 a 1.2% las tasas de crecimiento de los rendimientos anuales del cultivo, lo cual implica que a nivel global, los agricultores necesitarán producir de ocho a diez millones de toneladas adicionales de arroz por año, lo que es equivalente a aumentar los rendimientos globales en 0,6 toneladas por hectárea por año durante la próxima década (FAO, 2012).

En el mundo se siembran anualmente 160 millones de hectáreas de arroz aproximadamente, de las cuales 93 millones de hectáreas se cultivan con riego y producen el 75% del grano. 67 millones de hectáreas se siembran con las lluvias bajo el riesgoso sistema de secano, contribuyendo solamente con el 25% de la producción global anual. Los últimos datos del Instituto Internacional de Investigaciones del Arroz (IRRI) en Filipinas, indican que el arroz de riego consume entre el 34% y el 43% del agua de riego del planeta y entre el 24 y el 30% de los recursos de agua dulce del planeta (GRISP. 2013). Por otro lado, el escenario futuro de cambio climático impone un gran reto para cerca de 450 millones de personas que dependen a nivel mundial del arroz de secano como su principal fuente de subsistencia (IRRI, 1997), y que reportan anualmente que cerca de 27 millones de hectáreas se ven afectadas por la sequía

En Latinoamérica se cultivan anualmente cerca de 7.5 millones de hectáreas de arroz, de las cuales aproximadamente el 45% del área corresponde al sistema de secano (FLAR, 2014). Los países centroamericanos que dependen en su mayoría de la producción de secano son los más vulnerables a los procesos de apertura de mercados y libre comercio con los Estados Unidos de América, debido a la baja productividad de una sola cosecha por año y al alto riesgo de pérdida económica que enfrentan los productores que carecen de irrigación y que sufren diariamente los efectos de la sequía en sus campos (FECARROZ, 2015).

En las cerca de 75,000 hectáreas de arroz que se siembran anualmente en Nicaragua, el 80% del área depende del sistema de secano. La falta de riego obliga a estos productores de arroz de secano a sembrar una sola vez por año al inicio de la época

lluviosa, para garantizar el establecimiento y levante del cultivo con la humedad residual del suelo. La alta precipitación percibida por el cultivo durante el ciclo, favorece la proliferación de enfermedades fungosas de importancia económica como Piricularia (*Magnaporthe grisea*) y Rhizoctonia (*Rhizoctonia solani*). Además, la alta nubosidad característica de la temporada lluviosa, disminuye drásticamente la radiación solar percibida por el cultivo, lo que afecta negativamente la fotosíntesis y reduce a la mitad los rendimientos genéticos potenciales de las variedades de arroz.

Durante los últimos 30 años, los esfuerzos de la investigación para elevar los rendimientos del arroz de secano han sido infructuosos, ya que se han enfocado principalmente en el desarrollo de variedades tolerantes a la sequía, que únicamente difieren en un 5% de rendimiento con las susceptibles. Dado que esta diferencia genética de rendimiento no es suficiente para que los productores sean competitivos, se emprendió desde 2008 una estrategia conjunta de la comunidad internacional para transformar los altamente riesgosos sistemas de secano, en sistemas eficientes y rentables basados en el riego renovable proveniente de la cosecha de agua de lluvia y en la implementación de prácticas sostenibles de manejo agronómico del arroz, que garanticen la producción continua y diversificada no sólo de arroz, sino de otros cultivos alimenticios.

La diversidad de limitantes que imponen la sequía y el cambio climático, requieren de la implementación de un enfoque holístico e integral de los sistemas de producción arroceras, que se ajuste a la filosofía de los biosistemas integrados en donde la interconexión entre el manejo del suelo, del agua y de la biodiversidad, permitan acercarnos más a una intensificación sostenible.

1.2 Formulación de la pregunta de investigación

Se establecen las siguientes preguntas:

- ❖ ¿Cuáles son las diferencias entre los rendimientos de arroz por hectárea obtenidos bajo el sistema tradicional de manejo de secano, frente a los rendimientos de arroz por hectárea obtenidos bajo dos tratamientos de riego proveniente de la cosecha de agua lluvia que fueron manejados con prácticas agronómicas sostenibles, en dos localidades secas de Nicaragua?

- ❖ ¿Cuál de las dos variedades de arroz evaluadas es la más apropiada para el sistema de secano en cada localidad?

- ❖ ¿Cuál de las dos variedades de arroz evaluadas es la más apropiada para el sistema de riego en cada localidad?

2. Justificación

Centroamérica tiene siete países de los cuales cuatro de ellos están ubicados sobre el Corredor Seco Centroamericano (CSC): Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua. Esta eco-región en donde habitan cerca de once millones de habitantes, se caracteriza por la predominancia de un régimen unimodal de precipitación y por la prevalencia del ecosistema de bosque tropical seco que se inicia en Chiapas (México), abarcando las vertientes del Océano Pacífico y gran parte de la región pre-montaña ubicada a altitudes entre los cero y 800 metros sobre el nivel del mar, y que termina en Guanacaste en Costa Rica (Van Der Zee *et al*, 2012).

Esta franja geográfica se caracteriza por presentar históricamente una cíclica y prolongada estación seca denominada verano que se inicia en el mes de noviembre y se extiende hasta el mes de abril. El inicio de las primeras lluvias comienza a mediados del mes de mayo prolongándose hasta mediados del mes de julio momento en el que se presenta el veranillo de San Juan o Periodo Canicular que dura aproximadamente 40 días secos y que en ocasiones se puede extender hasta dos meses. Entre septiembre y octubre se presentan los mayores niveles de precipitación y es cuando se concentra la mayor parte de la siembra de cultivos de secano (Peralta Rodríguez, 2012).

Centroamérica reporta 57 zonas de medios de vida (ZMV) y 47 de ellas aparecen en la franja del corredor seco. En el CSC prevalece el medio de vida derivado de la agricultura de subsistencia en donde los ingresos de los productores están en función de la producción marginal de granos básicos y de la venta de su mano de obra, en general como jornaleros agropecuarios, lo que contribuye a mayores niveles de vulnerabilidad porque el mismo factor climático que afecta su propia producción tiende a afectar también su fuente de empleo. Las principales amenazas naturales de esta región comprenden sequías, inundaciones, erupciones volcánicas, incendios y movimiento telúricos. Sin embargo, la sequía es el fenómeno que más afecta la estabilidad socioeconómica de los pequeños agricultores ya que reduce la disponibilidad y acceso a los alimentos, además de afectar el ingreso proveniente de una producción agropecuaria marginal.

La FAO reporta una población de 10.5 millones de personas en el Corredor Seco Centroamericano, de las cuales 1.6 millones sufren inseguridad alimentaria y 3.5 millones requieren ayuda humanitaria inmediata debido a pérdidas en los cultivos que varían entre el 50% y el 90%. Esta región ha sido considerada por la agencia alemana Germanwatch como la más vulnerable a nivel mundial a riesgos asociados a la variabilidad climática, debido no sólo a factores biofísicos sino a debilidades

institucionales y socioeconómicas de la población. Se estima que en el Corredor Seco Centroamericano habitan más de 1 millón de familias dedicadas únicamente a la agricultura de subsistencia, en donde los niveles de pobreza y desnutrición son muy elevados, sobre todo en la población rural y en las comunidades indígenas, dedicadas a la producción de secano de granos básicos como el Maíz, el Frijol y el Arroz. Los programas para construir la resiliencia en esta región han estado históricamente enfocados en el fortalecimiento de los planes de gestión de riesgos relacionados a fenómenos climáticos, en el manejo integrado de cuencas y en la promoción de tecnologías como la cosecha de agua lluvia y cultivos tolerantes a sequía.

La escasez de agua puede ser el resultado de dos mecanismos: 1. La escasez física de agua que es el resultado de la insuficiencia de recursos hídricos para abastecer la demanda de una región y 2. La escasez económica de agua que se debe principalmente a la falta de infraestructura o tecnologías para aprovechar los recursos hídricos. Se dice que un cuarto de la población mundial está afectada por la escasez económica de agua.

Nicaragua no sufre de escasez física sino de escasez económica de agua pues la cantidad de agua lluvia que cae, se concentra en temporadas lluviosas cortas (mayo - julio; septiembre - octubre) lo que equivale a 38,787 m³/habitante/año, lo que significa que poseen casi ocho veces más agua renovable por persona que en la China (FAO, 2010). En Nicaragua, 35 de las 153 municipalidades están localizadas sobre la franja del corredor seco (23%), en donde el principal problema es que las lluvias se concentran durante cinco meses y el resto del año hay una gran sequía, condición que hace que, sin una infraestructura de captación y almacenamiento de agua, sea imposible garantizar la producción agropecuaria. Desde el punto de vista de condiciones de suelos y topografía, el país tiene un alto potencial para la expansión a gran escala de la cosecha de agua lluvia como una alternativa para transformar la agricultura de secano al riego (Quintero *et al*, 2015), Sin embargo, es la rentabilidad obtenida por la venta competitiva de las cosechas, la que determinará a futuro la velocidad de adopción de esta tecnología de adaptación al cambio climático, ya que los períodos de amortización de pago de los créditos para la construcción del reservorio y para la instalación de los cultivos bajo riego dependen del éxito financiero derivado de la obtención de rendimientos competitivos año a año.

3.0 Objetivos

3.1 Objetivo General

Evaluar un biosistema integrado de aprovechamiento del agua lluvia para transformar sistemas arroceros de secano al riego renovable y al manejo con prácticas agronómicas sostenibles.

3.2 Objetivos específicos

1. Evaluar el comportamiento de los rendimientos de grano, en dos variedades de arroz durante cuatro cosechas en dos localidades de Nicaragua transformadas al riego mediante la cosecha de agua lluvia y manejadas con prácticas agronómicas sostenibles, en comparación con los sistemas tradicionales de producción de arroz secano
2. Evaluar los ingresos generados en US\$/ha, en los sistemas transformados en comparación con los sistemas tradicionales de producción de arroz de secano

4.0 Hipótesis

“Un biosistema integrado que involucre el aprovechamiento del agua lluvia para la producción continua y prácticas de manejo agronómico sostenible del arroz, es aquel que permite obtener mayores rendimientos anuales por hectárea, en zonas tradicionalmente dedicadas a la producción de secano”

5. Marco Teórico

5.1. La Intensificación Sostenible y los Biosistemas Integrados

La agricultura representa la principal actividad de sustento para el 78% de los pobres del mundo que viven en áreas rurales y que encuentran en esta actividad su único medio de subsistencia. El desarrollo agrícola ha demostrado ser una de las herramientas más importantes para acabar con la extrema pobreza y para traer prosperidad y alimento a la humanidad. Además el crecimiento en el sector agrícola es de dos a cuatro veces más efectivo para aumentar los ingresos de los más pobres que otros sectores de la economía (Banco Mundial, 2008). En la actualidad, el reto de incrementar la producción de alimentos es mayor que nunca, debido al crecimiento poblacional que se estima en nueve billones de personas en 2050 (Naciones Unidas, 2008), en donde se estima que para satisfacer esta creciente demanda, se requieren incrementos entre el 70% y el 100% en la producción mundial de alimentos (Banco Mundial, 2008). La solución que está siendo promovida por la comunidad de desarrollo agrícola internacional es intensificar sosteniblemente la producción agrícola (Smith, 2012; The Royal Society, 2009; Tilman et al, 2011).

La Intensificación Sostenible (IS) no hace referencia a ningún sistema de producción, sino que es más bien un principio. El término nace después de una influyente publicación de la Real Sociedad Británica, denominado “Reaping the benefits” en donde se expone el futuro de la producción de alimentos y en donde se define la Intensificación Sostenible como una “*forma de producir en la cual los rendimientos se incrementan sin impactar adversamente el ambiente y sin cultivar más tierra*”. Esta aproximación es más una aspiración de lo que necesitamos lograr, antes que un método específico, ya que el principio invita a pensar como los sistemas de producción agropecuaria deben evolucionar a futuro, denotando un tipo particular de enfoque que sigue la consigna de producir más comida en las mismas áreas históricamente dedicadas a actividades agrícolas.

En 2011, la Asamblea General de Naciones Unidas en el reporte de tecnologías agrícolas para el desarrollo, menciona a la *Intensificación Sostenible* como el único camino para evitar la inseguridad alimentaria crónica y localizada, al ofrecer altos niveles de productividad mediante el uso sostenible y eficiente de los recursos. En 2013, el Panel de Montpellier describió a la Intensificación Sostenible como un enfoque que

busca incrementar la producción de alimentos en las tierras agrícolas existentes de una manera en que disminuya la presión sobre el medio ambiente y en donde no se comprometa la capacidad de seguir produciendo comida en el futuro. La intensificación sostenible busca además mejorar los rendimientos de los cultivos y del ganado por unidad de área, agua, energía, nutrientes y mano de obra, a través de un manejo holístico e integrado del biosistema con tecnologías modernas de producción. Este tipo de enfoque aplica para biosistemas integrados y diversificados, planes de adaptación local y para procesos de fortalecimiento de liderazgo de las comunidades. La intensificación sostenible ha sido un elemento fundamental de la estrategia de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola (CGIAR) que investigan en el establecimiento de líneas base y en la evaluación de diferentes opciones de intensificación para las diferentes eco-regiones.

La intensificación sostenible tiene también una justificación ambiental, pues reduce la extensificación comúnmente conocida como la ampliación de la frontera agrícola que amenaza las áreas protegidas y reservas ecológicas (Garnett *et al*, 2013; Shively & Pagiola, 2004). El programa de FAO “Save and Grow” promueve la intensificación sostenible de la producción de cultivos y lo define como un nuevo paradigma del desarrollo agrícola que intenta producir más alimentos por unidad de área mientras conserva los recursos, reduciendo los impactos negativos al medio ambiente y fortaleciendo el capital natural y el flujo de los servicios eco-sistémicos. Está basado en la aplicación del enfoque eco-sistémico de los Biosistemas Integrados que buscan el incremento de la productividad agropecuaria a través de un manejo óptimo del agua, el suelo y la biodiversidad, que propicia la conservación y el uso de los recursos de forma equitativa, así como las medidas de protección sostenible de los cultivos mediante el enfoque de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE).

Otro nuevo enfoque que busca transformar y reorientar el desarrollo agropecuario ante las nuevas realidades del cambio climático es la “*Agricultura Climáticamente Inteligente*” o su sigla en inglés (CSA) - Climate Smart Agriculture (Lipper *et al*, 2014). La FAO define CSA como una agricultura que incrementa sosteniblemente la productividad, fortalece la resiliencia o capacidad de adaptación, reduce o elimina los gases de efecto invernadero (mitigación) y que contribuye a lograr la seguridad alimentaria y las metas del desarrollo sostenible. La Agricultura Climáticamente Inteligente se basa en tres pilares. El primero de ellos es el aumento sostenible de la productividad agrícola y de los ingresos de los cultivos, ganadería y pesca, sin tener un impacto negativo sobre el ambiente. El segundo pilar busca la adaptación al reducir la exposición de los

productores a riesgos de corto plazo mientras fortalece la resiliencia al construir capacidad de adaptación. El tercer pilar es la mitigación cuyo objetivo es reducir o eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero como el metano y el óxido nitroso, lo que implica una reducción en la emisión que genera cada caloría o kilogramo de comida, fibra o combustible producido y que también incluye la parte de secuestro de carbono atmosférico por parte del suelo.

La intensificación sostenible ha sido recientemente desarrollada y adoptada como un concepto clave para dirigir la investigación y las políticas para una agricultura sostenible. Esto incluye las dimensiones ecológicas, económicas y ambientales, en donde la seguridad alimentaria y la equidad son componentes cruciales. Su principal objetivo es incrementar la producción por unidad de área existente mientras se minimiza la presión sobre el medio ambiente. Es una respuesta a los retos del incremento de la demanda de alimentos derivada de un crecimiento poblacional, en un mundo en donde las tierras con potencial agrícola, el agua, la energía y otros insumos han sido sobre explotadas y usadas insosteniblemente, atentando contra la capacidad de producir comida en el futuro. La necesidad de una intensificación sostenible es independiente de la necesidad de producir más comida. El primer objetivo de la IS es elevar la productividad al incrementar el volumen producido por unidad de área, a la vez que se reducen los impactos sobre el ambiente. Esto significa incrementar la productividad por unidad de insumos (nutrientes, agua, energía, capital o tierra) así como por unidad de subproductos tales como gases de efecto invernadero y aguas contaminadas.

5.1.1 Conceptos relacionados a intensificación Sostenible:

I. Intensificación Ecológica: es más bien un concepto ambientalmente orientado de la intensificación sostenible cuyo objetivo es una intensificación ecológica en la agricultura en donde los sistemas de producción pueden satisfacer los incrementos anticipados en la demanda de alimentos mientras se logran estándares aceptables de calidad ambiental (Cassman, 1999)

II. Agroecología: es un movimiento que promulga la aplicación de conceptos ecológicos y principios para el diseño y manejo sostenible de los agroecosistemas, esta corriente se basa en el fortalecimiento del hábitat y del suelo al promover la proliferación de microorganismos benéficos que regulen las poblaciones de insectos y hongos dañinos para producir plantas sanas y vigorosas.

III. Permacultura: Movimiento que incorpora muchas ideas y conceptos de permacultura pero adicionando ciertos principios de diseño derivados de observaciones del ecosistema natural para aplicarlos a la agricultura. (Mollison, 1988)

I.V Agricultura Orgánica: Se define como un sistema de producción que conserva la salud del suelo, de los ecosistemas y de las personas. Integra los procesos ecológicos, la biodiversidad y los ciclos biológicos a las condiciones de una determinada localidad, en vez de usar insumos con efectos adversos. La agricultura orgánica combina la tradición, la innovación y la ciencia para el beneficio del agroecosistema en un ambiente en el que se construyen relaciones de comercio justo y buena calidad de vida.

V. Intensificación Eco-funcional: Término promovido por el movimiento orgánico cuyo principal objetivo es un uso más eficiente de los recursos naturales y de los procesos como el ciclaje óptimo de nutrientes. Esta corriente combina los componentes ecosistémicos para fortalecer la productividad y la estabilidad de los agroecosistemas y la salud de todos sus componentes.

VI. Agricultura Climáticamente Inteligente: Este término acuñado por FAO define CSA como una agricultura que incrementa las productividad de manera sostenible a través de la Resiliencia (Adaptación), la reducción de gases de efecto invernadero (Mitigación), mientras fortalece la seguridad alimentaria nacional y persigue los objetivos del desarrollo sostenible.

VII. Eco-eficiencia: El término apareció inicialmente en Rio de Janeiro en 1992, en una propuesta del World Bussiness Council for Sustainable Development (WBCSD), como una alternativa mediante la cual el sector privado podría lograr la sostenibilidad, y cuyo significado se refiere a la producción competitiva de bienes y servicios que satisfagan las necesidades humanas y mejoren la calidad de vida, reduciendo los impactos al medio.

VIII. Optimismo Tecnológico: Tendencia del pensamiento agrícola contemporáneo que mira a la innovación como un contribuyente fundamental para producir más alimentos con menos impacto ambiental. Pretende involucrar las innovaciones tecnológicas existentes a los esquemas de agricultura tradicionales

5.2 .El Ciclo Hidrológico y la cosecha de agua lluvia

El Ciclo Hidrológico es el proceso que explica las diferentes dinámicas y transformaciones que sufre el agua en la tierra por efecto de la temperatura. El agua se encuentra en la tierra en los estados líquido, sólido y gaseoso, y a pesar de que la cantidad de agua es constante esta cambia permanentemente de estado. El calor del sol causa un calentamiento de la superficie de mares, lagos y ríos generando el vapor de agua conocido como evaporación. La transpiración de agua por parte de las plantas es un proceso similar de pérdida de agua en el cual el agua absorbida del suelo por las raíces y transportada a los tallos y hojas, es liberada como vapor de agua a la atmósfera a través de los estomas. A medida que la evapotranspiración aumenta en la atmósfera también aumenta el agua de condensación que se acumula en forma de nubes que de acuerdo a su tamaño se precipitan como lluvia. Una vez la precipitación cae en la superficie de la tierra, una parte es interceptada por el dosel de las plantas y otra porción se acumula como humedad en el perfil del suelo, mientras que los excesos descienden por efecto de la pendiente en forma de escorrentía. Tanto el agua que se almacena en el suelo como la que es absorbida por las plantas es devuelta de nuevo a la atmósfera en forma de evapotranspiración, mientras que el agua que se infiltra en el suelo baja a los ríos y finalmente al mar por efecto de la gravedad a través de la pendiente. El agua lluvia que desciende como escorrentía es un recurso que generalmente se pierde sin ser aprovechada para el riego.

La cosecha de agua lluvia es una técnica milenaria en la que se colectan en reservorios y durante los meses lluviosos las aguas de escorrentía para darle un uso agrícola durante los meses secos. A pesar que esta tecnología ha sido utilizada por los humanos casi en todas las regiones secas del mundo a lo largo de los años, nuestra sociedad parece tener una especie de amnesia colectiva acerca de la utilidad, eficiencia, sostenibilidad y belleza de esta práctica ancestral. La lluvia es un recurso gratuito que ha sido aprovechado por el hombre desde los inicios de la civilización ya que existen sistemas de cosecha de agua en Indochina que se remontan a más de 6000 años AC mientras que las ruinas arqueológicas de almacenamiento de agua de las culturas Maya y Azteca descubiertas en meso América datan de 300 años DC. La lluvia además es el recurso primario de agua dulce en el planeta, ya que también alimenta los cuerpos de agua como ríos y lagos así como a los acuíferos sub-superficiales, con agua pura debido a un proceso de destilación natural que ocurre a través de la evaporación anterior a la formación de las nubes, conteniendo 100 veces menos sólidos solubles que el agua

potable, es decir es una agua suave baja en Calcio y Magnesio que no tiene sales y es rica en Nitrógeno y en Azufre.

La tierra recibe aproximadamente 110.000 km³ de precipitación al año, de los cuales el 60% es reciclado a la atmósfera vía evaporación y el 40% retorna al océano vía escorrentía (FAO, AQUASTAT), lo que significa que con sólo capturar una pequeña parte de la enorme cantidad de agua de lluvia disponible, se puede obtener una fuente invaluable de agua de riego totalmente renovable. La cosecha de agua lluvia ha demostrado ser la única tecnología capaz de tener el potencial para incrementar la productividad en tierras áridas, al incrementar los rendimientos por hectárea y reducir los riesgos de fallar en los cultivos por sequías o inundaciones (Prinz y Singh, 2006). Lamentablemente, dentro de las estrategias promovidas por los programas nacionales encargados del manejo sostenible de los recursos suelo y agua, ha sido muy limitada su incorporación. En muchos casos los países siguen considerando al riego como un asunto meramente de extracción de aguas subterráneas por bombeo o de aprovechamiento de aguas superficiales como ríos y quebradas a través de distritos, dejando de lado el enorme potencial que ofrecen las tecnologías de aprovechamiento *in situ* del agua lluvia (Ray *et al*, 2013)

Los principios éticos que rigen la cosecha de agua incluyen: El cuidado de la tierra y de todos los seres, incluyendo el suelo, el agua, el aire, las plantas, los animales, y el ecosistema, lo cual implica actividades de conservación de la naturaleza. El cuidado de la gente para suplir sus necesidades básicas de agua, aire, alimento, techo, educación, empleo. Por esta razón no se fomenta la desigualdad ni la explotación y siempre busca mejorar la calidad de vida de las personas alentando a otros a hacer lo mismo. Además promueve la reutilización del tiempo, de la energía y del capital.

La cosecha de agua bajo el concepto FLAR (Fondo latinoamericano de Arroz de Riego) sólo contempla la construcción de obras civiles en propiedad privada en donde de ningún modo se afectan los caudales ecológicos de las microcuencas de aporte y que no representan una amenaza para la seguridad pública de terceros; además, bajo ninguna circunstancia, incluye el represamiento de ríos y quebradas, ni la toma de agua de humedales o de reservas naturales, ya que únicamente se cosechan aguas de escorrentía que descienden por terrenos de potreros o cultivos que anteriormente se veían afectados por erosión o por inundaciones. El objetivo de estas obras de aprovechamiento sostenible del agua lluvia es siempre la transformación hacia sistemas de irrigación eficientes, seguros y productivos, cuya escala está ajustada a las necesidades específicas de agua de los cultivos. Siempre se parte de observaciones

conscientes y detalladas de la dinámica de cómo y hacia a dónde corre el agua, lo que nos permite instalar sistemas pequeños y simples que están ajustados a la demanda hídrica de los productores. Para el caso específico del proyecto en Nicaragua, FLAR se rige por la Ley General de Aguas Nacionales -No 620, y específicamente en el decreto Número 44 de Septiembre de 2010 dado en Managua, Nicaragua.

El proceso de preselección de sitios potenciales para cosechar agua se inicia con una apropiada evaluación del lugar en donde se consideran características como el tipo de suelo, geología, topografía, fuente de suministro de agua y seguridad pública. La aptitud de un sitio para la construcción de un reservorio depende de la habilidad física del suelo para retener agua en el área de almacenamiento. Los suelos arcillosos o franco-arcillosos son excelentes para la conformación de los muros ya que presentan contenidos de arcilla suficientes para disminuir el riesgo de posibles infiltraciones. El relieve y la topografía del sitio son los factores que más influyen en los costos de construcción de las obras. Por simples razones económicas, los reservorios deben estar ubicados en sitios en donde se coseche un volumen adecuado de agua lluvia y en donde se deba mover la mínima cantidad de suelo para la construcción de un pequeño muro de tierra. El tamaño de la obra está muy ligado a las características de los suelos y de la vegetación predominante en el área contributiva que está drenando, ya que nos permite cuantificar los volúmenes máximos de excesos de agua superficial que pueden escurrir en el sitio durante los meses lluviosos. La información sobre balance hídrico, cantidad de escorrentía, y tasa de infiltración es de mucha importancia para estimar el área requerida para llenar el reservorio. Además, siempre se presta especial atención a las estructuras de aliviamiento y control de aguas de exceso con el propósito de minimizar el riesgo de erosión de los muros.

Los cálculos de la escorrentía potencial son muy usados en estudios urbanísticos y en agricultura, donde el control de la erosión y el manejo de cuencas son áreas prioritarias. La escogencia o descarte de un sitio particular para cosechar agua es proporcional a la cantidad de escorrentía que baja por el terreno y que, a su vez, depende de muchos factores interrelacionados que determinan la idoneidad para la construcción de un reservorio. Para anticipar los volúmenes de escorrentía se deben estudiar detalladamente las características biofísicas del área contributiva, los patrones de precipitación de la zona, la geología, los tipos de suelo y la vegetación predominante. Estas estimaciones pueden hacerse a nivel macro o por fincas individuales, dependiendo del propósito de la iniciativa. Las agencias de desarrollo y los gobiernos desean identificar regiones que sean apropiadas para cosechar agua, mientras que los

productores quieren saber cuál es el sitio más propicio para construir un reservorio en sus predios.

5.2.1 Estudios en el área contributiva

La principal preocupación al momento de seleccionar un sitio para la construcción de un reservorio, es que éste tenga la capacidad para llenarse completamente con agua lluvia. También denominada área de captura, esta superficie corresponde al área de donde proviene el agua de escorrentía, que como lo se ha mencionado anteriormente depende de factores como el tipo de suelos, la vegetación de cobertura predominante y la cantidad e intensidad de la precipitación. Una evaluación rigurosa de la cuenca de aporte es crítica para estimar anticipadamente los volúmenes de escorrentía que pueden descender en un determinado evento de alta precipitación en un periodo corto de tiempo.

El análisis de factores como la cantidad y distribución de la lluvia, la temperatura, la humedad relativa y los vientos, determinan la factibilidad de implementar sistemas de cosecha de agua. Teóricamente el balance hidrológico de la zona debe ser positivo durante la mayor parte del año, es decir, que la precipitación anual supere a la evaporación y así, poder cosechar el exceso de agua que escurre naturalmente por las montañas durante los meses lluviosos. La precipitación de la zona evaluada, determinará la superficie de captura necesaria para llenar la represa. Los vientos por su parte determinan el oleaje, mientras que la temperatura y la radiación solar de la zona determinan factores de pérdida de agua en forma de evaporación. En casi todos los países, las instituciones nacionales encargadas poseen información climatológica completa, lo que facilita en gran medida el análisis previo a la selección del sitio donde se construirá la represa.

5.2.2 Análisis de la precipitación:

La captura de escorrentía es parcialmente dependiente de la frecuencia y de la intensidad de las lluvias. Áreas de lluvias intensas durante un periodo corto de tiempo pueden experimentar grandes cantidades de agua de escorrentía incluso si los registros de precipitación anual son bajos. Una distribución más uniforme de la precipitación a lo largo del año, generalmente no resulta en mucha agua de escorrentía, incluso en zonas donde los promedios anuales de precipitación son altos, este caso aplica a zonas de suelos con tasas de infiltración altas.

Los datos históricos de precipitación en base diaria son muy útiles para identificar los eventos pluviométricos de mayor intensidad, lo que permite estimar los niveles máximos

de escorrentía y ayuda a tomar medidas para el manejo seguro de los excesos de agua. Esta es información de mucha utilidad en zonas de huracanes como Centroamérica, en donde se pueden alcanzar niveles de precipitación de 200mm en un solo día, que pueden comprometer la seguridad de las obras.

5.2.3 Estudios de infiltración y escorrentía

Las propiedades del suelo determinan la cantidad de agua de escorrentía, ya que afectan la capacidad del reservorio para sostener agua, lo que significa que una vez lleno el reservorio no se vaya a perder agua por efecto de la infiltración.

La siguiente tabla presenta información general sobre las propiedades de los suelos (Comúnmente conocidos como grupos hidrológicos de suelos), las tasas de infiltración y su idoneidad para cosechar agua.

Grupo Hidrológico de suelo	Características	Infiltración (mm/h)	Textura	Escorrentía potencial
A	Suelos Livianos y profundos con presencia de gravas con perfil permeable	8 a 12	Arenosa o Limo Arenosa	Muy baja , No es apropiado para cosechar agua
B	Suelos livianos similares a los del grupo A, pero de perfil superficial y bajo contenido de arcilla	4 a 8	Franco Limosa, Limosa, con menos de 15% de arcillas	Moderadamente baja , Requiere grandes áreas contributivas para hacer cosecha de agua
C	Suelos superficiales de textura intermedia que contienen un mínimo de 20% de arcillas	1 a 4	Franco Arcillo Limoso	Moderadamente alta , Apropriados para cosechar agua con algunas consideraciones
D	Suelos pesados con alto contenido de arcillas y capas sub-superficiales impermeables	0 a 1	Franco Arcillosos, Limo Arcillosos y Arcillosos	Alta , Suelos ideales para cosechar agua

Fuente: <http://www.ext.colostate.edu/mg/gardennotes/214.html>

5.2.4 Efecto de la cobertura vegetal y de la topografía sobre la escorrentía

La vegetación de cobertura predominante en el área contributiva ejerce una gran influencia sobre la cantidad de precipitación que se convertirá en escorrentía. Las tierras cultivadas con poca cobertura y mucha área con suelo desnudo normalmente tienen tasas de escorrentía altas, así mismo las pasturas compactadas por el ganado también tienen tasas altas de escorrentía.

La combinación entre el tipo de suelos y la vegetación de cobertura permite determinar los valores estimados de precipitación, (en inglés, Runoff Curve Number.CN). Estos valores son números empíricos generados por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos y han sido colectados de cientos de parcelas de escorrentía con diferentes condiciones de suelo y varios tipos de cobertura vegetal. Los valores fluctúan entre 30 a 100 y entre más bajo sea significa que es más baja la escorrentía potencial; y entre más alto sea este número significa que la escorrentía potencial es más alta.

Cobertura vegetal y uso del suelo	Grupo Hidrológico de suelo		
	B	C	D
	Valor estimado de la escorrentía (mm/h)		
Cultivos Transitorios	81	88	91
Pasturas Cultivadas	61	74	80
Pasturas Nativas	58	71	78
Arbustos	48	65	73
Bosque	60	73	79

Fuente: Servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos

Como se mencionó anteriormente, la escorrentía sólo ocurre cuando el suelo ha alcanzado su potencial máximo de retención de agua o punto de saturación en centímetros (S_{cm}) expresado en la siguiente ecuación:

$$S_{cm} = (2500/CN) - 25$$

La retención de humedad inicial (I_a) es una medida de la cantidad de agua requerida para llenar el perfil superficial del suelo antes de que la escorrentía ocurra. Históricamente, I_a ha sido asumida como el 20% del Potencial Máximo de Retención o Punto de Saturación (S), en donde, $I_a = 0.2 (S)$

La ecuación de la escorrentía es la siguiente

$$Q = (P - I_a)^2 / (P - I_a) + (S)$$

En donde,

Q es la escorrentía expresada en cm

P es la precipitación expresada en cm

Por ejemplo; si estamos evaluando el potencial para cosechar agua de un sitio perteneciente al grupo de suelos hidrológico C en donde el área contributiva está cubierta por pasturas cultivadas (CN = 74), ante un evento de 10 cm de precipitación, tendríamos:

$$S = (2500/74) - 25 = 8.8 \text{ cm}$$

$$I_a = 0.2 (8.8 \text{ cm}) = 1.8 \text{ cm}$$

$$Q = (10 \text{ cm} - 1.8 \text{ cm})^2 / (10 \text{ cm} - 1.8 \text{ cm}) + (8.8 \text{ cm})$$

$$Q = 67/17 = 3.9 \text{ cm}$$

Entonces; Si tuviéramos un área contributiva de 10 hectáreas, multiplicamos el valor obtenido por 10 y tenemos 3.900 m³ de escorrentía por cada 10 cm anticipados de precipitación.

Adicional a estos cálculos, las observaciones detalladas de las fincas en compañía de los agricultores pueden darnos indicios de la cantidad de agua que desciende por un determinado terreno. Preguntas como que tanto tiempo tarda el agua en resumirse después de una lluvia fuerte o evidencias físicas de erosión hídrica representada en cárcavas, pueden ser otro buen punto de partida para seleccionar un sitio en particular.

Las pendientes más pronunciadas tienen mayor flujo de aguas escorrentía que pendientes suaves y moderadas. Además, la topografía es el factor que más influye en los costos de construcción de un reservorio. Los valores estimados de escorrentía (CN) en general no son muy ajustados para pendiente inferiores al 5%, pero para este caso se puede utilizar un CN ajustado de la siguiente manera:

$$\text{CN ajustado} = \text{CN} (323 + 15.6 a) / (a + 323)$$

5.3 Generalidades del cultivo del arroz (*Oryza sativa*)

5.3.1 Importancia

Botánicamente denominado *Oryza sativa*, el Arroz cultivado es una planta gramínea acuática de tallos gruesos y fuertes, hojas gruesas y erectas de color verde oscuro, de una altura entre 90 a 120 cm, con sistema radicular profuso y panículas de 180 a 230 granos cuya duración del ciclo desde siembra hasta cosecha varía entre los 100 a 130 días. El cereal es originario del suroeste asiático, domesticado por el hombre hace aproximadamente 8.000 años y distribuido por navegantes a los cinco continentes. Los factores climáticos más limitantes para el cultivo del arroz son la temperatura, la precipitación, la radiación solar, la humedad relativa y el viento. El cultivo crece en un amplio rango de pisos térmicos desde los 10 grados centígrados hasta los 35 grados centígrados; y regímenes de precipitación que fluctúan entre los 400 hasta los 5000 mm/año; el frío puede afectar al arroz en cualquier etapa desde germinación hasta floración, y las altas temperaturas pueden secar el polen y aumentar la esterilidad del grano.

5.3.2 El Arroz en el Mundo

En el mundo el Arroz es considerado junto con el Trigo entre los cereales más consumidos, constituyendo la principal fuente de carbohidratos para cerca de la 4 billones de personas, ya que alimenta a más de mitad de la población mundial especialmente a los más pobres, pues proporciona el 27% de la energía calórica y el 20% de la proteína de la dieta humana. En América Latina, el arroz es la principal fuente de calorías consumida en la dieta por encima del trigo, el maíz, la yuca y la papa. Debido al crecimiento demográfico se estima que el incremento en la demanda global de cereal pasará de 439 millones de toneladas en 2010 a 555 millones de toneladas para 2035, lo que significa un incremento de 26% en los próximos 25 años. Para suplir esta demanda futura del grano se requerirá incrementar entre 1.0 a 1.2% las tasas de crecimiento de los rendimientos anuales del cultivo, lo cual implica que a nivel global, los agricultores necesitarán producir de ocho a diez millones de toneladas adicionales de arroz por año, lo que es equivalente a aumentar los rendimientos globales en 0,6 toneladas por hectárea por año durante la próxima década (FAO, 2012).

El Arroz es cultivado en un amplio rango de ecosistemas que se clasifican de acuerdo las características hidrológicas del lugar en donde se produce. El Arroz de Riego (AR) crece en campos inundados en donde los agricultores sostienen durante la mayor parte del ciclo del cultivo una lámina de agua permanente que varía entre los 5 a los 10 cm de espesor, mientras que el Arroz de Secano (AS) es cultivado únicamente con las

lluvias durante la mayor parte del ciclo de crecimiento del cultivo. En el mundo se siembran anualmente unas 160 millones de hectáreas del cereal, de las cuales 93 millones de hectáreas se cultivan con riego y que producen el 75% del grano; y 67 millones de hectáreas se siembran con las lluvias bajo el riesgoso sistema de secano, contribuyendo solamente con el 25% de la producción global anual. Los últimos datos del Instituto Internacional de Investigaciones del Arroz (IRRI) en Filipinas, indican que el arroz de riego consume entre el 34 al 43% del agua de riego del planeta y entre el 24-30% de los recursos de agua dulce del planeta (GRISP. 2013). Por otro lado, el escenario futuro de cambio climático impone un gran reto para cerca de 450 millones de personas que dependen a nivel mundial del arroz de secano como su principal fuente de subsistencia (IRRI, 1997), y que reportan anualmente que cerca de 27 millones de hectáreas se ven afectadas económicamente por los efectos de la variabilidad climática, tales como variaciones drásticas en la temperatura y cambios en la distribución e intensidad de las lluvias que conllevan excesos y déficit hídricos en etapas críticas para la fijación del rendimiento (Abrol & Gadgi, 1999)

5.3.3 El Arroz en América Latina

En Latinoamérica y el Caribe se cultivan anualmente cerca de 7.5 millones de hectáreas de arroz, que producen anualmente unas 26 millones de toneladas métricas del grano y que están distribuidas entre la zona tropical que abarca desde el sur de México hasta Perú y entre la zona templada que comprende el Norte de México, el Sur de Brasil, Uruguay, Argentina y Chile.

La producción arrocería latinoamericana consiste en una mezcla de ecologías de riego y de secano, donde el arroz de riego que ocupa aproximadamente el 50% del área sigue siendo responsable de aproximadamente el 75% de la producción total. Los países centroamericanos que dependen en su mayoría de la producción de secano son los más vulnerables a los procesos de apertura de mercados y libre comercio con Estados Unidos, debido a la baja productividad de una sola cosecha por año y al alto riesgo de pérdida económica que enfrentan los productores que carecen de irrigación y que sufren diariamente los efectos de la sequía en sus campos; la región centroamericana presenta además un déficit anual neto cercano a 1.5 millones de toneladas de arroz. Los programas Nacionales en la región han liberado un gran número de variedades pero los rendimientos continúan siendo bajos e inestables, razón por la cual las importaciones continúan aumentando.

5.3.4 El Arroz en Nicaragua

Nicaragua es un país Centroamericano con una extensión de 130,370 Km² en donde viven 5.87 millones de habitantes cuya principal actividad económica es la agricultura contribuyendo con un 25% del PIB. El cultivo del arroz representa la principal fuente de empleo para cerca de 350.000 familias nicaragüenses y el consumo interno de arroz per cápita en el país es de 52.2 kg/persona/año. En la actualidad existen cerca de 24.400 productores de arroz que siembran anualmente un área aproximada de 87.000 hectáreas, de las cuales más del 95% se siembran bajo el sistema de secano con extensiones promedio por agricultor de cinco hectáreas y cuyos rendimientos fluctúan entre 1.5 a 3.0 toneladas por hectárea, mientras que solo el 5% de los productores cultivan bajo riego con rendimientos entre 5 a 7 toneladas por hectárea.

La producción arrocera de secano se concentra en el Valle de Jalapa y la Región del Triángulo minero, mientras que las áreas de riego están ubicadas los Municipios de Sébaco, Malacatoya, Boaco y Rio San Juan (ANAR, 2017) (Figura 1). Según Baumeister, el tamaño promedio de una finca de arroz en el 2010 era de 9.1 hectáreas

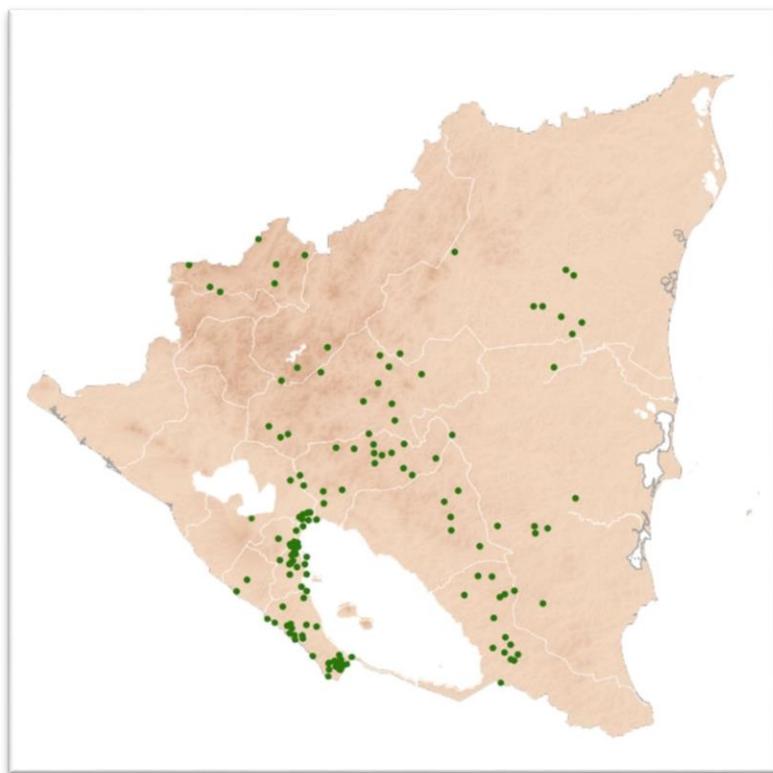


Figura 1 Mapa arrocero Nicaragüense (Cada punto verde equivale a 500 hectáreas)

5.3.5 La problemática del Arroz de Secano

La falta de riego obliga a estos productores de arroz de secano a sembrar una sola vez por año al inicio de la época lluviosa, para garantizar el establecimiento y levante del cultivo con la humedad residual del suelo. La alta precipitación percibida por el cultivo durante el ciclo, favorece la proliferación de enfermedades fungosas de importancia económica como *Piricularia* y *Rhizoctonia*. Además, la alta nubosidad característica de la temporada lluviosa, disminuye drásticamente la radiación solar percibida por el cultivo afectando la fotosíntesis y, por ende, el rendimiento en grano.

Cuando nos referimos al arroz de secano debemos diferenciar dos sistemas predominantes a nivel mundial. El arroz de secano favorecido de tierras bajas, en inglés Rainfed Lowland y el arroz secano de tierras altas, en inglés Upland Rice (Dobberman & Faihurst. 2000)

El arroz de secano de tierras bajas crece en campos adecuados con bordas o caballones sobre las curvas de nivel que permite a los productores mantener sus campos inundados durante una parte del ciclo del cultivo. Este sistema predominante en Asia ocupa aproximadamente el 25% del total de la superficie arroceras mundial con un total de 36 millones de hectáreas y contribuye con cerca del 17% del suministro global del cereal anualmente, se caracteriza por la falta de control de agua y el alto riesgo de inundaciones o sequías.

El arroz de secano de tierras altas es cultivado durante los meses lluviosos con bajos insumos y precaria tecnología en campos no adecuados (sin caballones). Los suelos son preparados en seco y plantados bajo el sistema de siembra directa, en donde el agua sólo se acumula en el suelo durante cortos periodos de tiempo lo que aumenta la presión de malezas y de enfermedades como *Piricularia* y a la vez que disminuye la eficiencia del fertilizante nitrogenado para la producción de grano. El secano de tierras altas predomina en Centroamérica, Ecuador, Bolivia y el Norte del Brasil, y constituye el 10% del área global arroceras con una participación del 3.8% del total del arroz producido anualmente en el mundo. Bajo estas condiciones, el riesgo asociado a sequías periódicas, inundaciones y baja radiación solar, afecta la estabilidad económica de los pequeños agricultores dedicados al secano de tierras altas, ya que solo cosechan el arroz una vez por año en los meses donde la sobreoferta estacional ocasiona bajas en el precio de venta.

En las fincas de secano las pequeñas diferencias topográficas pueden tener importantes consecuencias debidas a la disponibilidad de agua, la fertilidad del suelo y el riesgo de inundación. La impredecible distribución de la precipitación usualmente termina en condiciones de suelo que son o muy secas o muy saturadas que además de causar estreses relacionados con déficit o excesos de agua, también dificulta las operaciones de campo mecanizadas como la preparación de los suelos, siembra, control de malezas, aplicación de fertilizantes y la cosecha.

El riesgo climático asociado a la producción de arroz de secano hace que los agricultores no se vean motivados a invertir en mejores semillas, modernas prácticas de preparación de suelos ni a planes de fertilización que les permitan aumentar sus rendimientos.

Otro factor que afecta la productividad de los sistemas de arroz de secano es la baja eficiencia del uso de los fertilizantes, puesto que con las condiciones variables de humedad del suelo en donde éste se seca e inunda durante periodos diferenciales de tiempo, se aumentan las pérdidas de nitrógeno por denitrificación y volatilización del amonio, así como por lixiviación de los nitratos. En suelos ácidos se han reportado deficiencias de fósforo y toxicidad de aluminio como limitantes del crecimiento que afectan el rendimiento de grano. Algunos reportes hablan de una reducida disponibilidad de silicio bajo condiciones de secano que incrementa la susceptibilidad de las plantas a los hongos (Dobberman & Faihurst. 2000). Otros factores limitantes del rendimiento son la presión de malezas, ya que al no poderse establecer una lámina permanente de agua sobre la superficie del suelo que actúe como barrera física, las arvenses toman ventaja de la humedad y de la fertilidad para competir agresivamente con el cultivo, ocasionando pérdidas en rendimiento que pueden fluctuar entre el 30% y el 100%. Otros problemas que pueden disminuir drásticamente los rendimientos son las enfermedades como *Piricularia* y el ataque de nemátodos, insectos chupadores y barrenadores de tallo. Tradicionalmente los sistemas de arroz de secano han contribuido a la contaminación de las aguas sub-superficiales debido a la lixiviación de nitratos, y a la contaminación de los suelos debido al uso recurrente de herbicidas, insecticidas y fungicidas. (IRRI, 2013).

5.3.6 Impactos ambientales del cultivo del arroz

Las alteraciones ambientales propiciadas por la actividad arroceras incluyen desde la contaminación del aire a causa de la emisión de gases de efecto invernadero como el metano y el óxido nitroso, hasta la contaminación del agua y del suelo derivada del uso excesivo e ineficiente de fertilizantes y pesticidas de síntesis química.

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas emitido durante la quema con fuego de los residuos de cosecha y durante las labores mecanizadas de preparación de suelos, aplicaciones, cosecha y post-cosecha. El arroz también secuestra carbono a tasas de 1.25 t/m³ de biomasa, lo que es equivalente a 45 toneladas de dióxido de carbono por hectárea. Estos valores de secuestro de carbono pueden ser mayores en sistemas con arroz en rotación con otros cultivos.

El metano es un potente gas de efecto invernadero que es 30 veces más contaminante que el dióxido de carbono y que se produce en suelos saturados con agua en donde la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno o anaerobiosis y es liberado a la atmósfera a través de las hojas de las plantas de arroz durante su ciclo de crecimiento. A nivel mundial el arroz contamina la atmósfera con 33-40 Tera gramos (1.0 x 10⁹ Kg) de CO₂ equivalente por año, lo que representa el 11% de las emisiones totales del gas (Cicerone, 1992).

El óxido nitroso es un gas 300 veces más potente que el dióxido de carbono que proviene de los arrozales en donde se presenta un uso ineficiente de los fertilizantes nitrogenados. El factor que más afecta este tipo de pérdidas de nitrógeno a la atmósfera es la condición variable de humedad del suelo al momento de la aplicación de la urea y durante el ciclo del cultivo, ya que por ser una fertilizante amónico que se divide por hidrólisis catalítica en amonio y nitrato, es muy sensible a perderse por desnitrificación.

El amonio también se libera a la atmósfera proveniente del fertilizante nitrogenado. Aproximadamente un sexto de las emisiones globales de amonio provienen de la agricultura. Para el caso de arroz, los agricultores incurren en el error de aplicar la urea sobre suelo húmedo o sobre la lámina de agua lo que resulta en pérdidas por volatilización del amonio de cerca del 70% del total del nitrógeno aplicado y, muchas veces, compensan las deficiencia aumentando la cantidad de nitrógeno aplicado y por consiguiente la contaminación.

La contaminación de aguas superficiales se debe principalmente a cambios en su composición química derivada de procesos como la Eutrofización caracterizada por aguas de color verde y que se genera por la acumulación en el agua de fertilizantes inorgánicos (nitratos, amonio, fosfatos, y óxidos de potasio y magnesio) que aumentan la biomasa de malezas acuáticas y algas que empobrecen la diversidad microbiológica del agua. Las aguas subterráneas también sufren cambios en su composición química debido principalmente a la lixiviación de nitratos a través del subsuelo y al lavado o arrastre de pesticidas. Algunos herbicidas residuales como la atrazina pueden

contaminar suelos y aguas, impidiendo la rotación con cultivos de hoja ancha como la soya y el frijol.

5.3.7 Manejo agronómico sostenible del cultivo del arroz

Dada su importancia, el arroz es sembrado tanto en suelos pesados e inundados como en suelos livianos y bien drenados, es decir, no existe una única clasificación morfológica de los suelos arroceros, pero si hay una clara preponderancia de suelos de secano clasificados como oxisoles y en algunos casos cuando su naturaleza es aluvial con material de depósito se encuentran los órdenes vertisoles, alfisoles y ultisoles. Las características edafológicas necesarias para tener un buen cultivo son la textura y la porosidad ya que condicionan la conductividad hidráulica o movimiento vertical del agua en el perfil del suelo y que además determinan la capacidad de retención de humedad. Dentro de las características químicas favorables para el cultivo está el pH del suelo que condiciona la disponibilidad de nutrientes como el fósforo, magnesio, hierro, zinc y otros elementos menores. Los suelos arroceros de tierras bajas inundables sufren un proceso químico denominado auto-encalamiento a las dos semanas después de la inundación en donde el pH tiende a la neutralidad independientemente de cual sea naturaleza química, condición que mejora la fertilidad al aumentar la disponibilidad de nutrientes que en condiciones de suelo seco se encontraban fijados y no disponibles para las plantas.

La mecanización de los suelos arroceros incluye preparaciones mecanizadas tanto en condiciones de alta humedad (Sistema de “fangueo”), como en condiciones de suelo seco en donde se practica labranza convencional, mínima o cero. En esta etapa se debe garantizar una nivelación u homogenización de la pendiente del terreno para facilitar el movimiento y distribución del agua, para mejorar los controles de malezas y para aumentar el uso eficiente de los nutrientes en especial del nitrógeno. De acuerdo al tipo de preparación del suelo también se modifican los sistemas de siembra. Por ejemplo, para el sistema de preparación con agua tipo “fangueo”, los sistemas de siembra son el trasplante (de plántulas de 20 días de edad provenientes de un semillero), y la siembra al voleo sobre el barro de semilla pre-geminada (humedecida durante 24 horas y reposada a la sombra durante 36 horas). En contraste, cuando el suelo de los lotes ha sido preparado en seco, el arroz se siembra preferiblemente con sembradoras de precisión en donde la semilla y el fertilizante basal son depositados uniformemente a través de surcos distanciados a 17 cm, y también pueden ser sembrados con semilla seca voleada e incorporada con un rastrillo pulidor. Las cantidades de semilla por

hectárea varían entre los 40 a los 180 kg, pero está demostrado que una población ideal por metro cuadrado que fluctúa entre 200 a 300 plantas, en dependencia de la variedad. (FLAR, 2012)

Una vez la semilla se hidrata en el suelo y germina, comienza una etapa de desarrollo vegetativo que dura hasta los 55 días. Después de Emergencia (DDE), es cuando la planta usa los nutrientes absorbidos, en especial el nitrógeno, para producir biomasa en forma de macollas y hojas que constituyen el dosel responsable de la fotosíntesis. Para tener una fertilización eficiente se recomienda la incorporación previa a la siembra y sobre suelo seco de todo el fósforo, todo el potasio y todos los elementos menores y sólo fraccionar el nitrógeno de acuerdo a la condición de humedad del suelo. El manejo integrado fitosanitario del arroz incluye los controles de malezas, plagas y enfermedades que afectan el cultivo. Por ser un cultivo de porte bajo en el que permanentemente hay agua y nutrientes disponibles, existe cierta predisposición al ataque de insectos y de patógenos, así como a la competencia de malezas agresivas que pueden afectar económicamente la rentabilidad del negocio y la inocuidad del producto final. Cerca de los 90 días después de emergencia, el arroz comienza a florecer al emitir inflorescencias denominadas panículas que contienen espiguillas que sujetan los granos del arroz. Después de floración comienza el proceso de maduración del grano hasta que esté a punto de cosecha al 24% de humedad.

A continuación se describen los seis factores de manejo agronómico que influyen drásticamente la respuesta en rendimiento de grano de un cultivo de arroz (FLAR, 2006)

I. Fecha de siembra.

Generalmente, los rendimientos bajos e inestables son el resultado de la falta de atención a factores ambientales críticos que tienen efectos directos sobre la producción. Entre estos factores está la radiación solar. El arroz es un cultivo sensible a los niveles de radiación solar desde antes del inicio de primordio hasta después de la floración. Muchas variedades tropicales de 130 días de ciclo, inician panícula alrededor de los 50 días y florecen a los 90. Para una variedad de 130 días, el período crítico de radiación solar es de aproximadamente 40 a 100 días después de la emergencia. Una baja incidencia solar durante el período vegetativo y la fase de llenado de grano tiene un bajo impacto en los rendimientos. En contraste, las panículas pequeñas son casi siempre el resultado de bajos niveles de radiación solar durante el inicio de panícula, mientras que la alta esterilidad del grano se da como consecuencia de los bajos niveles de radiación solar durante las últimas fases del período reproductivo.

Los niveles de radiación solar adecuados para obtener rendimientos entre 8-10t/ha están por encima de 450 cal/cm²/día. Los rendimientos disminuyen drásticamente con niveles inferiores a 400 cal/cm²/día. Los niveles de radiación solar menores a 350 cal/cm²/día son comunes durante la época de cultivo en los sistemas de secano “favorecido”, en zonas lluviosas de América Latina. A pesar de que se utilicen otras prácticas de manejo, los niveles de rendimiento en estas áreas son limitados debido a la falta de adecuada radiación solar. Los rendimientos de 4 t/ha o menos son comunes, y representan sólo el 30% del potencial de rendimiento de las variedades.

II. Densidad de Siembra

Los agricultores en Latinoamérica están acostumbrados a sembrar grandes cantidades de semilla, hasta 200kg/ha. No existe ninguna base técnica que valide estas densidades de siembra. Las consecuencias negativas de altas densidades son plantas débiles que no responden al fertilizante y aumento de la incidencia de enfermedades. Numerosos estudios han demostrado que poblaciones de 250-300 plantas/m² son adecuadas para obtener altos rendimientos. Este número de plantas puede ser obtenido con densidades de 80 a 100 kg de semilla/hectárea en todos los sistemas de siembra, es decir, pre germinada o semilla seca. Sembrando en surcos o hileras, la densidad de siembra puede reducirse de 25 a 35 semillas/metro lineal, el equivalente a 75-90 kg/ha con 17cm de espacio entre surcos. Un número óptimo de plantas hace que los tallos sean gruesos y menos susceptibles a insectos y enfermedades. Las plantas sanas tienen una mejor respuesta al fertilizante y por ende dan mayores rendimientos.

III. Tratamiento de semillas con productos específicos que protejan a las plántulas del daño de plagas

En Latinoamérica las aplicaciones profilácticas de insecticidas, en particular piretroides, mezclados con herbicidas son una práctica común. La aplicación temprana de insecticidas no selectivos de amplio espectro crea un ambiente propenso a la aparición de nuevas plagas y destrucción de insectos y arañas benéficas para el cultivo. Una alternativa atractiva a la aplicación de insecticidas foliares no selectivos es el uso de semillas tratadas. El tratamiento de semillas con insecticidas proporciona un control temprano de la mayoría de insectos, actuando de manera selectiva sin dañar a los insectos benéficos.

IV. Control temprano de malezas

Un adecuado control de malezas es esencial para obtener altos rendimientos. Un control de malezas efectivo y eficiente implica una adecuada preparación del suelo, uso de

semillas limpias de alta calidad, fertilización apropiada y un buen manejo del agua. El control químico es sólo uno de los componentes de todo el programa de control de malezas. Una vez que el cultivo ha sido establecido y tiene una ventaja competitiva contra las malezas, la aplicación temprana de una mezcla de productos químicos pre y pos emergentes seguidos por el establecimiento de inundación permanente proporciona un excelente control de malezas a costos razonables. Existen muchos productos relativamente económicos que funcionan en este sistema y la resistencia de las malezas es mucho menos problemática ya que las sustancias químicas con distintas formas de acción pueden ser rotadas por temporadas. La clave del éxito en la aplicación temprana de pos emergente es el tiempo, es decir, los productos deben ser aplicados cuando las malezas tienen de 1-3 hojas. El control residual de malezas se logra estableciendo una inundación permanente tan pronto como el cultivo lo permita. Este programa integrado de manejo ha probado ser más eficiente y efectivo que la dependencia del control químico de malezas.

V. Nutrición balanceada del cultivo

Sólo si el cultivo dispone de los nutrientes adecuados se pueden obtener altos rendimientos. A mayor potencial de rendimiento, mayor demanda de nutrientes. Aunque esto sea obvio, muchos agricultores no ajustan la cantidad de abono tomando en cuenta el potencial de rendimiento del cultivo, las condiciones de crecimiento o los niveles de nutrientes del suelo. En la mayoría de los casos se dispone de recomendaciones tipo receta del fertilizante que en nada se ajustan al tipo de suelo, a la trayectoria del uso del suelo o a las condiciones ambientales, por ejemplo, altos niveles de radiación solar. Tales prácticas conllevan a desbalances en los nutrientes, aplicación de nutrientes inadecuados o excesivas aplicaciones de fertilizante.

El nitrógeno es el elemento más difícil de manejar en arroz irrigado debido a las cantidades relativamente grandes que requiere para obtener altos rendimientos y la tendencia a pérdidas debido al mal manejo. Para que un cultivo de arroz pueda obtener altos rendimientos debe acumular en biomasa más de 250 kg de N/ha y casi todo esto se debe absorber antes de floración. Para obtener altos rendimiento, las pérdidas de N debido a la volatilización y desnitrificación deben ser prevenidas o minimizadas. Con un buen manejo agronómico, es factible obtener una eficiencia de 30 kg de grano/kg de N. Sin embargo, bajo un manejo inadecuado es común una eficiencia de 10-15 kg de grano/kg de N. El primer paso para obtener una alta eficiencia de N es evitar la aplicación de urea en agua o barro durante las etapas tempranas de crecimiento de la planta. Nunca debe aplicarse urea en agua durante la fase de crecimiento temprano ya que se

pierde por volatilización. Igualmente se debe prevenir la aplicación de urea sobre suelo húmedo. La urea siempre debe ser aplicada sobre suelo seco durante las fases tempranas de desarrollo del cultivo, seguido de inundación para filtrar el N dentro del suelo y mantener una condición anaeróbica para prevenir la nitrificación.

VI. Manejo del agua

El riego es el pesticida y el fertilizante más efectivo y eficiente en el mercado. Un buen manejo del riego es esencial para un control efectivo de malezas y una alta eficiencia de la fertilización, especialmente del N. El establecimiento de una inundación temprana inmediatamente después de la aplicación de urea tiene como resultado el control residual de malezas, alta eficiencia de N y la liberación de muchos nutrientes en el suelo, especialmente fósforo. Retardar el establecimiento de inundación permanente reprime los rendimientos y aumenta los costos. Los sistemas de preparación con land plane y taipa sobre curvas de nivel permiten el establecimiento temprano de la lámina permanente es decir antes de los 15 días después de emergencia.

5.4 Características varietales de los materiales evaluados

En el ensayo se evaluaron dos variedades comerciales preferidas por los agricultores y por la industria gracias a las siguientes características:

CARACTERÍSTICAS	INTA DORADO	L-256
Altura de la planta (cm)	92	90
Color de testa	Amarillo	Pajizo
Excursión de panícula	Buena	Intermedia
Longitud de panícula (cm)	23.6	26
Capacidad de macollamiento	Alta	Alta
Reacción al volcamiento	Intermedia	Medianamente tolerante
Reacción a <i>Piricularia</i>	Tolerante	Tolerante
Peso de 1000 granos (g)	25	27
Días a cosecha	120-125	117-120
Modalidad de siembra	Riego y seco	Riego y seco

5.5 Características ambientales de Nicaragua

En Nicaragua se identifican cuatro tipos de clima según la clasificación de Köppen:

- I. Clima tropical de sabana característico de la región del Pacífico y el occidente de la cordillera central, desde el nivel del mar hasta los 1000 metros de altitud, con una marcada estación seca de cuatro a seis meses entre noviembre y abril, lluvias que varían entre 500 mm y 2000 mm, y temperaturas medias entre los 21 a los 29 grados centígrados.
- II. Clima subtropical seco en el macizo montañoso de la región central, con una estación seca de cuatro a seis meses entre noviembre y abril, precipitaciones entre 1000 mm y 2000 mm y temperaturas de 10-20 grados en la zona central norte y de 21 a 29 grados en la zona central sur.
- III. Clima monzonico de selva, propio de la planicie media y norte de la region atlántica (60% del país), con un periodo seco de dos meses (febrero a marzo), precipitaciones de 2400 a 5000 mm y temperatura media de 27 grados, bastante uniforme durante todo el año.
- IV. Clima tropical de pluvioselva, en la región sur oriental desde Bluefields hasta el Río San Juan, con una precipitación superior a los 4000 mm que disminuye entre marzo y abril, y temperaturas uniformes a lo largo del año (entre 25 y 29 grados).

6.0 Materiales y métodos

6.1 Descripción del experimento

La investigación se llevó a cabo entre 2015 y 2016 en dos localidades arroceras que fueron transformadas del secano al riego mediante la construcción de un reservorio para cosechar agua lluvia en el año 2010 y que están ubicadas en dos departamentos del corredor seco nicaragüense. En cada una de las localidades se seleccionaron dos lotes de producción comercial de arroz con acceso a riego proveniente de la cosecha de agua, en donde se delimitaron dos unidades experimentales de 5000 m², y en donde se evaluó durante dos años, la respuesta de dos variedades sometidas a tres tratamientos de riego y de manejo agronómico sostenible.

La primera localidad fue la finca El Porvenir de propiedad de la familia Caceres Moncada ubicada a un altitud de 703 m.s.n.m, con coordenadas geográficas 13.55.00 Norte 86.08.08 Oeste, en la comunidad Nuevo Amanecer del municipio de Jalapa en el Departamento de Nueva Segovia. La finca cuenta con un reservorio de terraplén construido en 2011 que se conformó compactando un volumen de suelo de 6,346 m³ que tuvo una capacidad de almacenamiento de agua lluvia de 87,643 m³ que fueron usados para el riego de nueve hectáreas de arroz (Figura 2).



Figura 2. Esquema de cosecha de agua para riego de arroz en la Localidad 1. Google Earth. 2013

El clima de la Localidad 1 (Jalapa) fue clasificado por Koppen como un clima tropical Aw con invierno seco de régimen de precipitación unimodal, con predominancia de precipitaciones inferiores a la evapotranspiración y balance hídrico negativo con déficit superior a seis meses por año. La zona presenta una precipitación anual promedio de 1517 mm, en donde las lluvias solo se concentran desde Mayo hasta Octubre, con un periodo canicular seco que históricamente se presenta de mediados de Julio a mediados de agosto. El régimen térmico de la zona exhibe los picos más altos de temperatura entre los meses de Marzo a Mayo, periodo durante se registran temperaturas superiores a los 29 grados centígrados; mientras que durante los meses de Noviembre a Febrero se presentaron las temperaturas más bajas del año registrando valores cercanos a los 17 grados centígrados (Figura 3).

Clima Localidad 1. Jalapa

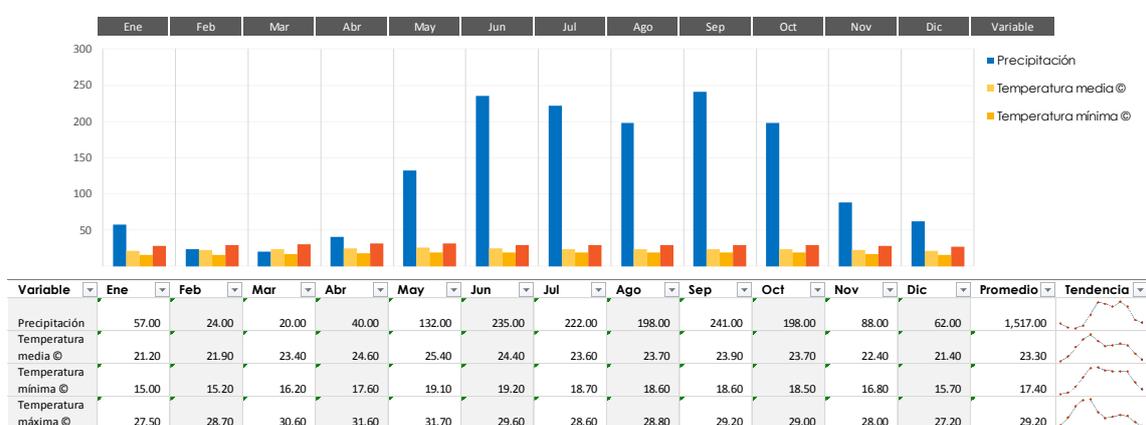


Figura 3. Diagrama climático de la Localidad 1 (Jalapa). Serie Histórica 1966-2010. INETER

Los suelos de Jalapa han sido clasificados taxonómicamente como pertenecientes al orden de los Vertisoles de grado de evolución mínimo. Son suelos de topografía suavemente ondulada con pendientes casi planas que oscilan entre 1 - 4 %, de textura Franco-Arcillosa con contenidos de arcillas superiores al 30% que están presentes en casi todos los horizontes predominantes hasta los 50 cm de profundidad. Debido a la naturaleza de las arcillas expansivas tipo 2:1 del grupo de las montmorillonitas, estos suelos llamados localmente Zonzocuite se contraen formando grietas durante la temporada seca y al saturarse con agua se hinchan cerrando las grietas a durante la temporada lluviosa. Según datos de INETER, dentro de este orden predomina el subgrupo taxonómico *Aquic Chromuderts* que corresponde a un suelo altamente impermeable de conductividad hidráulica baja, que es ideal tanto para la retención de agua dentro del reservorio como para la permanencia de la humedad residual en los

campos de arroz. Químicamente son suelos con altos contenidos de materia orgánica y de pH ligeramente ácido, con niveles de fertilidad adecuados para el cultivo del arroz y sin problemas de toxicidad de bases intercambiables (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis Químico de suelos de la Localidad 1 (Jalapa) a una profundidad de 20 cm. (Laboratorio de suelos UNA. Managua)

Análisis	Unidad	Resultado
pH	-	5.1
Materia Orgánica	%	4.54
Nitrógeno	%	0.23
Fósforo	ppm	28.7
Potasio	meq/100g	0.6
Calcio	meq/100g	8.3
Magnesio	meq/100g	4.2
Hierro	ppm	147.6
Cobre	ppm	8.7
Zinc	ppm	4.3
Manganeso	ppm	43.3
Boro	ppm	0.2
Azufre	ppm	9.7
Acidez Intercambiable	meq/100g	0.8
Aluminio Intercambiable	meq/100g	<0.1

La segunda localidad es la finca El Divisadero propiedad de la cooperativa de su mismo nombre, ubicada a una altitud de 115 m.s.n.m, en cercanías del municipio de Malpaisillo en el Departamento de León. La finca conto con un reservorio de terraplén construido en 2009 que se conformó compactando un volumen de suelo de 2937 m³ que tuvo una capacidad de almacenamiento de agua lluvia de 48.960 m³, que fueron usados para el riego de cinco hectáreas de arroz (Figura 4).

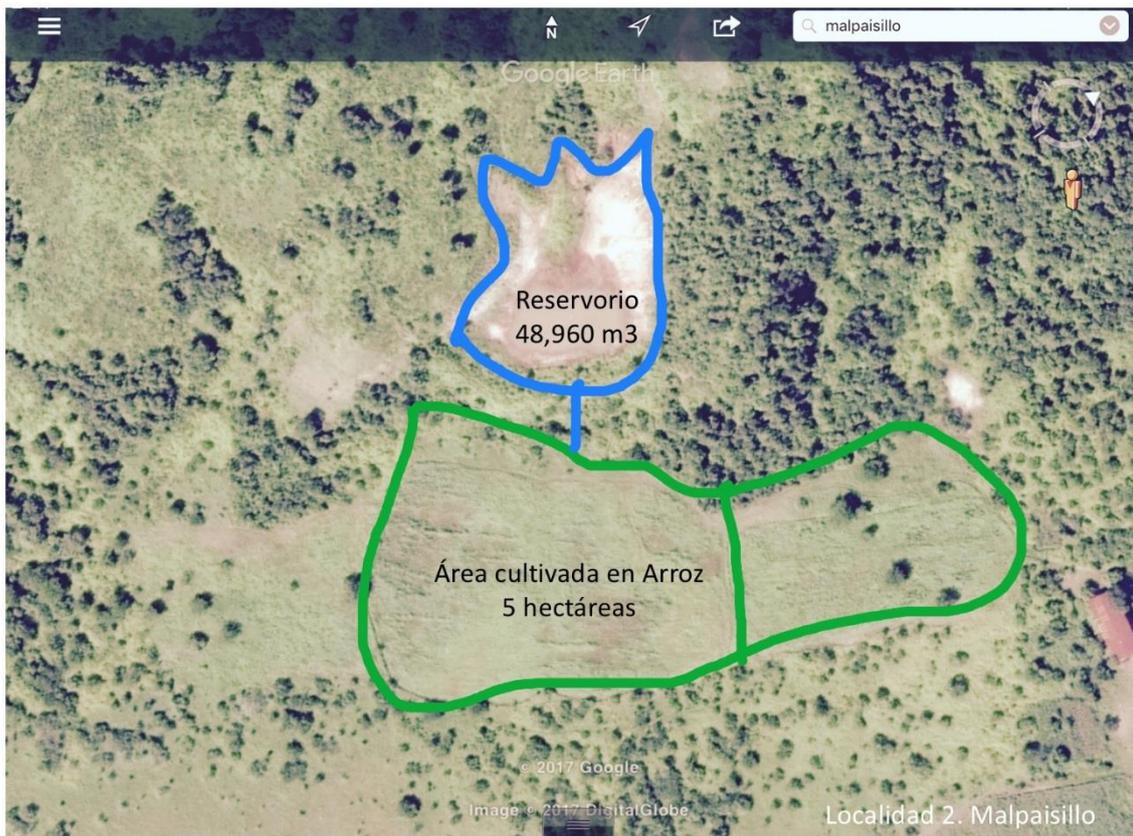


Figura 4. Esquema de cosecha de agua para riego de arroz en la Localidad 2. Google Earth. 2017

El clima de la Localidad 2 (Malpaisillo) fue clasificado por Koppen (citado y modificado por García 1988) como un clima seco de régimen de precipitación unimodal con predominancia de precipitaciones inferiores a la evapotranspiración y balance hídrico negativo con déficit superior a seis meses por año. La zona presenta una precipitación anual promedio de 1486 mm, en donde las lluvias solo se concentran desde Mayo hasta Octubre, con un periodo canicular seco que históricamente se presenta de mediados de Julio a mediados de agosto. El régimen térmico de la zona exhibió los picos más altos de temperatura entre los meses de Marzo a Mayo, periodo durante los cuales se registraron temperaturas cercanas a los 39 °C; mientras que durante los meses de Noviembre a Febrero se presentaron las temperaturas más bajas del año registrando valores cercanos a los 28 °C (Figura 5).

Clima Localidad 2. Malpaisillo



Figura 5. Diagrama climático de la Localidad 2 (Malpaisillo). Serie Histórica 1966-2010. INETER

Los suelos de Malpaisillo han sido clasificados taxonómicamente como pertenecientes al orden de los Alfisoles de grado maduro y bien desarrollados. Son suelos de topografía plana con pendientes suaves que oscilan entre 0-3 %, de textura Arcillosa con contenidos de arcillas superiores al 60% que están presentes en casi todos los horizontes predominantes hasta los 120 cm de profundidad. Son suelos apropiados para cosechar agua con altos contenidos de materia orgánica y de pH ácido, con niveles de fertilidad adecuados para el cultivo del arroz y sin problemas de toxicidad de bases intercambiables (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis Químico de suelos de la Localidad 2 (Malpaisillo) a una profundidad de 20 cm. 2015

Análisis	Unidad	Resultado
pH	-	4.9
Materia Orgánica	%	3.22
Nitrógeno	%	0.18
Fósforo	ppm	34.3
Potasio	meq/100g	0.23
Calcio	meq/100g	2.3
Magnesio	meq/100g	4.2
Hierro	ppm	175.6
Cobre	ppm	2.35
Zinc	ppm	4.3
Manganeso	ppm	13.75
Boro	ppm	0.62
Azufre	ppm	11.32
Acidez Intercambiable	meq/100g	0.6
Aluminio Intercambiable	meq/100g	<0.1

6.2 Metodología para el objetivo específico 1

6.3 Diseño experimental

Con el objetivo de evaluar las diferencias de rendimiento anual por hectárea (Kg/ha/año) de dos variedades en las dos localidades seleccionadas, se utilizó un diseño en parcelas subdivididas en donde la unidad experimental fueron lotes comerciales de arroz de 5000 m² (parcela principal), que fueron sometidos durante dos años es decir, durante cuatro cosechas a tres tratamientos de irrigación y manejo agronómico sostenible. El muestreo de rendimiento se realizó cosechando al interior de cada parcela principal; cinco sub-muestras aleatorias de 25 m² por cada tratamiento en donde se registraron los pesos masales del grano. La cosecha se realizó de forma manual con oz y empacada en sacos de fique con capacidad para 50 kilos los cuales fueron marcados con la localidad, la variedad, la fecha de cosecha y el tratamiento. El pesaje se realizó en una báscula romana y los pesos fueron registrados a una humedad del 24%. En total se establecieron 120 sub-parcelas en las que se cosecharon aleatoriamente las sub-muestras de 25 m², mediante el siguiente arreglo espacial y temporal (Tabla 3).

Tabla 3. Información básica y arreglo espacial-temporal del experimento

LOCALIDAD 1	JALAPA								
LOCALIDAD 2	MALPAISILLO								
AÑO 1	2015								
AÑO 2	2016								
VARIEDAD 1	INTA DORADO								
VARIEDAD 2	L-256								
TTO 1	RIEGO+MANEJO SOSTENIBLE								
TTO 2	SECANO+MANEJO SOSTENIBLE								
TTO 3	SECANO TRADICIONAL CONTROL								
Año	Localidad	Tratamiento	Linea	Sub-Muestra	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5
1	1	3	2	1	2	3	4	5	
			1	1	2	3	4	5	
		2	2	1	2	3	4	5	
			1	1	2	3	4	5	
		1	1	1	2	3	4	5	
			2	1	2	3	4	5	
	2	3	1	1	2	3	4	5	
			2	1	2	3	4	5	
		1	1	1	2	3	4	5	
			2	1	2	3	4	5	
		2	2	1	2	3	4	5	
			1	1	2	3	4	5	
	2	1	2	1	2	3	4	5	
			1	1	2	3	4	5	
		1	1	1	2	3	4	5	
			2	1	2	3	4	5	
		3	2	1	2	3	4	5	
			1	1	2	3	4	5	
	2	2	2	1	2	3	4	5	
			1	1	2	3	4	5	
		1	1	1	2	3	4	5	
			2	1	2	3	4	5	
		3	1	1	2	3	4	5	
			2	1	2	3	4	5	

6.3.1 Descripción de los tratamientos

Tratamiento 1: Sistema de arroz de riego durante la temporada seca con manejo sostenible. (Siembra de Noviembre – Cosecha en Marzo)

Tratamiento 2: Sistema de arroz seco con riego suplementario y manejo sostenible (Siembra de Junio – Cosecha en Septiembre)

Tratamiento 3: Testigo absoluto. Sistema de producción de arroz de seco con manejo tradicional. (Siembra de Junio – Cosecha en Septiembre)

6.4 Actividades de campo

El experimento comenzó en Noviembre de 2014, con la demarcación de dos lotes por localidad para evaluar la respuesta de las dos variedades sometidas al Tratamiento 1. Las actividades de campo iniciaron con la preparación y nivelación mecanizada de los campos en ambas localidades, y consistió en dos pases de rastra pesada, dos pases de rastrillo pulidor y dos pases de marco nivelador para homogeneizar la superficie del terreno. Con el último pase de rastrillo pulidor se incorporó una fertilización de base sobre el suelo seco que consistió en un mezcla de 100 kg/ha de difosfato de amonio (DAP 18-46-0), 100 Kg/ha de cloruro de potasio (0-0-60) y 50 kg/ha de urea (46-0-0).

Posteriormente se hicieron los levantamientos topográficos en donde se demarcaron curvas de nivel con una diferencia de altura entre curvas de 8 cm y sobre las cuales se construyeron taipas de 12 cm de altura con el propósito de garantizar el riego homogéneo. Previo a la siembra se hizo un riego general para estimular la germinación de malezas que una semana después fueron controladas químicamente con el herbicida no selectivo glufosinato de amonio.

Previo a la siembra se realizó una prueba de germinación que consistió en poner sobre papel periódico húmedo 100 semillas del arroz y contar tres días después cuantas de estas germinaron. La semilla certificada de ambos materiales presentó un porcentaje de germinación superior al 96%. Las semillas venían tratadas con el producto Cruiser, el cuál es una mezcla de insecticida y fungicida que evita el ataque temprano de plagas del suelo y de comedores de follaje.

Para la siembra se utilizó una sembradora de arroz marca Semeato ajustada a una distancia entre surcos de 17 cm, depositando 30 semillas por metro lineal de surco, lo cual corresponde a una densidad de siembra de 90 kg de semilla por hectárea. Inmediatamente después de la siembra se aplicó con tractor y sobre suelo seco el

herbicida pre-emergente Ronstar 25 (I.A. Oxadiazon) a una dosis de 4 litros por hectárea. Una vez el tractor terminó de aplicar el herbicida pre-emergente se inició con el primer riego para estimular tanto la germinación de la semilla como la activación del herbicida.

Seis días después inició la emergencia de las plántulas del arroz a través de la superficie del suelo presentando buen vigor y un color verde intenso. Durante la primera semana de establecimiento del cultivo no se regó. A los diez días después de la emergencia del arroz, las malezas ya tenían de dos a tres hojas y se les aplicó una mezcla de los herbicidas post-emergentes Nominee (I.A Bispiribac Sodio a una dosis de 400 cc P.C/ha) y Command (I.A Clomazona a una dosis de 1.2 L/ P.C/ha). Dos días después y cuando el arroz tenía tres hojas se aplicaron al voleo y sobre suelo seco, seis sacos de urea por hectárea (50kg de urea por saco) e inmediatamente se inició con el segundo riego con el objetivo de incorporar eficientemente la urea dentro del suelo y de activar los herbicidas. Durante el resto del ciclo y hasta el estado de grano pastoso se mantuvo una lámina de agua uniforme que fue introducida al campo desde los 15 días después de germinación con un caudal de 1,2 m³/hora y cuyo espesor aumento desde los 5 hasta los 8 cm conforme el cultivo se elongaba. La cosecha se realizó cuando grano alcanzó el 24% de humedad, y consistió en seleccionar al azar y dentro de cada lote, cinco submuestras por variedad de 25 m² que fueron cosechadas en su totalidad. El arroz cosechado en cada subparcela se empacó en sacos de 50 Kg y se determinaron y registraron los pesos totales en una balanza romana.

El establecimiento de los tratamientos 2 y 3 (Secano) inició en Junio de 2015 con la preparación convencional de los campos en ambas localidades, y consistió en dos pases de rastra pesada y dos pases de rastrillo pulidor. La siembra se hizo con semilla seca al voleo para lo cual se utilizó un tractor con un voleadora de un ancho de pasada de 32 metros, luego la semilla fue incorporada con el último pase de rastrillo pulidor. Posterior a la siembra se aplicó el herbicida pre-emergente Bolero (I.A.Bentiocarb) a una dosis de 4 litros por hectárea. El riego suplementario consistió en dos riegos adicionales a los 15 días después de emergencia y a los 30 días después de emergencia,

Las diferencias entre el manejo tradicional y el manejo sostenible radican principalmente en las cantidades de semilla utilizadas, el modo y época de aplicación de los fertilizantes y la carga química utilizada para el control de malezas plagas y enfermedades. Tradicionalmente los agricultores usan excesivas cantidades de semilla (120-180 kg/ha) mientras que en el plan de manejo sostenible utilizamos la mitad de esta cantidad (90

kg/ha). En cuanto al manejo de la fertilización nitrogenada los agricultores de secano aplican tradicionalmente la urea fraccionada cuatro veces, es decir cuando el arroz tiene 15, 30, 45 y 60 días después de emergencia, mientras que en el plan de manejo sostenible con riego suplementario solo fraccionamos la urea dos veces, es decir cuando el arroz tenía tres hojas y a los 55 días en el estado de inicio de primordio de panícula. El tratamiento 2 de secano tradicional, requirió dos aplicaciones más de herbicidas post-emergentes para el control de gramíneas y requirió una aplicación de Flutolanil para el control de hongo *Rhizoctonia solani*, posiblemente favorecido por la alta humedad relativa y la densa población de plantas favorecida por una alta densidad de siembra. La cosecha se realizó cuando grano alcanzó el 24% de humedad, y consistió en seleccionar al azar y dentro de cada lote, cinco submuestras por variedad de 25 m² que fueron cosechadas en su totalidad. El arroz cosechado en cada subparcela se empacó en sacos de 50 Kg y se determinaron y registraron los pesos totales en una balanza romana. Las mismas prácticas de manejo se repitieron en las siembras del año dos en las dos localidades

6.5 Metodología para el objetivo específico 2

Para analizar las diferencias en los ingresos anuales por hectárea de cada variedad en ambas localidades, primero se multiplicaron los datos de rendimiento obtenidos en cada uno de los tres tratamientos por el precio de venta al momento de la comercialización, para obtener el ingreso bruto. Para el 2015 se utilizaron precios de venta por tonelada para marzo de US\$248 y para septiembre de US\$293. Para el 2016 se utilizaron precios de venta por tonelada para marzo de US\$211 y para septiembre de US\$286.

Para analizar el ingreso neto en dólares por hectárea de las dos variedades al ser sometidas a cada uno de los tres tratamientos durante los dos años, se utilizó un costo de producción fijo de por hectárea para los dos años de US\$650. El ingreso neto obtenido por cada tratamiento se obtuvo al restar los costos por hectárea de los ingresos brutos.

Ingreso Neto (US\$/ha) = Ingreso Bruto (US\$/ha) – Costos por hectárea (US\$)

7.0 Resultados y Discusión

7.1 Resultados para el objetivo específico 1

Para evaluar las diferencias en cuanto a rendimiento de arroz en ambas localidades se analizaron tres posibles fuentes de variación: (1) Efecto de la variedad (2) Efecto de la localidad (3) Efecto de cada tratamiento y el Efecto Combinado (4)

Inicialmente los datos de rendimiento se corrieron en Minitab en donde reflejaron una distribución normal y sin datos faltantes, luego fueron procesados y analizados con el software SAS Versión 9.4.

El Análisis de Varianza (ANOVA) indicó que el modelo es ajustado ($P < 0.0001$), con un Coeficiente de variación inferior a 30 en ambos años, lo que corrobora la normalidad en la distribución de los datos. (tabla 4)

Tabla 4. Coeficientes de variación de experimento durante los dos años de evaluación

Año	Coeficiente de variación	R ²	Promedio Rendimiento Kg ha ⁻¹
Año 1	13.94866	0.944543	5060.30
Año 2	11.85744	0.955139	4975.173

$P < 0.0001$

El análisis muestra que el efecto del tratamiento presentó diferencias altamente significativas ($p > 0.0001$), para la característica rendimiento en kilogramos de arroz por hectárea (Kg/ha), en donde el tratamiento 1 fue superior a los otros tratamiento conservando esta tendencia en los dos años del experimento.

Para la fuente de variación 1 (Efecto del genotipo) se observaron diferencias significativas en ambas localidades, conservando la tendencia durante las cuatro cosechas. Esto indica que los materiales se comportan diferente en las diferentes localidades siendo el genotipo 1 el que presentó mayores rendimientos a lo largo del ciclo de vida del experimento. Los valores significativos solo se presentaron en la fuente de variación 2 (Efecto de la localidad), indicando que la tendencia del rendimiento en ambas localidades estaba más ligada al efecto de los tratamientos que a la localidad.

El efecto del tratamiento sobre el rendimiento en Kg/ha fue el único que presentó diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$), presentando la misma tendencia en ambas localidades durante los dos años del experimento (Figura 6)

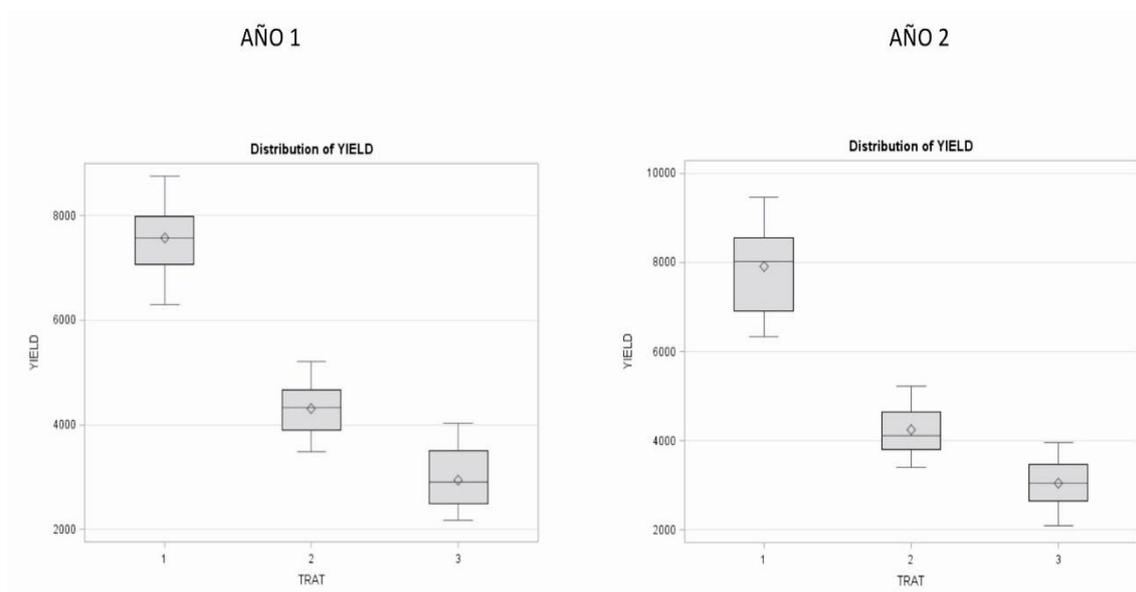
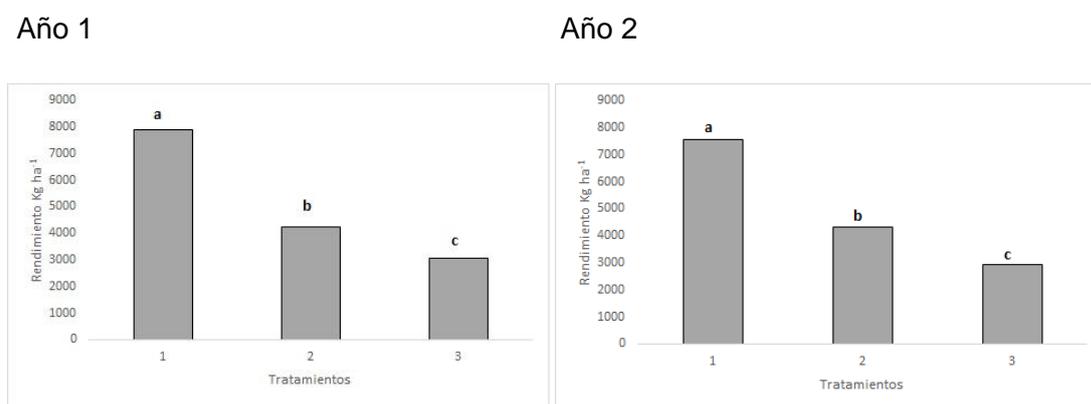


Figura 6. Análisis comparativo de los tratamientos durante los dos años, en cuanto a promedios generales de rendimiento por cada año en ambas localidades.

Figura 7. Promedio de rendimiento de los tratamientos en ambas localidades durante los dos años



Los datos muestran que durante el año 2 se presentaron diferencias significativas en rendimiento en la interacción (Localidad x Variedad x Tratamiento), sin embargo durante el año 1 no se observaron diferencias significativas en esta interacción.

Tabla 4. Análisis comparativo de los rendimientos de las dos variedades de acuerdo al tratamiento en ambas localidades durante los dos años.

Durante el año 1, también se observan diferencias significativas en rendimiento en la interacción Variedad * Localidad* Linea, tendencia que no se observó durante el año 2

Tabla 4. Promedio de rendimiento año 1 de la interacción localidad*linea*tratamiento

LOC	LINEA	TRAT	# SM	Mean	Std Dev
1	1	1	5	7214.56	1285.92
1	1	2	5	4331.52	680.60
1	1	3	5	3203.12	450.93
1	2	1	5	8154.08	1035.72
1	2	2	5	4685.2	527.36
1	2	3	5	2707.76	670.33
2	1	1	5	8441.6	600.41
2	1	2	5	3970.48	385.98
2	1	3	5	2919.76	557.34
2	2	1	5	7790.56	840.57
2	2	2	5	3958.08	423.81
2	2	3	5	3347.84	453.23

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOC*LINEA*TRAT	2	3951003.8	1975501.9	3.97	0.0289

Tabla 5. Promedio de rendimiento año 2 de la interacción localidad*linea*tratamiento

LOC	LINEA	TRAT	# SM	Mean	Std Dev
1	1	1	5	7508.08	482.24
1	1	2	5	4000.16	555.38
1	1	3	5	2559.12	623.25
1	2	1	5	7985.04	741.50
1	2	2	5	4438.4	456.42
1	2	3	5	3062.24	514.86
2	1	1	5	7476.4	840.52
2	1	2	5	4510.08	536.93
2	1	3	5	3070	278.67
2	2	1	5	7305.44	607.27
2	2	2	5	4277.84	385.76
2	2	3	4	3142.8	761.84

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOC*LINEA*TRAT	2	13162.3	6581.1	0.02	0.9813

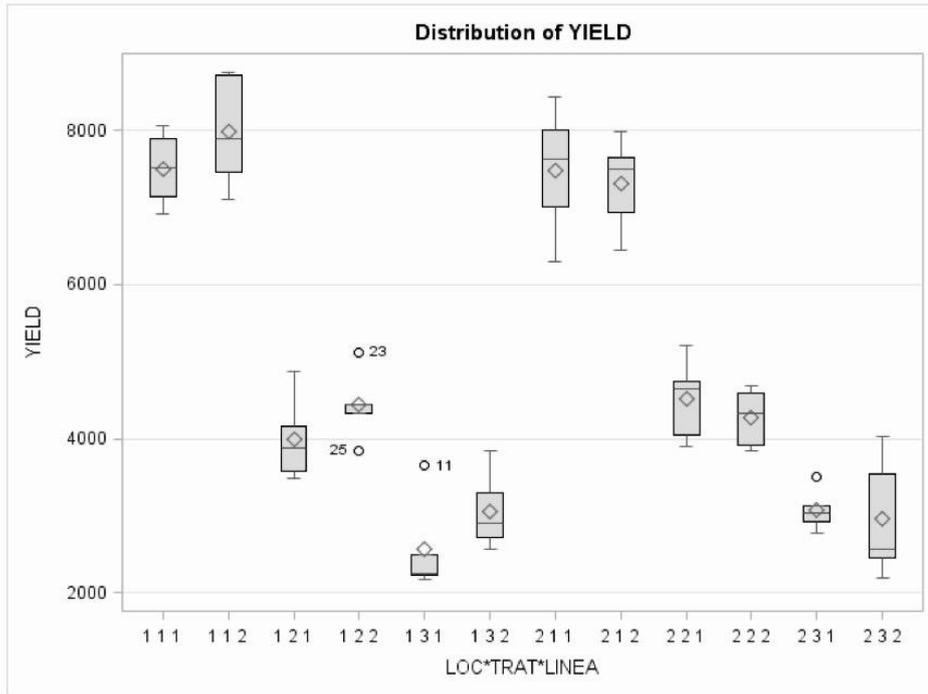


Figura 7. Análisis de la interacción Localidad por tratamiento por variedad.

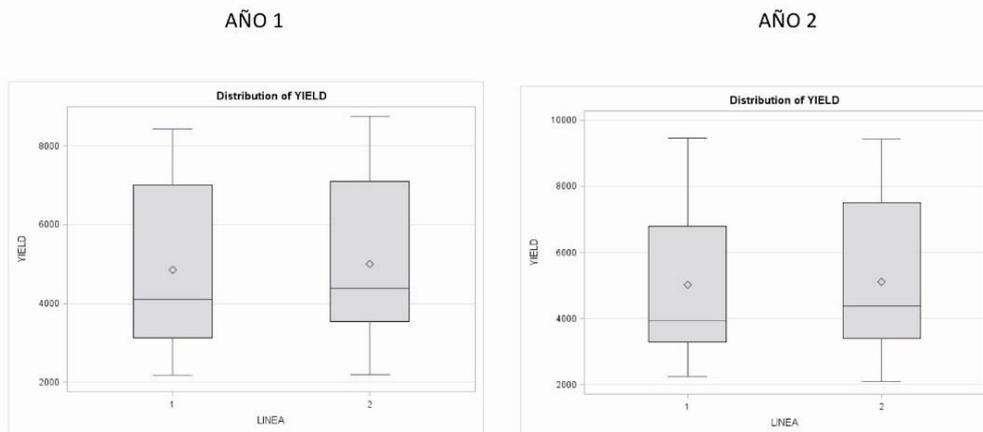
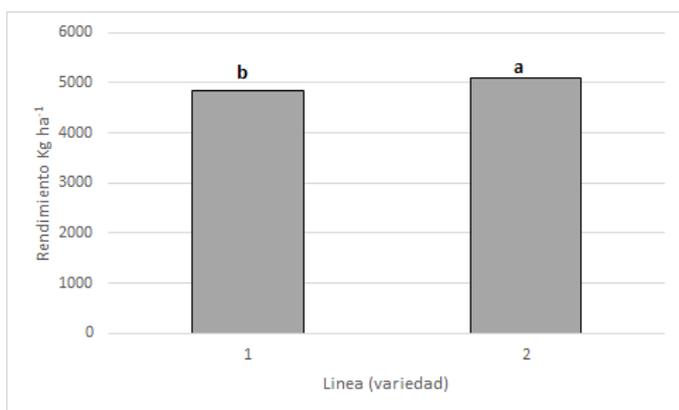


Figura 8. Análisis Comparativo de lasa dos variedades durante los dos años



Al analizar la prueba Duncan no se observaron diferencias entre las repeticiones, y se observa que los rendimientos no variaron en gran medida debido efecto de la variedad, mientras que el efecto del tratamiento fue el único que presentó diferencias significativas. Con un nivel de confianza del 95%, se puede inferir que hubo diferencias significativas entre tratamientos (<0.0001).

Al analizar la interacción Localidad x Línea x Tratamiento, se observa un $Pr>F$ 0.0289 por lo que inferimos que hay diferencias significativas. Con un nivel de significancia de 400 Kg, el error nos dice que no hay diferencias significativas en cuanto a la localidad (Figura 9)

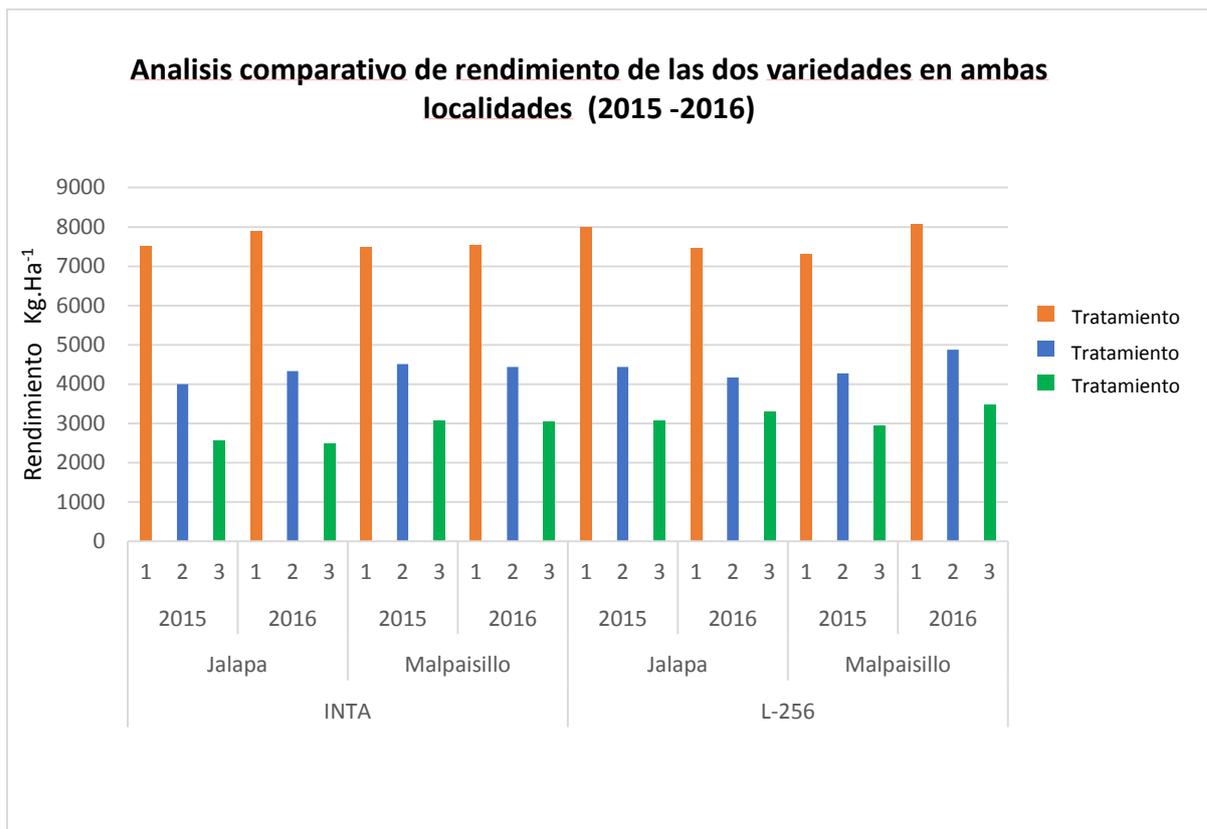


Figura 9. Grafico Comparativo de las dos variedades durante los dos años, al ser sometidas a los tres tratamientos de riego y manejo.

7.2 Discusión objetivo específico 1

A partir de los hallazgos encontrados, aceptamos la hipótesis planteada que establece que “Un biosistema integrado que involucre el aprovechamiento del agua lluvia para la producción continua y prácticas de manejo agronómico sostenible del arroz, es aquel que permite obtener mayores rendimientos anuales por hectárea, en zonas tradicionalmente dedicadas a la producción de secano”. Los datos de cosecha de cada uno de los tratamientos presentan evidencia de como la irrigación y el manejo agronómico al que está sometido el cultivo del arroz, influyen la respuesta del rendimiento de las variedades evaluadas en las dos localidades.

Los rendimientos más altos se presentaron en los tratamientos que involucraban riego y manejo sostenible, evidenciando la influencia del agua y de la optimización de factores agronómicos que mejoran el desempeño fisiológico de las plantas. Los rendimientos más bajos se presentaron en el sistema de secano manejado con prácticas tradicionales, en donde la variabilidad en los regímenes de humedad del suelo, la baja eficiencia en el uso del nitrógeno y la baja radiación percibida por el cultivo durante la

época lluviosa, se asumen como los factores que afectaron en mayor medida la expresión de los rendimientos genéticos potenciales de las variedades evaluadas.

Estos resultados guardan relación con lo que sostienen Hagos *et al* (2006), quienes señalan el efecto positivo de la cosecha de agua lluvia sobre la reducción de la vulnerabilidad de los agricultores de secano ante la variabilidad climática. La respuesta encontrada además coincide con lo señalado por Prinz *et al* (2006) donde la cosecha de agua demostró ser una excelente alternativa tecnológica para elevar la productividad en áreas secas al incrementar los rendimientos por hectárea y disminuir el riesgo de pérdida económica de los cultivos.

Se observó una respuesta interesante en el tratamiento dos, en donde al aplicar tres riegos suplementarios en las etapas de establecimiento, macollamiento y floración; se incrementaron los rendimientos hasta niveles competitivos para el agricultor. En lo que respecta al manejo sostenible aplicado en este tratamiento, se observó que al reducir a la mitad la cantidad semilla por hectárea, las plantas estaban más espaciadas entre sí y por ende se desarrollaban vigorosamente y más sanas. Este espaciamiento no solo disminuye la humedad relativa al interior del cultivo, sino que permite una mejor distribución de la luz a través del dosel de las plantas, lo que reduce la presión de enfermedades fungosas y mejora la fotosíntesis.

Esta respuesta muestra concordancia además con lo hallado por Oweis y Hachum (2004) y por Mueller (2012) en donde el riego suplementario proveniente de la cosecha de agua favorece el aumento de la productividad al elevar los rendimientos por hectárea en áreas de secano.

También la tendencia observada coincide con la postulado por Lobell *et al* (2009), en donde las brechas de rendimiento de arroz de riego son del orden del 55% mientras que las brechas de rendimiento de arroz de secano están por el orden del 153%.

7.3 Resultados para el objetivo específico 2

El tratamiento 1 (Riego + Manejo Sostenible) fue el que representó los mayores ingresos en las dos localidades, en donde la mayor rentabilidad se obtuvo durante el primer año en la localidad 1 (Jalapa) con la variedad 2 (L-256), representando un ingreso de US\$1330/ha, lo que equivale a cinco veces los ingresos obtenidos con el tratamiento control de manejo tradicional de secano. Se observa que a lo largo de las cuatro

cosechas evaluadas, el tratamiento 1 fue presentó los mayores ingresos por hectárea, independientemente de la variedad (Tabla 5).

Tabla 5. Diferencias en los ingresos por hectárea percibidos con cada uno de los tratamientos en las dos localidades durante los dos años del experimento.

Año	Localidad	Variedad	Tratamiento	Mes de Cosecha	Costos	Rendimiento	Precio de venta	Ingreso Bruto	Ingreso Neto	
					(US\$/ha)	(Kg/ha)	(US\$/Kg)	(US\$/ha)	(US\$/ha)	
2015	Jalapa	INTA	1	Marzo	650	7,508	0.248	1,862	1,212	
			2	Septiembre	650	4,000	0.293	1,172	522	
			3	Septiembre	650	2,559	0.293	750	100	
		L-256	1	Marzo	650	7,985	0.248	1,980	1,330	
			2	Septiembre	650	4,438	0.293	1,300	650	
			3	Septiembre	650	3,062	0.293	897	247	
	Malpaisillo	INTA	1	Marzo	650	7,476	0.248	1,854	1,204	
				2	Septiembre	650	4,510	0.293	1,321	671
				3	Septiembre	650	3,070	0.293	900	250
L-256			1	Marzo	650	7,305	0.248	1,812	1,162	
			2	Septiembre	650	4,277	0.293	1,253	603	
			3	Septiembre	650	2,953	0.293	865	215	
2016		Jalapa	INTA	1	Marzo	650	7,886	0.211	1,664	1,014
				2	Septiembre	650	4,336	0.286	1,240	590
				3	Septiembre	650	2,497	0.286	714	64
	L-256		1	Marzo	650	7,456	0.211	1,573	923	
			2	Septiembre	650	4,167	0.286	1,192	542	
			3	Septiembre	650	3,295	0.286	942	292	
	Malpaisillo	INTA	1	Marzo	650	7,522	0.211	1,587	937	
			2	Septiembre	650	4,439	0.286	1,270	620	
			3	Septiembre	650	3,034	0.286	868	218	
L-256	1	Marzo	650	8,061	0.211	1,701	1,051			
		2	Septiembre	650	4,873	0.286	1,394	744		
		3	Septiembre	650	3,491	0.286	998	348		

El tratamiento 2 (Secano + manejo sostenible) fue el segundo más rentable, presentando ingresos por hectárea entre los US\$500 y US\$700. Lo que muestra el efecto del manejo sostenible sobre la rentabilidad obtenida en comparación con el tratamiento control que fue sembrado simultáneamente y estuvo sometido a los mismos precios de venta percibidos en el mes de septiembre de ambos años (Figura 10).

El tratamiento 3 que corresponde al testigo (Secano + Manejo tradicional) fue el que representó los menores ingresos por hectárea, mostrando una alta variabilidad entre las localidades. Los ingresos por hectárea en este tratamiento fluctuaron entre los US\$64 y los US\$350, lo que significa rentabilidades cuatro veces menores a las obtenidas con riego y manejo sostenible (Figura 10).

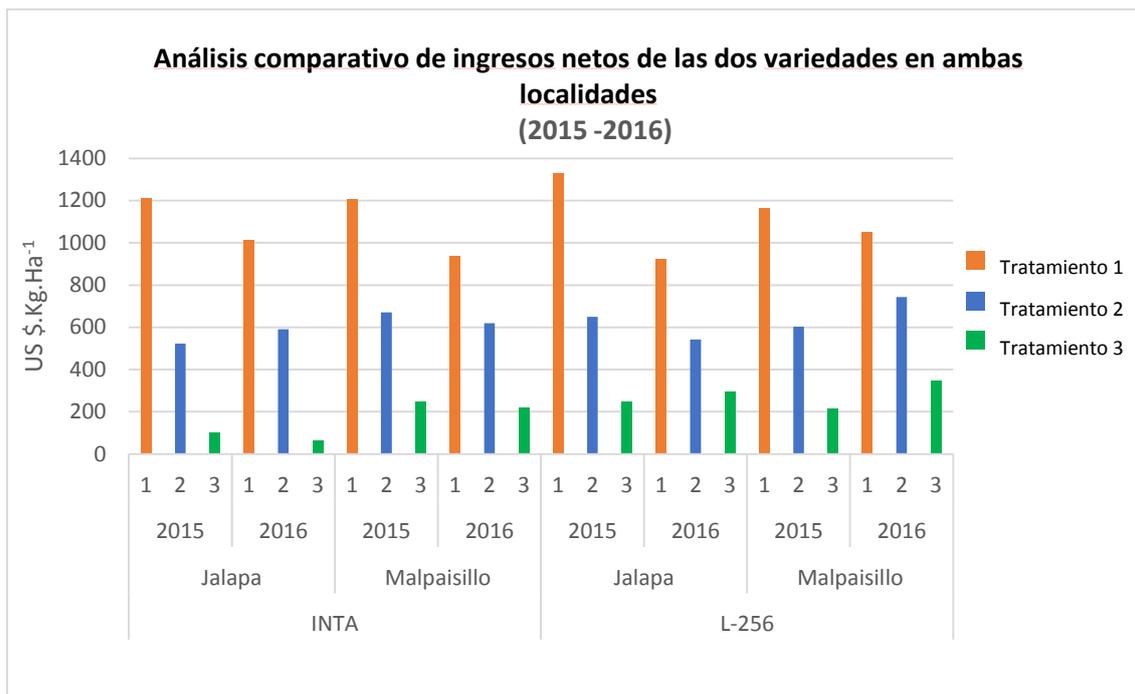


Figura 10. Grafico Comparativo de las dos variedades durante los dos años, al ser sometidas a los tres tratamientos de riego y manejo.

7.4 Discusión objetivo específico 2

Al analizar los ingresos en función del rendimiento, se encontró que las tendencias guardan relación con lo que sostiene Rodrigues (1996), en donde la cosecha de agua demostró ser una alternativa económicamente viable y rentable en comparación con todos los otros métodos tradicionales de manejo de cultivos en áreas secas.

Al manejar un costo de producción fijo por hectárea de US\$650, se asumió que el ingreso solo podía estar en función del rendimiento y del precio de venta percibido en la época de cosecha. Esta tendencia es correspondiente con la reportada por IRGA (2012), en donde al ser estables los costos, el costo de producción por kilogramo disminuye a medida que el rendimiento aumenta.

El tratamiento de riego con manejo sostenible generó los mayores ingresos en dólares por hectárea frente al manejo de secano tradicionalmente practicado por los agricultores, siendo consistente por lo reportado por IRGA (2012) en donde la rentabilidad del arroz de riego aumentó significativamente con la mejora tecnológica y la aplicación oportuna de las seis prácticas de manejo sostenible.

8.0 Conclusiones y Recomendaciones

La cosecha de agua lluvia para el riego de cultivos es una alternativa que cuando se combina con prácticas sostenibles de manejo de cultivo, tiene el potencial de elevar los rendimientos por hectárea hasta niveles competitivos. Al conjugar estas dos estrategias se pueden solucionar en gran medida los problemas de baja productividad del secano, la pobreza y la inseguridad alimentaria de Nicaragua, aprovechando el vasto potencial que ofrecen los recursos de agua de escorrentía que se caen durante la temporada lluviosa.

Para lograr una producción arrocerá sostenible, se deben implementar en los campos una serie de prácticas de manejo que demostraron en este experimento tener un marcado impacto en la expresión de los potenciales de rendimiento de las variedades modernas que en muchas ocasiones no se evidencia debido a falencias de los agricultores derivadas de prácticas ineficientes. El manejo sostenible inicia con una preparación anticipada de terrenos en condiciones de suelo seco en donde se facilita la descomposición de la materia orgánica proveniente de los residuos de cosecha en condiciones aeróbicas, condición que disminuye los niveles de emisión de gas metano. La disminución de la cantidad de semilla por hectárea hasta lograr poblaciones entre 250 a 300 plantas por metro cuadrado, facilita un óptimo desarrollo y mejor sanidad de las plantas que a su vez aprovechan mejor la radiación solar percibida por el dosel. El tratamiento de semillas con productos selectivos a fauna benéfica mejora la capacidad de la planta para repeler el ataque temprano de insectos comedores del follaje, lo que elimina la aplicación profiláctica de insecticidas que contaminan el suelo y las aguas y disminuyen la inocuidad del producto final.

En esta tesis se evaluaron los rendimientos anuales de dos variedades de arroz durante dos años en dos localidades de Nicaragua que fueron transformadas al riego mediante la cosecha de agua lluvia y manejadas con prácticas agronómicas sostenibles, en comparación con los sistemas tradicionales de producción de arroz seco. Al analizar el comportamiento de las variedades a tres tratamientos de riego y manejo de cultivo se pudo inferir que al utilizar tanto el riego completo durante la temporada seca como el riego suplementario durante la temporada lluviosa en donde los agricultores siembra la cosecha de secano, se incrementaron significativamente los rendimientos por hectárea en comparación con los sistemas tradicionales de producción de arroz de secano.

Esta información es útil para tomadores de decisiones encargados de la transferencia de tecnologías sostenibles para adaptación de la agricultura familiar ante el cambio

climático, ya que se demostró que este tipo de inversión rural estratégica permite no solo la diversificación con otros cultivos y permite aumentar la productividad del arroz hasta niveles rentables.

La cosecha de agua lluvia en reservorios de terraplén demostró además ser una alternativa sostenible y económicamente viable para expandir el riego renovable a nivel de pequeños agricultores en áreas secas de Centroamérica. Sin embargo, dicha expansión a escala comercial implica fortalecer el entrenamiento y la capacitación de los programas nacionales de extensión rural, en el uso adecuado de estas tecnologías sostenibles. Estos sistemas de cosecha de agua a pequeña escala no deben ser confundidos con grandes infraestructuras o distritos, ni tampoco puede ser comparado con construcciones de obras sobre ríos y quebradas que frecuentemente no pueden ser mantenidas y que además generan grandes impactos al medio ambiente. Los sistemas evaluados están ubicados en sitios anteriormente usados para la producción de cultivos o potreros aislados, que no ponen en riesgo para nada la seguridad pública ni medio ambiental del predio, además fue muy evidente que participación del productor es vital para el diseño, manejo y la apropiada ubicación de la obra. Sin embargo, somos conscientes que este tipo de infraestructuras requieren atención en cuanto a su ubicación y construcción, razón por la cual siempre se involucró a las autoridades ambientales en cada uno de los procesos de transición al riego.

Si bien se demostró que la tecnología funciona, cabe recomendar que la factibilidad de expansión de este tipo de sistemas de aprovechamiento sostenible de recursos renovables de agua, dependerá en gran medida del acceso que tengan los productores a recursos financieros para inversión en infraestructura rural estratégica. Los bancos y entidades de crédito rural están conscientes de que el acceso al riego, disminuye el riesgo financiero de los sistemas productivos, y que al mejorar la productividad habrá más garantías para el pago oportuno de los créditos.

9.0 Bibliografía

- Abrol, Y & Gadgil, S, 1999. Rice in a variable climate. ISBN: 81-86580. APC Publication. New Delhi. India
- Adger, W.N., 2003. Social Capital, collective action, and adaptation to climate change. *Econ. Geogr.* 79, 387-404
- Alexandratos, N., Bruinsma, J. 2012. World Agriculture towards 2030/2050. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO). The 2012 Revision. ESA Working paper No. 12-03. Roma.
- Baiphethi, M.N et al; 2009. Reducing Poverty and Food Insecurity by applying infield rainwater harvesting (IRWH). How rural institutions made a difference. *African Journal of Agricultural Research*; Vol.4, No 12, pp 1358-1363.
- Barron, J., 2009. Rainwater harvesting: A lifeline for human wellbeing, Sweden. UNEP.
- CEPAL México, 2009. Indicadores sociales básicos de la Subregión Norte de América Latina y el Caribe. <http://www.eclac.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/7/38107/P38107.xml&xsl=/mexico/tpl/p9f.xsl&base=/mexico/tpl/top-bottom.xsl>
- Cicerone, R.J., Delwiche, C.C., Tyler, S C. and Zimmerman, P.R., 1992, "Methane emissions from California rice paddies with varied treatments." *Global Biogeochem* 6, 233-248.
- De Datta, S, 1981. Principles and Practices of Rice Production. International Rice Research Institute. Los Baños. Filipinas
- De Fraiture C; 2007. Integrated water and food analysis ay the global and basin level. *Water Resour Manage* 21(1):185-198
- Diaz, A., Gebler, L., Maia, L., Medina, L., Trelles, S. 2017. Buenas prácticas agrícolas para una agricultura más resiliente..Embrapa. ISBN: 978-92-9248-697-6. San José de Costa Rica.
- Dobberman, A. Faihurst, T. 2000. Rice Nutrient disorders & Nutrient Management. Rice
- Ecosystems Chapter, International Rice Research Institute and Potash & Phosphate Institute. Canada. P.6-10
- Food and Agriculture Organization FAO, 2009. Global Agriculture Towards 2050. Rome

- Feder, G., Just, R.E., Zilberman, D., 1985. Adoption of agricultural innovations in developing countries: a survey. *Econ. Dev. Cult. Change* 33, 255-298.
- Fondo latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR). 2014. Plan Estratégico Operativo del FLAR 2014-2018. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Palmira, Colombia.
- Garnett, T., Appleby, M., Balmford, A., 2013. Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. *Science* 341, 33-34. Oxford University. United Kingdom
- Gleick, P.H., 1998. Water in crisis: Paths to sustainable water use. *Ecol. Appl.* 8, 571-579. Doi:101890/1051-0761: WICPTS
- Global Rice Science Partnership (GRISP), 2013. Fourth Edition Rice Almanac. Source book for one of the most important economic activities on earth. International Rice Research Institute (IRRI). . ISBN: 978-971-22-0300-8. Manila, Filipinas.
- Hagos, F; Yohannes, M; 2006. Micro water harvesting for climate change mitigation. Tradeoff between health and poverty reduction in Northern Ethiopia.
- Informe sobre temas hídricos; 2000. Water reports. Irrigation in Latin America and the Caribbean in figures. Food and Agriculture Organization (FAO). ISSN 1020-1203
- Instituto Rio Grandense do Arroz, 2013. Management strategies to increase productivity and sustainability of irrigated rice growth in the state of Rio Grande do Sul, Brazil: Developments and New Challenges. ISBN: 978-85-65970-02-0. Porto Alegre, Brasil.
- Kreft, S; Eckstein, D. 2013 Global Climate Risk Index. ISBN- 978-3-943704-14-3. Hanover.
- Lobell, D & Cassman, K; 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes and causes. *Annual review of environmental resources* 34, 179-204
- Ministerio Agropecuario y Forestal de Nicaragua (MAGFOR).2012 Evaluación del estado actual de la fertilidad de los suelos para la recomendación de alternativas de manejo sostenible de los suelos en las fincas de pequeños y medianos productores en el occidente del país. Guía técnica del estado actual de suelos agrícolas en el occidente de Nicaragua. Managua, Nicaragua.
- Mueller N.D, et al .2012. Closing yield gaps through nutrient and management. *Nature* 490(7419):254-257

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2012. El estado de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. ISBN: 978-9992-5-306614-8. Ediciones Mundi-prensa. Madrid España
- Oweis, T & Hachum, A; 2004. Water Harvesting and Supplemental Irrigation for Improved Water Productivity of Dry Farming System in West Asia and North Africa. International Center for Agricultural Research. Published on www.cropscience.org.au. Aleppo, Siria.
- Peralta Rodriguez, O., Carrazón Alocén, J., Zelaya Elvir, C.A. 2012. Buenas prácticas para la seguridad alimentaria y la gestión del riesgo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).p.53
- Prinz D, Singh A., 2006.Technological Potential for Improvements in Water Harvesting. World commission of dams. Assessment of irrigation options Review IV.
- Pulver, E; Jaramillo, S; Moreira, S; Zorrilla, G. 2012. Transformation from upland to irrigated agriculture through use of water harvesting in Nicaragua, Mexico and Costa Rica.
- Pulver, E. Jaramillo, S. 2015. Manual de Cosecha de Agua Lluvia con Fines Productivos. ISBN: 978-958-694-148-8.
- Lancaster, B. 2013. Rainwater Harvesting for dry lands and beyond.Volume 1, 2nd edition Guiding principles to welcome rain into your life and landscape. ISBN: 978-0-9772464-3-4. Tucson, Arizona. Estados Unidos
- Ray, D; Müller, N; West, P. 2013. Yield Trends are insufficient to double global crop by 2050. Institute on the Environment (IonE). University of Minnesota.
- Rodrigues, A., 1996. Sustainability and economic viability of cereals grown under
- Alternative treatment of water harvesting in highland Balochistan, Pakistan. Journal of Sustainable Agriculture 3: 305-315.
- Tilman D and Zacks DPM; 2011. Solutions for a cultivated plant, Nature doi: 10.1038/nature10452
- Shively, G., Pagiola, S. 2004. Agricultural intensification, local labor markets, and deforestation in the Phillipines. Environ. Dev. Econ. 9, 241-266.
- Smith, P., 2012. Delivering food security without increasing pressure no land. Glob. Food Secur. 2, 18-23

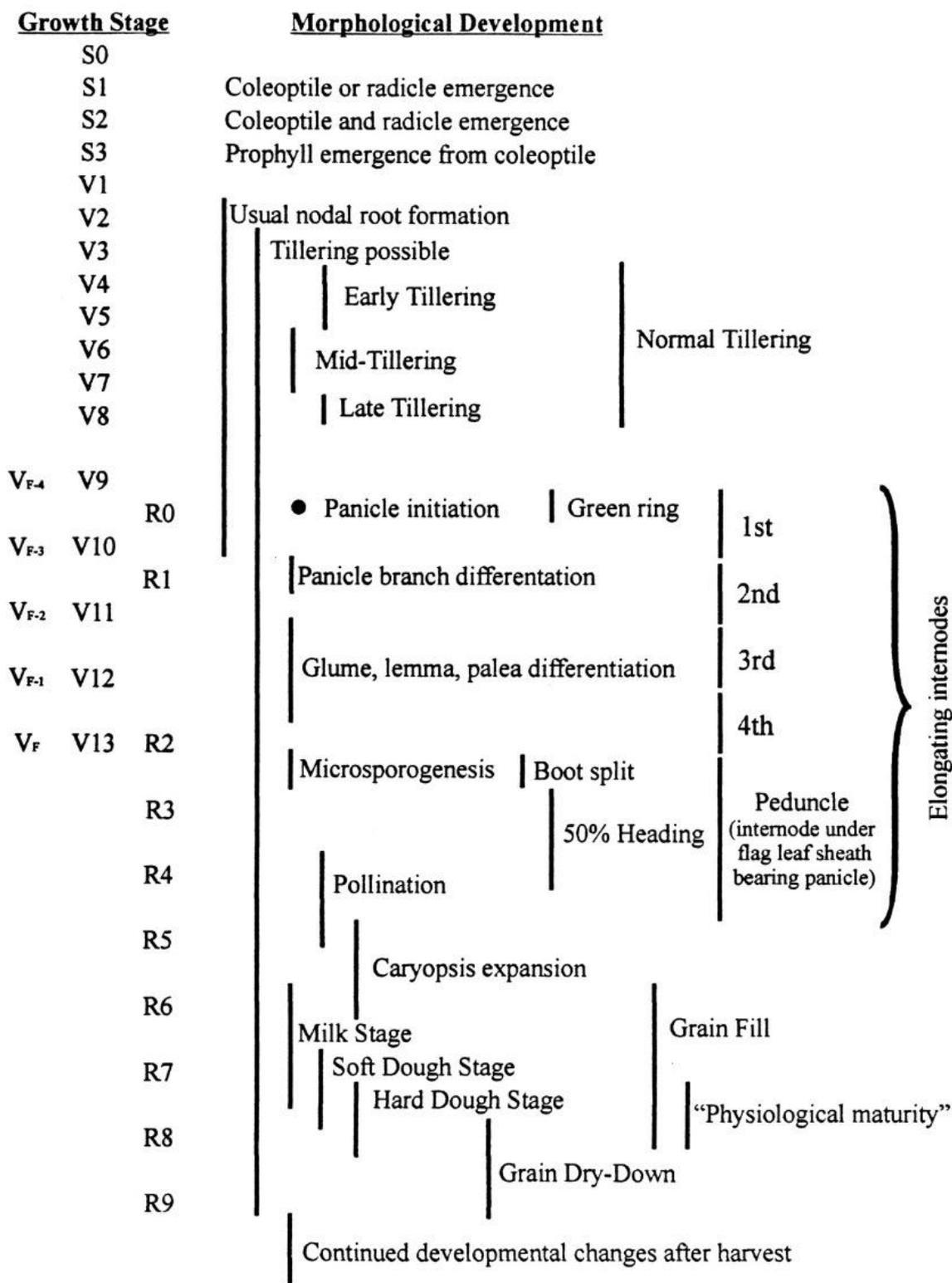
- Tilman D, Balzer C, Hill J, Befort BL; 2011. Global Food Demand and the sustainable intensification of agriculture. Proc Natl Acad Sci USA 108: 20260-20264
- United Nations, 2008. World Population Prospects: the 2008 Revision Population Database. United Nations New York.
- Van der Zee Arias. Meyrat, A., Poveda, C., Picado, L. 2012. Estudio de la caracterización del Corredor Seco Centroamericano. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).p. 122
- Wallace, J., (2000) Increasing Agricultural Water Use efficiency to meet future food production. Agric. Ecosyst. Environ. 82, 105-119
- World Bank, 2008. World Development Report 2008: Agriculture for development. World Bank, Washington, DC
- Yoshikawa S, Cho J, Hanasaki N, Kanae S (2013) An assessment of global net irrigation water requirements from various water supply sources to sustain irrigation: Rivera and reservoirs (1960-2000 and 2050). Hydrol Earth Syst Sci Discuss 10(1):1251-1288

10. Anexos

Anexo A. Objetivos del Desarrollo Sostenible



RICE DEVELOPMENTAL TIME LINE



Anexo C. Producción y demanda global del arroz

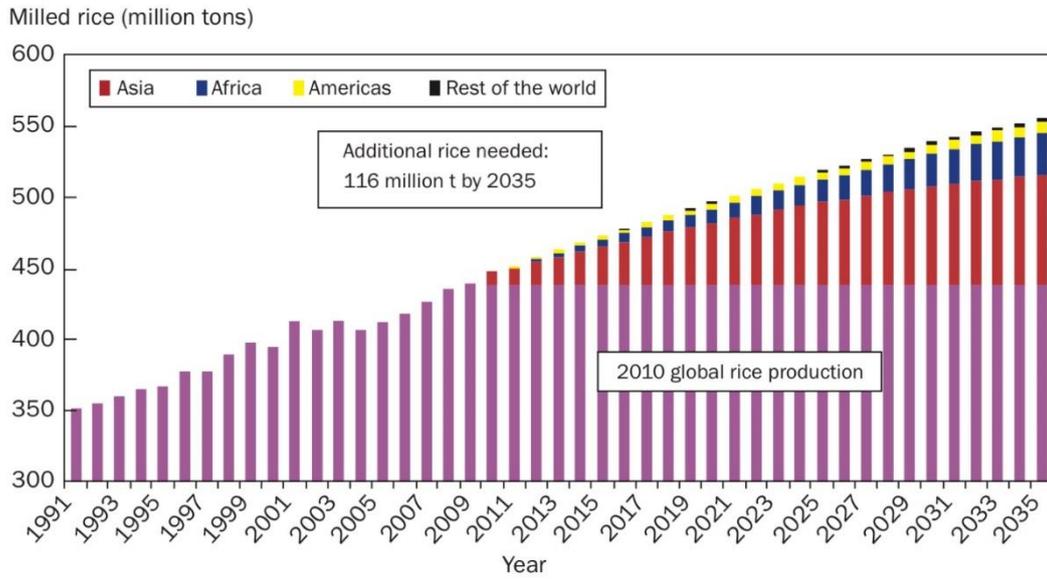


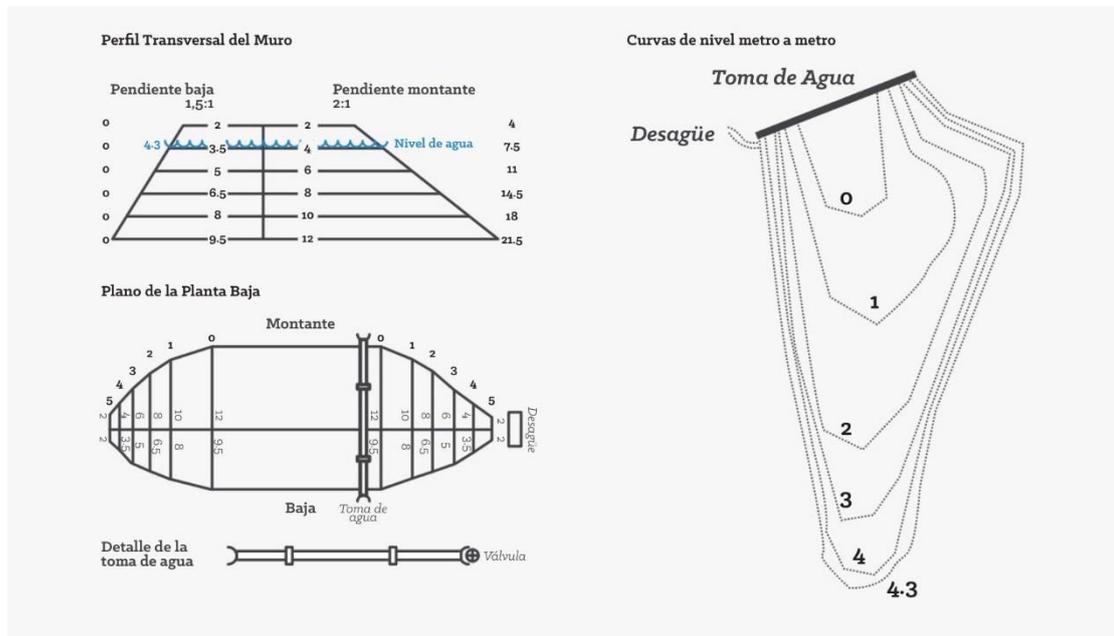
Fig. 4.2. Global rice production increases needed to meet demand by 2035.

Anexo F. Recursos Renovables de agua lluvia en Centroamérica en comparación con Asia

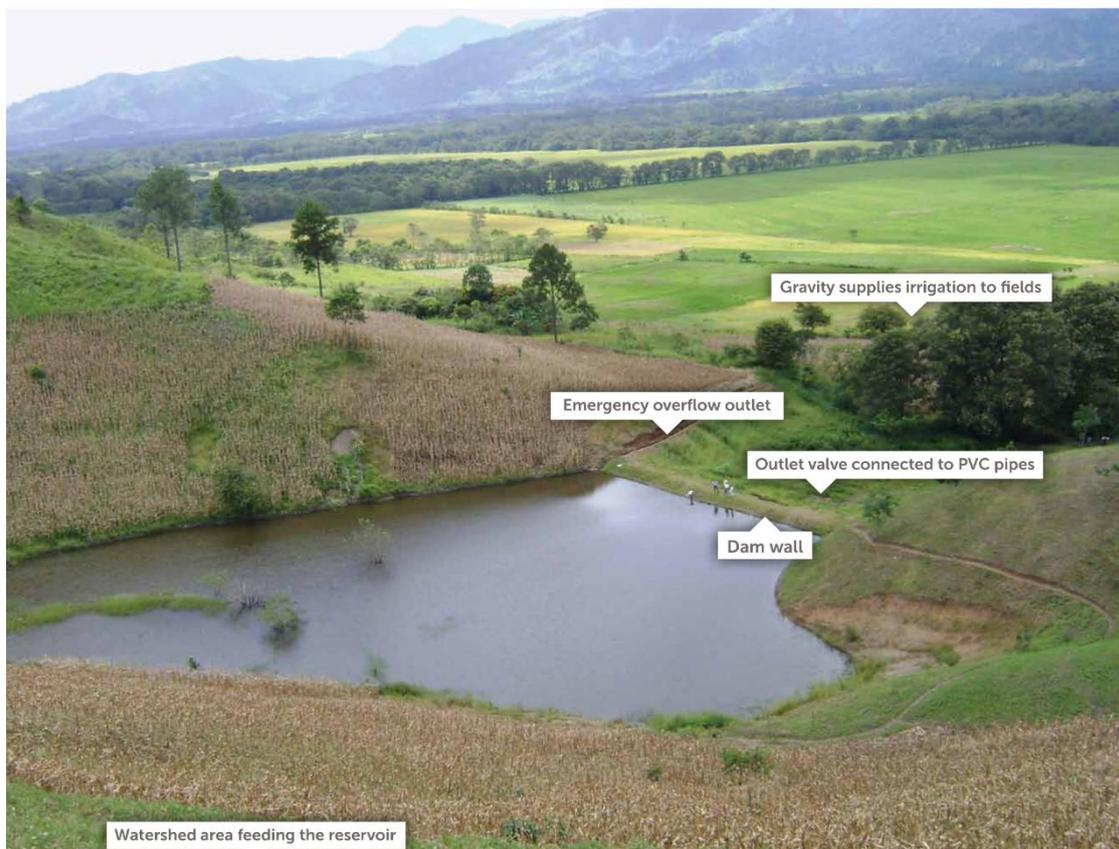
Country	Water resources: total renewable (actual) (km ³ /year)	Surface water: produced internally (km ³ /year)	Water resources: total renewable (actual) (m ³ /capita/year) (2000)
Central American Countries and Mexico			
Costa Rica	112	75	27 932
Honduras	95	86	14 949
Mexico	409	361	4 634
Nicaragua	196	185	38 787
Panama	148	144	51 814
South American Countries			
Argentina	814	276	21 981
Brazil	8 233	5 418	48 314
Colombia	2 132	2 112	50 635
Ecuador	432	432	34 161
Paraguay	336	41	61 135
Peru	1 913	1 616	74 546
Uruguay	139	59	41 654
Major Rice Countries in Asia			
Bangladesh	1 210	83	8 809
China	2 829	2 711	2 258
India	1 896	1 222	1 880
Indonesia	2 838	2 793	13 381
Philippines	479	444	6 332

Source: FAO Aquastat 2000: Renewable water resources in the world by country.

Anexo G. Diseño del perfil transversal, planta baja y curvas de nivel de un reservorio para cosecha de agua



Anexo H. Componentes de un sistema de cosecha de agua lluvia



Note: Cell sizes are not equal.

Number of Means 2 3
Critical Range 383.8 403.4

Means with the same letter
are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	TRAT
A	7568.7	20	1
B	4306.6	20	2
C	2948.8	19	3

Number of Means 2 3
Critical Range 454.7 477.9

Means with the same letter
are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	TRAT
A	7900.2	20	1
B	4236.3	20	2
C	3044.6	20	3

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOC*TRAT	2	2563991.4	1281995.7	2.57	0.0920
LINEA*TRAT	2	123447.6	61723.8	0.12	0.8839
LOC*LINEA*TRAT	2	3951003.8	1975501.9	3.97	0.0289

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for LOC*REP as an Error Term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOC	1	7268.803	7268.803	0.02	0.8861
REP	4	2032649.243	508162.311	1.63	0.3239

Tests of Hypotheses Using the Type III MS for LOC*LINEA*REP as an Error Term

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LINEA	1	131826.5627	131826.5627	0.22	0.6552
LOC*LINEA	1	444792.6000	444792.6000	0.73	0.4191