

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Agronomía



**Determinación de la Norma Total de Riego Neta en el cultivo de
arroz (*Oryza sativa* L.) para 2 tipos de nivelación del suelo en el
“Sur del Jíbaro”**

Tesis para aspirar al título de Ingeniero Agrónomo

Autor: Israel Alvarez Carbonell

Tutor: Dr. C. Ricardo Dueñas García

Santa Clara, 2017

Pensamiento

¿Y por qué hay que ahorrar agua? No solo porque la necesitamos en la agricultura (...) sino como un arma contra las crecientes sequías del país...

Fidel Castro Ruz

Agradecimientos

A MI MAMÁ: Por ser mi espejo, por su confianza, por guiarme en los momentos más importantes, por su amor infinito

A MI PAPÁ: Por ser amigo, cómplice y mi maestro de vida

A MI HERMANA: Por estar siempre conmigo y darme esos sobrinos maravillosos

A MI FAMILIA: Por ser la mejor del mundo y a quienes les debo todo lo que soy y lo que hago

A MIS ABUELOS: Que me enseñaron lo que estaba bien y lo que no, por ser mis segundas madres y mis segundos padres, los quiero

A MI PAREJA: Por su apoyo incondicional, dedicación y compromiso, por tener el mérito de hacerme una mejor persona.

A MI TUTOR: Quien a pesar de sus ocupaciones siempre estuvo dispuesto a brindarme su conocimiento

A TODOS MIS PROFESORES: A quienes admiro y respeto

A MIS AMIGOS: A los de aquí y a los de La Sierpe, a los jóvenes y no tan jóvenes

A MIS COMPAÑEROS DE AULA: Por haber formado parte de mi vida durante 5 años y en especial a Orlexis

A TODOS LOS QUE CONFIARON EN MI

Muchas Gracias

Resumen

La investigación se realizó en el CAI "Sur del Jíbaro", municipio La Sierpe, provincia Sancti Spíritus, con el objetivo de comparar las normas totales de riego netas empleadas por unidad de área en dos campos arroceros con diferentes tecnologías de nivelación: equipamiento láser y tradicional con fangueo. La experimentación se llevó a cabo en condiciones de producción, utilizando el cultivar *Selección 1*, evaluándose índices morfológicos, rendimiento agrícola y sus componentes y efecto económico. Para cuantificar los volúmenes de agua en cada variante, se utilizó un vertedero trapezoidal ubicado en la entrada inicial del canal terciario. Los resultados mostraron que se empleó un volumen mayor de agua en la variante tradicional de 15497,52 m³ ha⁻¹, mientras que fue de 7305 m³ ha⁻¹ en la variante nivelada con láser. Los rendimientos obtenidos por variantes fueron de 4,9 y 8,1 t ha⁻¹ respectivamente. Se obtuvo un ahorro de agua de 8192,52 m³ ha⁻¹, con el cual se puede alcanzar en función del área adicional una producción de 9,07 t, llegando a un valor de 37464,54 CUP. La variante con láser fue la que menor costo de agua alcanzó, consiguiéndose un ahorro de aproximadamente 40 pesos t⁻¹. De forma general se manifiesta factible el empleo de la nivelación con equipamiento láser para lograr un ahorro eficiente y sostenible en el uso del agua, aumentar los rendimientos, una lámina de agua uniforme, mejor germinación y densidad de plantas, mayor homogeneidad de madurez, disminución de arvenses y un aumento de la superficie cultivable.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
<u>2.1 Origen, distribución e importancia del cultivo del arroz</u>	4
<u>2.2 Morfología</u>	5
<u>2.3 Fenología</u>	6
<u>2.4 Requerimientos Agroecológicos</u>	7
<u>2.4.1 Temperatura</u>	7
<u>2.4.2 Suelos</u>	8
<u>2.4.3 Humedad</u>	8
<u>2.5 Aspectos agrotécnicos</u>	8
<u>2.5.1 Preparación de suelos</u>	8
<u>2.5.2 Época de siembra</u>	9
<u>2.5.3 Siembra</u>	9
<u>2.5.4 Marco de siembra</u>	9
<u>2.5.5 Fertilización</u>	10
<u>2.5.6 Riego</u>	10
<u>2.5.7 Cosecha</u>	10
<u>2.6 Importancia del agua en el cultivo del arroz</u>	11
<u>2.7 Régimen de riego o Manejo del agua en el cultivo del arroz</u>	12
<u>2.8 Determinación de la Norma Total de Riego en el cultivo del arroz</u>	13
<u>2.9 Balance hídrico en una unidad agrícola arrocerá</u>	14
<u>2.10 Técnicas de riego por inundación en el cultivo del arroz</u>	15
<u>2.11 Situación de los sistemas de riego en arroz en Cuba</u>	16
<u>2.12 Nivelación de las terrazas</u>	16
<u>2.13 Aprovechamiento de las lluvias</u>	18
<u>2.14 Altura de lámina de agua</u>	19
<u>2.14.1 Lámina de agua necesaria en la terraza</u>	19
<u>2.15 Hidrometría</u>	20
3. MATERIALES Y MÉTODOS	21
<u>3.1 Norma total de riego neta empleada por unidad de área en cada variante estudiada</u>	22
<u>3.2 Índices morfológicos y componentes del rendimiento agrícola en cada variante estudiada</u>	24
<u>3.3 Efecto económico a partir del ahorro del agua en cada variante estudiada</u>	26
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
<u>4.1 Norma total de riego neta empleada por unidad de área en cada variante estudiada</u>	27
<u>4.2 Índices morfológicos y componentes del rendimiento agrícola en cada variante estudiada</u>	32
<u>4.3 Efecto económico a partir del ahorro del agua en cada variante estudiada</u>	38
V. CONCLUSIONES	43
VI. RECOMENDACIONES	44
VII. BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

1. Introducción

A nivel mundial, el arroz (*Oryza sativa* L.) constituye uno de los productos más importante desde el punto de vista de la alimentación. Se estima que para el 2030 el mundo requerirá duplicar el monto de toneladas de arroz producidas de forma adicional para suplir la demanda, sin embargo, dicha producción se ve limitada fundamentalmente por déficit de agua.

América Latina, por su parte, posee el 8.4% de la población mundial, el 15.4% de las tierras agrícolas y el 25.4% de los recursos renovables de agua (FAOSTAT, 2004). Ante esto, la demanda potencial del cereal constituye una gran oportunidad para esta región y, por lo tanto, se hace necesario que todos los esfuerzos investigativos deban estar dirigidos a aumentar el potencial productivo de un alimento clave para la humanidad.

En Cuba, actualmente resulta de vital importancia el cultivo y cosecha del arroz, pues forma parte de la dieta básica diaria constituyendo el componente principal y generalmente más abundante, con un índice anual de consumo de más de 70 kg por habitante y una demanda anual a nivel nacional de 700 mil toneladas. Siendo la población cubana de 11 239 004 de habitantes¹; sólo se llega a producir cerca del 45% de las necesidades, por lo que se hace necesario las importaciones del mismo.

Para su cultivo, nuestro país planifica una norma bruta de 18 a 20 mil m³ ha⁻¹ de agua, el cual tiene un alto índice de consumo por tonelada de arroz producido, siendo este cultivo el mayor consumidor de este preciado líquido. Se requiere entonces, crecer en la producción hasta alcanzar el autoabastecimiento, a través del incremento del rendimiento y de las siembras, lo cual demanda, de cuantiosas inversiones en infraestructura, equipos e insumos y trabajar bajo las

¹ ONEI: Estudios y Datos de la Población Cubana al 31/12/2015

premisas de eficiencia y ahorro de agua, como principal insumo de la producción arroceras.

Por lo tanto, las necesidades planteadas en la importación de arroz y su alto valor en divisas, indican la importancia de este cereal en la estrategia agropecuaria de la nación. Como se conoce para la producción de arroz, el agua es uno de los componentes principales; por ende; es obvio que corresponde como acción de primer orden lograr el máximo aprovechamiento del agua existente. De esta forma, la eficiencia en el uso del agua en el cultivo del arroz va a depender de la calidad de los sistemas de riego y drenaje; de la calidad de la nivelación y la preparación del suelo; de los cultivares; del manejo integral del cultivo; del comportamiento y aprovechamiento de las lluvias; de la capacidad de embalses y por supuesto de la disponibilidad, calidad y manejo del agua.

En este sentido, la presente tesis se enmarca en el Complejo Agroindustrial (CAI) “Sur del Jíbaro”, Municipio de La Sierpe perteneciente a la provincia de Sancti Spíritus, el cual se ajusta a la necesidad de búsquedas de alternativas para atenuar la anterior situación.

La economía sierpense se basa fundamentalmente en la agricultura, y dentro de ella se destaca la producción de arroz, renglón que lo identifica a nivel nacional. En los últimos años el bajo nivel de almacenamiento en la presa Zaza (11% actual de la capacidad total de 1020 millones de m³)², principal embalse abastecedor de dicha empresa, acorta los ritmos productivos del cereal, al punto de que los estimados de cosecha reflejan una disminución debido a no poder sembrarse toda el área planificada.

Al respecto se propone el siguiente **problema de investigación**: “la norma total en el cultivo del arroz en el CAI “Sur del Jíbaro” es muy alta y los volúmenes de

² Prensa Escambray (18/5/2017)

agua disponibles son escasos, por lo que se hace necesario implementar alternativas que permitan la economía o ahorro del agua empleada.”

La idea de dar solución a la problemática anterior surge por una **necesidad** social, ambiental y económica inminente. *Social*, por la alta demanda del cultivo para el consumo humano, además de que resulta el principal ingreso financiero y de bienestar social de una buena parte de los productores agrícolas del territorio investigado; *Ambiental*, pues el agua es un recurso natural renovable, pero escaso y constituye un factor fundamental para el desarrollo productivo, de ahí la importancia de lograr la máxima eficiencia en sus usos y destinos y; *Económica*, por los ingresos que se determinan debido a un alto o bajo rendimiento del arroz.

La mayor parte del incremento en la producción de granos deberá producirse a partir del impulso de las nuevas tecnologías, pues es conocido que estas serán de gran necesidad para producir mayor cantidad de arroz en menor área, con menos agua y plaguicidas (IRRI, 2002).

Se parte entonces, de la **hipótesis**: Perfeccionando la tecnología de nivelación se podrá alcanzar una disminución significativa de la norma total de riego neta con un incremento de los rendimientos agrícolas del cultivo.

Como **objetivo general** se asume: Comparar las normas totales de riego netas empleadas por unidad de área en dos campos arroceros con diferentes tecnologías de nivelación.

Se trazaron los siguientes **objetivos específicos**:

1. Determinar la norma total de riego neta empleada por unidad de área en cada variante estudiada.
2. Evaluar índices morfológicos y componentes del rendimiento agrícola en cada variante estudiada.
3. Determinar el efecto económico a partir del ahorro del agua en cada variante estudiada.

2. Revisión bibliográfica

2.1 Origen, distribución geográfica e importancia del cultivo del arroz

El género *Oryza*, al cual pertenecen las especies cultivadas de arroz, se originó probablemente hace unos 130 millones de años como una maleza salvaje. Es un cultivo tropical y subtropical, cuya mayor producción a nivel mundial se concentra en los climas húmedos tropicales, puesto que las precipitaciones condicionan el sistema y las técnicas de cultivo, sobre todo cuando se cultivan en tierras altas, donde están más influenciadas por la variabilidad de las mismas (InfoAgro, 2012).

También se puede cultivar en las regiones húmedas de los subtrópicos y en climas templados. Su cultivo se extiende desde 49-50° de latitud norte a los 35° de latitud sur y desde el nivel del mar hasta los 2.500 m. de altitud.

En la actualidad el arroz se encuentra distribuido en todos los continentes excepto en la Antártida (Chang, 1976). Su cultivo alcanza los 148 millones de hectáreas, extensión equivalente al 11% de la tierra cultivable del planeta.

El crecimiento rápido de la población humana en los países consumidores de arroz constituye uno de los problemas alimenticios más urgentes a resolver y es una preocupación constante para los investigadores en interminable misión de obtener mejor producción (Castaño, 1998).

A pesar de su importancia como alimento, no se comercializa en grandes cantidades en el mercado mundial puesto que es utilizado por los países que más lo producen, quedando poco excedente para su comercialización (Martín y Socorro, 1989).

En Cuba el arroz se considera un alimento indispensable, lo que obliga a incrementar su rendimiento y producción en aras de satisfacer la demanda, con buena calidad y el logro de un precio accesible al consumidor, a la par de costos adecuados para el productor (Sanzo *et al.*, 2008).

2.2 Morfología

Oryza sativa L. es un cultivo que pertenece a la familia Gramínea (González, 1981, citado por Gómez, 1988). Originalmente el arroz se cultivaba en seco, pero con las mutaciones que tuvo se convirtió en una planta semiacuática (UNCTAD, 2006).

Puldón (2007) señala que, al caracterizarse la morfología general del arroz, se tiene que es una gramínea anual de tallos redondos y huecos, compuestos por nudos y entrenudos, hojas de láminas planas unidas al tallo por la vaina y su inflorescencia es una panícula. Su tamaño varía de 0.4 m (enanás) hasta más de 7.0 m (flotantes).

De forma particularizada, la morfología del arroz se estudia en dos etapas, la fase vegetativa (incluye los estadios de germinación, plántula, e inicio y pleno macollamiento) y la fase reproductiva (iniciación del primordio floral a emergencia de la panoja y emergencia de la panoja a madurez) (Olmos, 2007).

Para efectos de dicha descripción los órganos de la planta de arroz se han clasificado en dos grupos, órganos vegetativos (raíces, tallos y hojas) y órganos reproductores (flores y semillas).

Durante su desarrollo la planta emana dos clases de raíces: las seminales o temporales y las adventicias o permanentes. Las primeras son poco ramificadas, subsisten muy poco después de la germinación, pues son remplazadas por las raíces adventicias o secundarias, las cuales brotan de dos nudos subterráneos de los tallos jóvenes.

El tallo está formado por la alternación de nudos y entrenudos. En el nudo o región nodal se forma una hoja y una yema, esta última se ubica entre el nudo y la base de la vaina de la hoja y puede desarrollarse y formar una macolla (CIAT, 2010).

Las hojas de la planta de arroz se encuentran distribuidas en forma alterna o a lo largo del tallo. La primera hoja que aparece en la base del tallo principal o de las macollas se denomina prófalo, no tiene lámina y está constituida por dos brácteas aquilladas. Los bordes del prófalo aseguran por el dorso las macollas jóvenes a la original. En cada nudo se desarrolla una hoja, la superior debajo de la panícula es la hoja bandera, esta puede tomar diferentes posiciones dependiendo del ángulo de inserción y del cultivar.

En lo que se refiere a los órganos reproductores, las flores están agrupadas en una inflorescencia denominada panícula, la cual está situada sobre el nudo apical del tallo, denominado nudo ciliar, cuello o base de la panícula que frecuentemente tiene la forma de un aro ciliado (CIAT, 2005). Dicho nudo ciliar o base de la panícula generalmente carece de hojas y yemas, pero allí pueden originarse la primera o las cuatro primeras ramificaciones de la panícula, y se toma como punto de referencia para medir la longitud del tallo y la panícula.

La semilla, por su parte, es un ovario maduro, seco e indehiscente. Consta de la cáscara formada por el lema y la palia con sus estructuras asociadas, lemas estériles, la raquilla y la arista, el embrión situado en el lado ventral de la semilla cerca al lema y endospermo que provee alimento al embrión durante la germinación.

El fruto o grano del arroz, es una cariósida oblonga y comprimida lateralmente. Se compone del germen o embrión, que suele quedar eliminado en los primeros procesos de elaboración; el endospermo o reserva de almidón, en el interior del grano; y la cubierta que da el salvado, que es más o menos consistente según cómo se ha pulido el grano (Cuba, 2001).

2.3 Fenología

Según Olmos (2007) el rendimiento potencial del arroz se define primeramente antes de la emergencia de la panoja. El rendimiento definitivo (integrado de los tres componentes), es el que está basado en la cantidad de almidón que llena los granos de la panoja, y se determina en mayor medida luego de la

diferenciación de panoja. Esto es lo que determina la división agronómica de la historia del cultivo en términos de fase vegetativa, reproductiva y madurez, ya que un cultivar de 120 días pasa unos 55 - 60 días en la fase vegetativa, 30 días en la fase reproductiva, y 30 más en la fase de madurez.

La fase vegetativa se caracteriza por un activo macollamiento, un gradual incremento de la altura de las plantas, y la emergencia de las hojas a intervalos regulares. Los macollos que no desarrollan una panoja se llaman macollos infértiles. La fase reproductiva por su parte, se caracteriza por una disminución del número de macollos, la emergencia de la hoja bandera, el engrosamiento del tallo por el crecimiento interno de la panoja, la emergencia de la panoja (ocurre unos a 20-25 días luego de la diferenciación del primordio floral), y la floración (antesis) (Olmos, 2007).

El período de maduración de los granos varía entre 15 - 40 días dependiendo de la temperatura. Se inicia luego que el ovario ha sido fertilizado y el grano de arroz comienza a crecer. En este período además del tamaño el grano incrementa también su peso; y el almidón y azúcares se translocan desde las vainas, hoja bandera, y vástagos donde fueron acumulados en la fase vegetativa (Fontán, 2008).

2.4 Requerimientos Agroecológicos

2.4.1 Temperatura

Para que el cultivo de arroz tenga una mayor y mejor productividad, se requiere de temperaturas relativamente altas y de suficiente radiación solar, así como de un suministro de agua suficiente, durante toda la temporada de desarrollo del cultivo que varía de 3 a 5 meses. La temperatura, la radiación solar y la precipitación pluvial afectan directamente los procesos fisiológicos de la planta de arroz, que de una u otra manera inciden en la producción de grano e indirectamente inciden en la presencia de plagas y enfermedades del cultivo (SAG, 2003).

Según refiere González (2005), este cultivo requiere para germinar un mínimo de 10 a 13°C, considerándose su óptimo entre 30 a 35°C. Por encima de los 40°C no se produce germinación. El crecimiento del tallo, hojas y raíces tiene un mínimo de 7°C, considerándose su óptimo en los 23°C. Con temperaturas superiores a estas, las plantas crecen más rápidamente, pero los tejidos se hacen demasiado blandos, siendo más susceptibles a los ataques de enfermedades. El espigado está influenciado por la temperatura y por la disminución de la duración de los días.

2.4.2 Suelos

La textura del suelo juega un papel importante en el manejo del riego y de los fertilizantes. El cultivo de arroz requiere de suelos con alto contenido de arcilla (SAG, 2003), lo cual permite menos pérdidas por infiltración, causadas por las condiciones físicas y topográficas de los suelos, pues en el caso de suelo pesado o donde el nivel del agua freática está cerca de la superficie, las pérdidas son aproximadamente de 1 mm día⁻¹ o menos.

2.4.3 Humedad

Para obtener una producción aceptable, el arroz requiere de un mínimo de humedad en el suelo, es por eso que, si se tiene carencia de agua durante el desarrollo del cultivo, el rendimiento disminuye. Así en las zonas donde la precipitación pluvial no es suficiente y tampoco se dispone de agua para efectuar riegos de auxilio, se aconseja al productor que no siembre arroz pues los riesgos se incrementan. Se considera que una precipitación de unos 1,200 milímetros bien distribuidos durante el ciclo de cultivo es suficiente para la obtención de buenos rendimientos (SAG, 2003).

2.5 Aspectos agrotécnicos

2.5.1. Preparación de suelos

En la preparación del suelo es muy importante la nivelación y alisamiento,

garantizando de esta manera el crecimiento parejo de las plantas y el fácil control de malezas. También es importante levantar muros (diques) fuertes y bien compactados en las siembras en aniego para que la fuga de nutrientes y agua sea mínima. La preparación se puede hacer de diferentes formas en dependencia de la época de siembra: en seco, fanguero o seco-fanguero. El número de labores en la preparación no incrementa el rendimiento proporcionalmente, este depende del alisamiento y la nivelación. (Martín y Socorro, 1989; IIA, 2001 y Alemán *et al.*, 2008).

2.5.2 Época de siembra

En el caso de Cuba la época de siembra del arroz se extiende desde el mes de noviembre hasta julio y no existe ningún genotipo que presente igual comportamiento a lo largo de dicho lapso, por lo que se debe sembrar en cada momento el cultivar que mejor responda a ese ambiente. (Sanzo *et al.*, 2008)

2.5.3 Siembra

Existen dos tipos de siembra: la directa y por trasplante (Alemán *et al.*, 2008). La primera es cuando la semilla es depositada directamente en el suelo, la cual puede hacerse a chorrillo (con sembradora o manual) o a voleo (por avión o manual). Mientras que la segunda, es cuando se llevan al campo plántulas que crecieron en un semillero, pudiéndose realizar de diferentes formas como son al azar, en hileras y en SICA.

2.5.4 Marco de siembra

La densidad de siembra tiene como objetivo lograr de 300 a 400 espigas/m². Distancias de siembra de 0.30 m x 0.15 m en hileras ofrecen mayores ventajas para el control de malezas. Los agricultores en Cuba que siembran por trasplante, lo hacen a una distancia aproximada de 25 cm x 25 cm (Alemán *et al.*, 2008).

En las siembras a voleo el consumo de semillas es mayor, pues para lograr la

densidad de siembra óptima se debe garantizar 150 plantas/m², por lo que el consumo de semillas será entre 90 - 120 kg ha⁻¹ (IIA, 2002).

2.5.5 Fertilización

Según Sanzo *et al.* (2008), para la nutrición del arroz resultan necesarios 16 elementos esenciales. Tradicionalmente el arroz se fertiliza con nitrógeno, fósforo y potasio, aunque de ser necesario se le puede aplicar zinc (Zn), azufre (S), calcio (Ca), hierro (Fe) u otro elemento muy específico.

No obstante, Sánchez y Socorro (2008) declaran que la cantidad de fertilizantes a aplicar estará en dependencia de factores como la época de siembra, el ciclo del cultivar y el tipo de suelo.

2.5.6 Riego

Según la disponibilidad y tipo de agua a utilizar, las áreas cultivadas de arroz se clasifican de diferentes modos: secano (si el riego depende exclusivamente del agua de lluvia), secano favorecido (cuando se dispone de un complemento de agua para el riego en etapas en que la lluvia resulta insuficiente) y aniego (en el caso de ser posible garantizar la irrigación durante el ciclo total del arroz) (Sanzo *et al.*, 2008).

Las necesidades de agua del cultivo de arroz se estiman entre 800 mm y 1 240 mm aproximadamente. Los períodos de mayor demanda de humedad son el establecimiento de las plantas, el macollamiento y desde la diferenciación hasta el llenado del grano. Deficiencias en el riego durante las etapas de establecimiento y macollamiento pueden incidir sobre el número de hijos por planta (Infoagro, 2012).

2.5.7 Cosecha

El momento de efectuar la cosecha puede determinarse al observar los granos maduros en las panículas (espigas). Un área puede estar lista para la cosecha cuando unas ⁴/₅ partes de las panículas toman color amarillo-carmelita y los

granos en las partes más bajas están en la etapa duro. También puede realizarse la cosecha entre los 28 y 34 días después de la paniculación, cuando se trata de una campaña de seca y entre 34 y 38, para una de primavera (Sanzo *et al.*, 2008).

2.6 Importancia del agua en el cultivo del arroz

El agua es un recurso natural renovable, pero escaso y constituye un factor fundamental para el desarrollo, porque prácticamente participa en todas las actividades de la vida humana, de ahí la importancia de lograr la máxima eficiencia en sus usos y destinos. Se considera al agua como uno de los componentes más importantes para la producción de arroz, porque decide el carácter físico de las plantas, el nivel de nutrientes en el suelo y la naturaleza y amplitud del crecimiento de las malezas, dependiendo el rendimiento en granos de la interacción de estos efectos (Meneses, 2008).

Según Dueñas (2015), el tiempo de duración del manejo del agua (días con riego) según los ciclos y épocas, demuestra que el riego es la actividad más importante en el manejo agrotécnico del cultivo. La interacción entre el carácter físico de las plantas, el nivel de nutrientes, comportamiento de las malezas, todas dependientes del agua; es compleja y está condicionada por el ambiente microclimático local, el suelo y las prácticas de manejo del cultivo y específicamente del agua, con notable influencia de manera general sobre el rendimiento, el crecimiento de las plantas, las necesidades de agua y su manejo, las necesidades de fertilizantes, el control de malas hierbas, plagas y enfermedades y sustancias tóxicas del suelo .

Los efectos más generales de esta interacción son:

- Rendimiento: Las investigaciones han demostrado que existe un potencial de rendimiento máximo cuando se mantiene el suelo en condiciones de inundación o saturación. Una condición básica para el rendimiento, es que el suelo esté inundado o saturado desde el cambio de primordio; hasta el llenado de los granos.

- Altura: está directamente relacionada con el espesor de la lámina de agua y aumenta cuando también lo hace la lámina. Se acepta que aumentando la lámina se realiza un mejor control de las malas hierbas, pero cuando es muy alta daña a las plantas impidiendo su desarrollo.
- Ahijamiento: Tiene una relación inversa con la altura de la lámina de agua y los hijos aumentan al disminuir la lámina, pero una sequía extrema reduce el número de los mismos.
- Acamado: la resistencia al acame disminuye al aumentar la altura de las plantas y por tanto con el incremento de la lámina de agua; el aumento de la altura no constituye problemas cuando se cultivan variedades resistentes al acame.

2.7 Régimen de riego del arroz o Manejo del agua en el cultivo del arroz

Por sus particularidades fisiológicas, el cultivo del arroz, casi siempre exige un Régimen de Riego o Manejo del agua diferente a los demás cultivos, ya que durante mucho tiempo de su ciclo vegetativo se mantiene bajo una lámina de agua. Además, por limitaciones en la cantidad de agua disponible u otras razones el manejo del agua se varía convenientemente (Dueñas, 1976).

Es la inundación con una lámina de agua la labor de mayor duración en el cultivo y su permanencia está muy relacionada al efecto del agua sobre la agrotecnia y el rendimiento del arroz. Muchos de los principios técnicos empleados en el manejo del agua en el cultivo del arroz en Cuba, corresponden a resultados de la Investigación (Instituto Internacional del Arroz, IRRI e Instituciones cubanas) y también de la experiencia productiva de las empresas arroceras, los cuales se analizan integralmente y como resultado de ello se indica las consecuencias prácticas con las recomendaciones técnicas más apropiadas a la eficiencia productiva del cultivo.

Las conclusiones más importantes de los resultados alcanzados por investigaciones precedentes para el manejo del agua en las condiciones de nuestro país, se relacionan con: la altura de la lámina de agua; periodo crítico de

la falta de agua; la relación directa entre la falta de agua durante la fase vegetativa y el alargamiento del ciclo; así como la eficiencia del agua y su consumo (Dueñas, 2015).

La aplicación del agua en el cultivo del arroz se emplea con tres propósitos fundamentales: satisfacer necesidades de evapotranspiración; pérdidas por fugas y percolación y para prácticas de manejo del cultivo: preparación de suelo (fangueo) y los drenaje y reposición de la lámina de agua.

Se reporta en la literatura que en investigaciones realizadas en campos arcillosos preparados en fangueo tuvieron necesidades promedio de 7 - 8 mm, de los cuales 6 - 7 se refieren a la evapotranspiración y 1 mm a la filtración, donde la necesidad global para un área anegada de manera permanente durante 120 días sería de 10000 m³ ha⁻¹.

La evapotranspiración, como se conoce se puede determinar por métodos directos e indirectos, pero la filtración hay que medirla para cada suelo y en función de la preparación del suelo, porque varía según la textura, estructura, profundidad y grado de permeabilidad de esta capa y contenido de materia orgánica (Dueñas, 2015).

2.8 Determinación de la Norma Total de Riego en el cultivo del arroz

El tipo de manejo de agua utilizado en el riego del arroz influye sobre la norma total de riego e incluso sobre el método que se va a aplicar para su cálculo; por etapas y durante todo el ciclo (Dueñas *et al.*, 1981).

Existen diferentes etapas relacionadas con el riego del arroz que resulta conveniente diferenciar, para poder calcular las cantidades de agua necesarias. Después del primer riego y desagüe y hasta la creación del aniego permanente (primera y tercera etapas), se ejecutarán riegos rápidos o pases de agua (segunda etapa) para mantener la humedad del suelo, con intervalos cortos evitando la sumersión de las plantas por más de 48 horas, esto se hace para asegurar la densidad de la población.

Para el cálculo de la norma total en el periodo de la tercera hoja hasta el inicio de ahijamiento donde en realidad la lámina cambia sucesivamente de 2 a 5 cm se aceptará que se dé una lámina uniforme con una altura de 3,5 cm. De esta forma en el manejo del agua pueden observarse ocho periodos principales.

El mayor problema en el riego del arroz es la magnitud de la norma total de riego, la cual puede alcanzar valores muy altos. Para la obtención de un valor adecuado es necesaria la elección de aéreas que tengan bajos coeficientes de infiltración, la disminución de la infiltración lateral por medio de obras especiales y la investigación de tipos de manejo con riego o inundaciones intermitentes.

2.9 Balance hídrico en una unidad agrícola arrocerá

Para establecer el régimen de riego o manejo del agua de un cultivo, es necesario realizar el balance hídrico en el período de tiempo correspondiente al ciclo vegetativo. La figura 1 representa un volumen de suelo cultivado con profundidad de raíces (H_{rad}) y a través de flechas se indican los ingresos y egresos de agua en el volumen analizado.

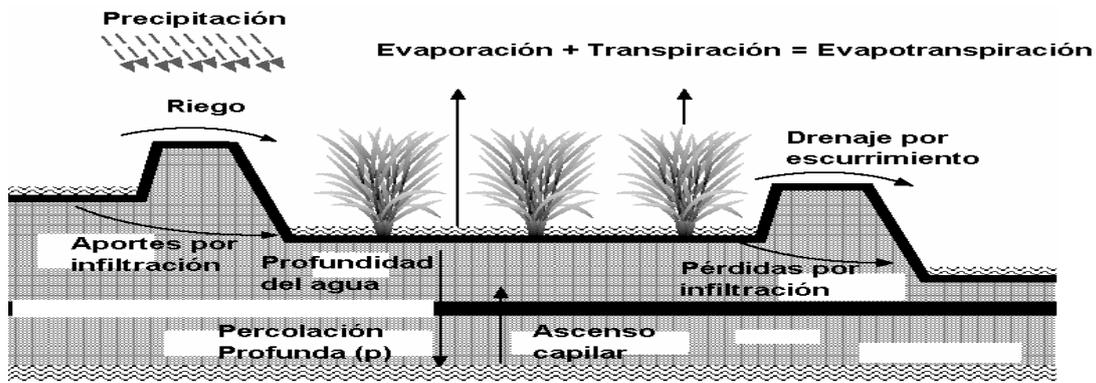


Figura 1. Balance hídrico a nivel de la parcela de arroz

El balance hídrico en un período de tiempo será:

$$W_f = (W_i + P_c + A_{sc} + M + EI_1) - (ET + P + EI_2 + PI)$$

Donde:

- W_f = Humedad al final del periodo analizado
- W_i = Humedad inicial del periodo analizado

Los ingresos de agua en H_{rad} son:

- P_c = Lluvia caída y aprovechada en el área.
- A_{sc} = Ascenso capilar. Parte del manto freático que llega a la zona radical.
- E_{I1} = Aportes por infiltración
- M = Riegos aplicados al área.

Los egresos o pérdidas de agua son:

- E_{I2} = Drenaje por escurrimiento hacia fuera del área analizada.
- P = Percolación del agua de lluvia infiltrada por debajo de H_{rad} .
- ET = Evapotranspiración
- PI = Pérdida por infiltración lateral

2.10 Técnicas de riego por inundación en el cultivo del arroz

Las terrazas con su disposición y su tamaño, los canales de riego suministradores, los canales de drenaje conformados de acuerdo a la técnica empleada y todas las obras y construcciones forman un conjunto que constituye el sistema de riego (León, 2007).

Según Dueñas (2015) los sistemas de riego y drenaje en el cultivo del arroz se clasifican de acuerdo a las condiciones técnicas y constructivas de la red de canales de riego y drenaje, de las obras hidrotécnicas y la nivelación de las terrazas, en: sistemas primitivos, tradicionales o no ingeniero; sistema semi-ingeniero y sistema ingeniero.

La red de canales también se clasifica en relación al lote o finca donde se cultiva arroz en: externa e interna, correspondiendo a esta última disponer de características constructivas que posibiliten entregar los requerimientos y desagües necesarios para las áreas vinculadas.

2.11 Situación de los sistemas de riego en arroz en Cuba

En Cuba desde el año 1968 se inició la construcción de Sistemas Ingenieros y en el transcurso de los años se han ensayado diferentes métodos de nivelación (Guerra, 1988). Fuerte impulso se logró en el periodo 1974-80 con la nivelación con flota en agua y después en 1988 con la entrada de 18 brigadas mecanizadas procedentes de la antigua Unión Soviética, para la construcción de sistemas de riego, drenaje y la nivelación de las terrazas, pero ambos métodos, independientemente de sus deficiencias, fueron muy afectados por la falta de mantenimiento, trayendo como consecuencia que de las 41,790 ha construidas con Sistema Ingeniero quedasen pocas con aceptable calidad.

En la evaluación hecha en los diferentes períodos en que se ha implementado el sistema ingenieril de riego en el arroz en el país, se aprecia que los sistemas tradicionales más semi-ingeniero han ocupado entre el 73-99% de las áreas, lo cual limita la expresión del rendimiento y ello, ha estado asociado al alto consumo de agua, agravándose después del 2000 por el deterioro de los sistemas Ingenieros (Guerra, 1988).

2.12 Nivelación de las terrazas

Para incrementar el rendimiento agrícola y optimizar el aprovechamiento del agua hay que mejorar la situación actual de los sistemas arroceros, pero su desarrollo no sólo depende de grandes inversiones; sino de la elección de tecnologías productivas y eficientes, que posibiliten incrementar la producción de arroz con buen aprovechamiento de las disponibilidades de agua (Hernández, 2007).

En el mundo se han practicado numerosas tecnologías para la implementación de la nivelación de las terrazas: primero empleando el método de cálculo de los mínimos cuadrados combinado con estaquillados de referencias y después con el empleo del láser, con muy buenos resultados en la nivelación superficial, empleando equipos que realizan bajos cortes superficiales y nivelación con pendiente, lográndose alta productividad, buen manejo del agua y elevado rendimiento (Hernández, 2007).

La nivelación mediante la tecnología láser ahorra agua porque baja la norma de uso. Resulta una tecnología novedosa porque se recuperan las terrazas y los canales, al establecerse también mejor control de las plagas y enfermedades. Su funcionalidad está en que el equipo láser emisor se programa a la altura indicada y transmite la señal al equipo receptor, instalado en la traílla, y esta es llevada a un panel de control en la cabina del operador para bajar o subir el implemento de movimiento de tierra según la nivelación requerida (Camellón, 2015).

Alemán (2000) explica que la adecuación de las parcelas (terrazas) es una necesidad, para obtener todos los beneficios que nos puede dar el riego, por lo que se hace necesario controlar la lámina de agua. La adecuación consiste en una nivelación del terreno haciendo cortes y rellenos para formar terrazas con formas regulares o bien siguiendo las curvas de nivel. El tamaño máximo de dicha terraza o bancal debe ser de una hectárea, y el tamaño mínimo depende de la eficiencia que alcanza la maquinaria al tener que atravesar los bordos.

Cuando se realizan cortes de terreno superiores a 15 centímetros de profundidad, se pierde la capa fértil del suelo que fue formada por microorganismos y minerales. Debido a esta pérdida, la cantidad de abono por aplicar deberá ser mayor y los gastos para el productor aumentarán. (Dueñas, 2015)

Para evitar grandes movimientos de tierra, que resultan poco económicos para el productor, es recomendable la adecuación en curvas de nivel y la posterior nivelación de los bancales o terrazas. En busca de dichos resultados, actualmente se está implementando la tecnología de posicionamiento global o GPS para la nivelación de suelos dedicados al cultivo del arroz.

Utilizando pendientes múltiples, el GPS permite realizar un sistema de corte y relleno del suelo a partir de la conformación natural del campo. Entre sus principales ventajas está: ahorro de combustible, disminución de los volúmenes de tierra a mover por área, mayor uniformidad en el desarrollo y población del cultivo, conservación de la capa vegetal, reducción de costos e incremento de los rendimientos.

2. 13 Aprovechamiento de las lluvias

Estudios realizados por Dueñas (1976) con el objetivo de disminuir las cantidades de agua que se emplea en el cultivo del arroz en la Empresa Arrocería “La Sierpe” en Sancti Spiritus se hicieron propuestas de alternativas para mitigar este desequilibrio mediante la captación y aprovechamiento de la lluvia: en terrazas cultivadas de arroz, modificando el manejo del agua durante el ciclo vegetativo del cultivo.

El procedimiento consistió en mantener cerrada pequeñas compuertas regulables colocadas en cada una de las terrazas en la época de lluvia y graduar la lámina de agua mediante las tapas regulables de la misma, lo que se hace en función de la fase de desarrollo del cultivo; evitando así, el drenaje permanente de las terrazas que regularmente existe cuando están llenas y reguladas por los voladeros (compuerta manual hecha en los diques).

Se utilizaron diferentes variantes de manejo del agua y utilizando dichos accesorios se determinó las cantidades de agua utilizada por unidad de área por el cultivo del arroz con el uso de medidores de agua en los canales de suministro a las terrazas durante las cosechas de frío y primavera (Tabla 1).

Tabla 1. Volúmenes de agua en diferentes variantes de manejo del agua

Var	Siembra de frío 1974				Siembra de frío 1975			
	Agua de riego	Agua Lluvia	Agua total	Rto t ha ⁻¹	Agua de riego	Agua Lluvia	Agua total	Rto t ha ⁻¹
1	9126	3148	12274	3,03	12755	1536	14291	4,96
2	7182	3148	10330	2,4	10976	1536	14285	4,24
3	13558	3148	16706	2,11	15825	1536	17361	5,16
4	14505	960	15565	2,8	18611	798	19409	4,60

Tomada de Dueñas, R 1976, “Estudio del Régimen de Riego del Arroz en condiciones de producción en la empresa Arrocería Sur del Jíbaro”

- V-1. Campo nivelado con cinco pases de land-plane. Manejo Tradicional y lámina de agua de 8 a 12 cm
- V-2. Campo nivelado con cinco pases de land-plane. Manejo de agua a base de pases de agua todo el ciclo.
- V-3. Campo no nivelado. Manejo Tradicional y lámina de agua de 15 a 20 cm (Sin refrescamiento)
- V-4. Campo no nivelado.) Manejo Tradicional y lámina de agua de 15 a 20 cm (Con refrescamiento)

2.14 Altura de la lámina de agua

Según experimentos efectuados durante 1968 - 1970 una altura de 0-15 cm no afecta el rendimiento del cultivo, específicamente un ensayo desarrollado con la variedad IR-8 con diferentes alturas de la lámina de agua, se obtuvo que:

- Las gramíneas se controlan con 5 cm de lámina
- Las ciperáceas se controlan entre 5-15 cm de lámina
- La lámina de agua no controla las hierbas de hojas anchas

Esto puede explicarse, a partir de considerar la influencia termorreguladora de la lámina de agua, al poder disminuir la amplitud de las oscilaciones diarias de la temperatura y otras condiciones meteorológicas a las cuales el cultivo del arroz es sensible.

Para Cuba tiene particular importancia en la estación de invierno cuando se riega con aguas subterráneas de profundidades mayores a 20 m, las cuales tienen una temperatura generalmente alta (Dueñas, 2015).

2.14.1 Lámina de agua necesaria en la terraza

Se deben implementar alternativas de nivelación y trazar los diques a 5 cm de desnivel, así como situar una lámina de agua de 10 cm por campo promedio, lo que significa 15 cm en la parte más alta y 5 cm en las más bajas, que no es demasiada alta para evitar la tendencia al acamado y no es demasiado baja para garantizar la saturación continua y el control de las malezas

En el caso de que la nivelación no sea buena y la equidistancia entre diques sea de 8-10 cm, la lámina de agua tiene mucha variación, con alturas que pueden superar los 20 cm y en otras sin lámina, incrementándose las hierbas y disminuyendo el rendimiento (Dueñas, 2015).

2.15 Hidrometría

La hidrometría tiene como objetivo garantizar la medición y regulación del agua, así como realizar observaciones en los puntos necesarios de la red de riego. Determina las pérdidas de agua en la red de riego y en las parcelas, las normas de hidromódulos de riego netos y brutos, la capacidad de la red, su coeficiente de utilidad (Cu), así como el coeficiente de uso y de aprovechamiento útil del agua (Dueñas, 2015).

Entre las diferentes obras hidrométricas existentes, se destaca el uso de vertederos (ver imagen en Anexo I) los cuales tienen como ventajas: la exactitud, duración, simplicidad y sencillez de construcción (Hansen, 1967).

3. Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) “El Cedro”, ubicada en el Complejo Agroindustrial (CAI) “Sur del Jíbaro”, en el municipio La Sierpe de la provincia Sancti Spíritus; sobre un suelo Oscuro plástico, según la clasificación de Hernández *et al.* (1999), con una pendiente de 0.001.

El trabajo se realizó en condiciones de producción durante la campaña de frío 2016-2017, en el periodo de enero a mayo, aplicando el método de siembra a voleo, utilizando el cultivar *Selección 1* encontrándose en la lista oficial de variedades comerciales (MINAGRI, 2015), procedentes de la Empresa de Semillas Sancti Spíritus, con una norma de siembra de 140 kg ha⁻¹, específicamente en dos campos:

Variante 1: campo con nivelación con equipamiento láser: lote R-3, campo 3, con un área de 17,5 ha. Se realizó un levantamiento topográfico en cuadrículas de 20 x 20 m y se determinaron las pendientes óptimas y movimientos de tierra. Se empleó un equipo, Láser Plane, formado por un emisor de rayos Láser, un receptor, un mástil, una niveladora con su tractor T-150 K.

Variante 2: campo con nivelación tradicional (con fanguero): lote R-10, campo 156, con un área de 30 ha.

Las labores culturales durante el ciclo del arroz (preparación del terreno, siembra, fertilización, riego y tratamientos fitosanitarios) se efectuaron, según lo establecido en el Instructivo técnico del cultivo del arroz (MINAG, 2008). Durante los riegos efectuados se controló el tiempo de aplicación, así como la altura de la lámina de agua sobre la cresta del vertedero.

3.1 Norma total de riego neta empleada por unidad de área en cada variante estudiada

Para cuantificar los volúmenes de agua en cada variante, se utilizó un vertedero trapezoidal o de Cipolletti (Fig. 2), ubicado en la entrada inicial del canal terciario, cumpliendo con las normas generales para la colocación y empleo de vertederos (Hansen, 1967), que en lo fundamental fueron:

- El vertedero debe colocarse en el extremo inferior de un embalse lo suficientemente ancho y profundo como para introducir una corriente continua y suave con una velocidad inferior a $0,15 \text{ m s}^{-1}$.
- La pared del vertedero ha de ser perpendicular a la dirección de la corriente.
- La cresta del vertedero debe quedar perfectamente horizontal, de forma que la lámina de agua tenga el mismo espesor en toda su anchura y toque a la cresta en una sola línea de puntos. .
- Para aforos exactos se ha de procurar que el espesor del agua sobre la cresta no sea superior a un tercio de la longitud de esta.
- El limnímetro o reglita debe ser colocado en la cara de aguas arribas de la estructura del vertedero a suficiente distancia hacia un lado para que se encuentre en aguas tranquilas.



Figura 2. Vertedero trapezoidal o de Cipolletti utilizado

Para determinar el gasto que circulaba por el vertedero se empleó la fórmula:

$$Q = 1,86 LH^{3/2}$$

En la que:

- Q = caudal del agua en $m^3 s^{-1}$
- L = longitud de la cresta del vertedero en m
- H = espesor de la lámina de agua que fluye por el vertedero en m

Para facilitar los cálculos se empleó una curva construida Qfh , que fue hecha a partir de la tabla (Anexo II) que da el gasto del vertedero trapezoidal para diferentes alturas y longitudes de cresta de 0,25 a 6 metros.

En el vertedero utilizado en ambos campos (variantes) los bordes tienen una inclinación de 1 cm en horizontal por 4 cm en vertical contando con las siguientes dimensiones:

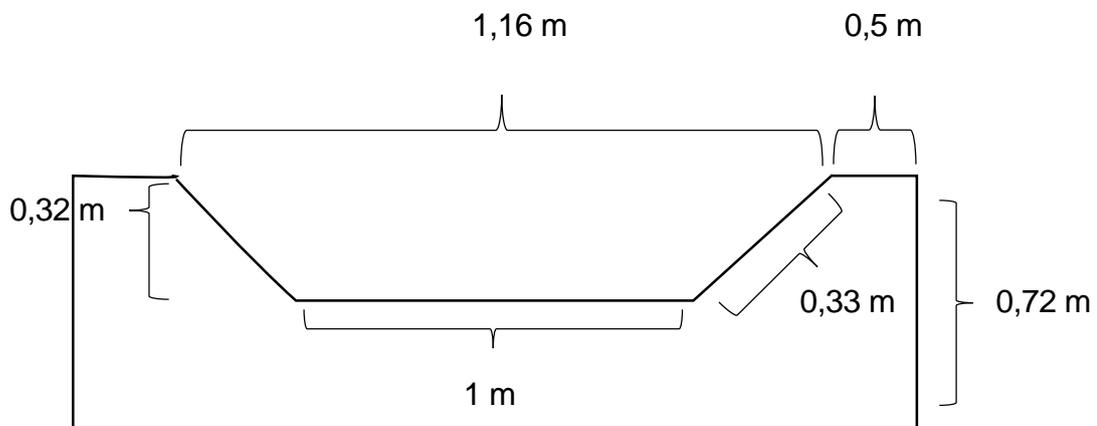


Figura 3. Medidas del vertedero utilizado

Para determinar el gasto que entraba a cada campo (variante) se realizaron como promedio cuatro observaciones diarias durante todo el ciclo de riego del cultivo; aumentando el número de estas siempre que existieron variaciones en el canal secundario.

Los volúmenes de agua empleados por fases y durante todo el ciclo se obtuvieron mediante el empleo de la ecuación:

$$V = Q t$$

Donde:

- V = volumen de agua en m^3
- Q = caudal del agua en $m^3 s^{-1}$
- t = tiempo de afluencia de la lámina de agua por el vertedero en s

3.2 Índices morfológicos y componentes del rendimiento agrícola en cada variante estudiada

En ambas variantes (láser y tradicional) se realizaron evaluaciones en el desarrollo de las plantas en cuanto a índices morfológicos y componentes del rendimiento, empleándose la metodología del Sistema de Evaluaciones Estándar para Arroz (CIAT-IRRI, 1983).

Se tomaron como muestras representativas 5 puntos al azar de un área de un $1 m^2$ en cada campo, y específicamente se les realizaron las observaciones a 10 plantas de cada punto.

Índices morfológicos:

- Altura de la planta: se evaluó semanalmente, a partir de los 15 días después de la siembra (durante 16 semanas). Se midió en centímetros desde la base hasta la inserción de la hoja más joven y después de la paniculación se midió entonces hasta la panícula del tallo más alto.
- Ahijamiento: se evaluó semanalmente, a partir de los 15 días después de la siembra (durante 16 semanas), mediante la cuantificación de los hijos. (Fig. 4)



Figura 4. Medición de la altura de las plantas y conteo del número de hijos

- Longitud de la panícula: se midió desde la unión de la panícula con la hoja bandera hasta el ápice de la espiga, con la utilización de una cinta métrica, momentos antes de la cosecha, el resultado se expresó en cm.

Componentes del rendimiento agrícola:

Se evaluaron los principales componentes del rendimiento agrícola del arroz, los cuales se muestrearon una vez por variante (en todos los puntos) en 10 panículas tomadas al azar:

- Número de panículas por m²: se cuantificaron las panículas en cada punto de la muestra.
- Número de granos llenos por panícula
- Número de granos vanos por panícula
- Masa o peso de 1000 granos: se pesaron en la balanza analítica marca Kern, modelo PRS 320-3 de aproximación 0.001 g máx. 320 g.

Rendimiento agrícola:

El rendimiento agrícola se obtuvo a partir de la cosecha de las panículas en cada punto de la muestra (1 m²) por variante, utilizando una pesa (marca Kern, modelo

PRS 320-3 de aproximación 0.001 g máx. 320 g), estimándose para una hectárea y se expresó en t ha⁻¹.

Los datos se procesaron mediante el empleo del paquete estadístico STATGRAPHICS versión 15 sobre Windows. La comparación de medias se realizó con el empleo de la prueba de *t-Student*, posterior a la determinación de la homogeneidad de varianza y normalidad de los datos.

3.3 Efecto económico a partir del ahorro del agua en cada variante estudiada

La evaluación económica se efectuó partiendo de los resultados del trabajo sobre la base del ahorro de agua y los incrementos de producción. Esta se realizó analizando el valor de la producción adicional en pesos ha⁻¹ como resultado de la producción del área adicional que pudiera regarse con el ahorro del agua. Para dicha evaluación se tomará en consideración el precio de la tonelada métrica de arroz húmedo limpio a nivel nacional (4130 CUP).

También, partiendo del valor de un metro cúbico de agua (0.018 CUP)³, se determinó el costo del agua para producir una tonelada de arroz en las diferentes variantes.

Los datos lluvias, temperatura y humedad relativa se tomaron de la Estación Meteorológica ubicada en la estación experimental “Sur del Jíbaro”, área relativamente cercana a la investigación.

³ Valor determinado por la Resolución No.421/2012 del Ministerio de Finanzas y Precios.

4. Resultados y discusión

4.1 Norma total de riego neta empleada por unidad de área en cada variante estudiada

Manejo de agua empleado en cada variante

Los valores en el manejo de la lámina de agua para cada variante (Figs. 5 y 6) oscilaron entre 5 - 20 cm para la variante tradicional (con fanguero) y entre 4 – 8 cm para la variante láser, lo que incidió en una disminución del consumo de agua por unidad de área, lográndose un ahorro significativo de la misma.

Otro aspecto a destacar es que el drenaje de las terrazas en el riego de germinación en la variante con láser tardó menos tiempo con respecto a la variante tradicional, la cual utilizó el fanguero, lo que propició un mejor desarrollo del cultivo en sus primeros estadíos, posibilitando una germinación más uniforme y densa. En cuanto a los pases de agua y drenaje final de cada variante, se coincidió también con una duración de mayor tiempo de drenaje en el campo nivelado tradicionalmente.

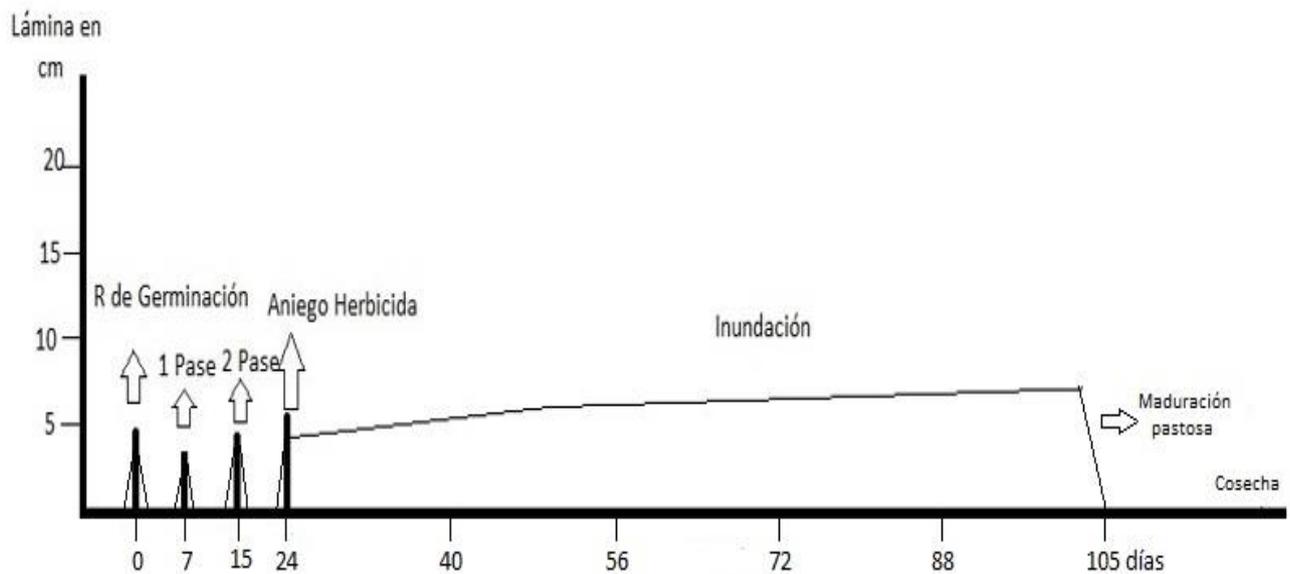


Figura 5. Manejo del agua en la variante nivelada con equipamiento láser

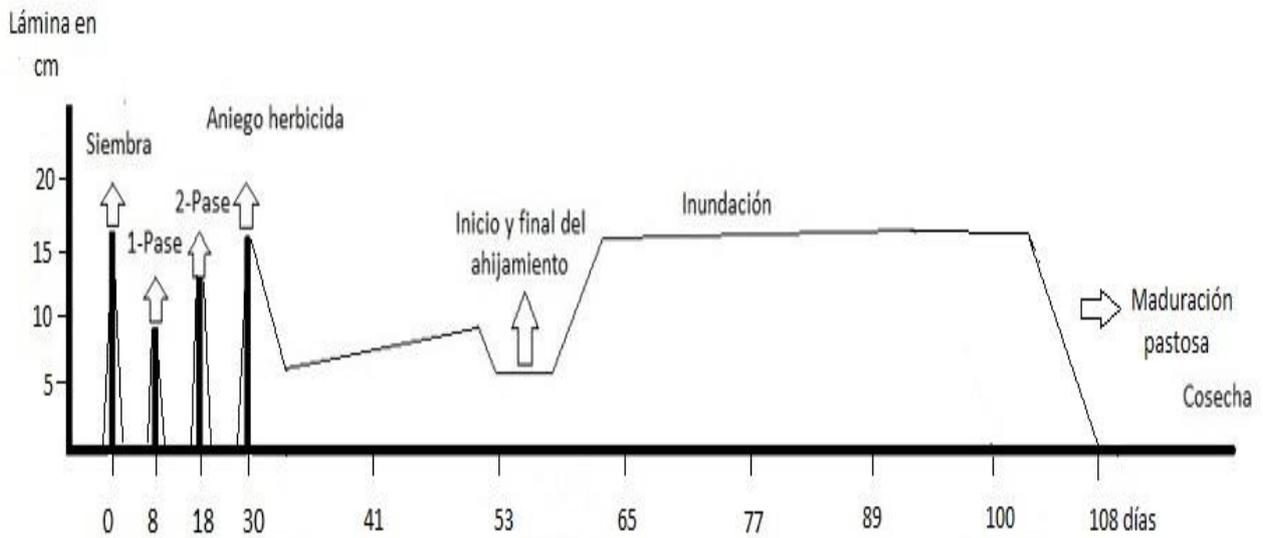


Figura 6. Manejo del agua en la variante nivelada de forma tradicional (con fanguero)

Volúmenes de agua empleados por unidad de área en cada variante estudiada

Los volúmenes de agua aplicados por fases de riego para cada variante se encuentran representados en la figura 7.

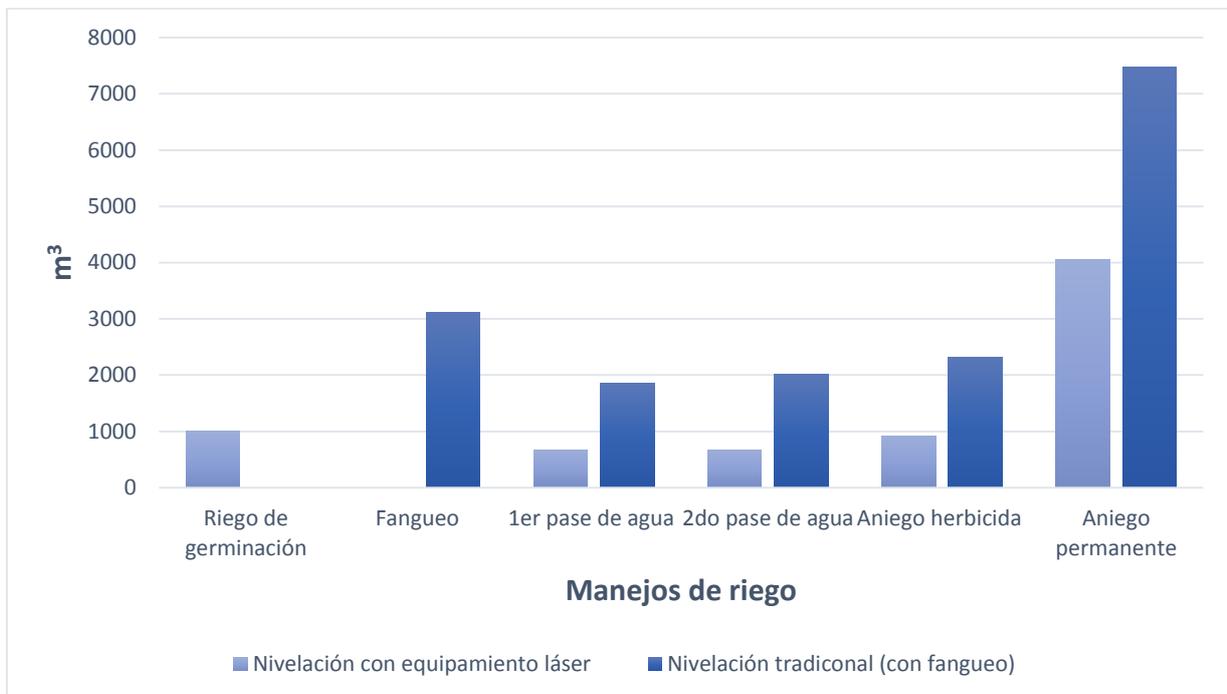


Figura 7. Volúmenes de agua empleados en cada variante estudiada en $m^3 ha^{-1}$

Las variantes estudiadas se diferenciaron en cuanto a la preparación del suelo, pues el campo nivelado con equipamiento láser comenzó con un riego de germinación que tuvo un volumen de agua de $996,12 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, mientras que el campo nivelado tradicionalmente lo hizo con el fangueo (debido a la disponibilidad de maquinarias para la realización de una preparación en seco, así como las condiciones de humedad del suelo), utilizando $3050,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, por lo cual utilizó un mayor volumen de agua, influyendo en esta variación la nivelación de los campos y la altura de la lámina de agua.

Para realizar el fangueo se inundó el campo 3 días antes, empleando una lámina mínima de agua sin dejar partes de las terrazas descubiertas y lo suficiente para que el nivel de batido sea en fango (para incorporar las malezas y los restos de las cosechas), quedando al final una lámina de agua suficiente para la germinación de las semillas que son voleadas al concluir la preparación.

Los valores obtenidos coinciden con los planteados por Dueñas (2015), debiendo resaltarse el hecho de que la obtención de elevados rendimientos agrícolas está directamente vinculada a la garantía de asegurar óptima población de plantas en las terrazas, debido a que se crean las condiciones para una germinación eficiente y uniforme en los campos, como consecuencia de la rapidez en la realización del riego de germinación y de las condiciones de nivelación de las terrazas. Se reporta que el riego de germinación con permanencia de las semillas bajo lámina de agua no mayor de 12 - 24 horas, es lo más conveniente para alcanzar buena calidad de la población.

Se continuó con dos pases de agua en cada variante, aparte del aniego herbicida. El agua utilizada en el primer y segundo pase en la variante con láser fue de $661,54 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $663,24 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ respectivamente y en la variante tradicional fue de $1520,16 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $1721,28 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, en el mismo orden. El avance es más rápido en el segundo y tercer riego, debido a que ya existe una humedad residual en el suelo dado por el riego anterior que induce una disminución en la infiltración del agua en el suelo, permitiendo un avance de la lámina de agua aplicada, sin escurrimiento superficial al final de la terraza (Sierra *et al.*, 2012). El volumen en

cuanto al aniego herbicida fue de 924,89 m³ ha⁻¹ (variante con láser) y 2126,08 m³ ha⁻¹ (variante tradicional).

El aniego permanente fue la actividad más espaciada durante el cultivo y se extendió desde que la altura de las plantas lo permitió hasta el drenaje para la cosecha. La variante con láser fue la de menor consumo de agua durante el ciclo, aplicándose un volumen de agua de 4059,21 m³ ha⁻¹, siendo significativamente inferior, al utilizado por la variante tradicional que fue de 7079,4 m³ ha⁻¹. Se trabajó bajo el principio de mantenimiento de la lámina de agua evitando pérdidas por los drenajes y posibilitando, por lo tanto, notables ahorros de agua.

De acuerdo a los resultados expuestos anteriormente se puede apreciar una diferencia representativa en cuanto a las normas totales de riego netas utilizadas en las variantes estudiadas desde el inicio del ciclo (Fig. 8), siendo la variante tradicional la que alcanzó los valores más altos obteniendo un volumen total de agua de 15497,52 m³ ha⁻¹, el cual coincide con la norma planificada de la Empresa Arrocería “Sur del Jíbaro” con valores aproximados a los 15000 m³, no siendo así en la variante con láser pues tuvo un volumen de 7305 m³ ha⁻¹, evidenciando que con la implementación de la tecnología láser se hace un uso más racional y eficiente del agua.

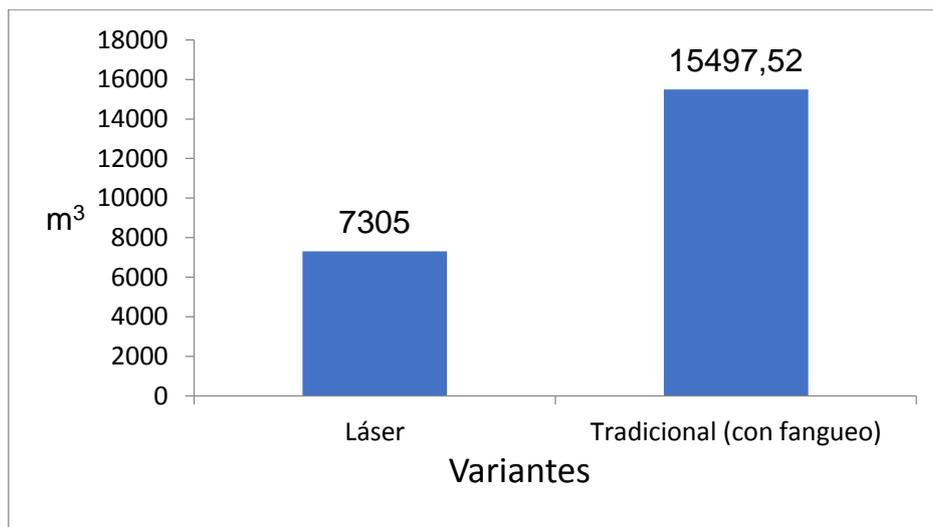


Figura 8. Norma total de riego neta empleada en cada variante estudiada en m³ ha⁻¹

Según Diakite (1987) el volumen de agua necesario para las siembras de frío con el manejo de agua aprobado por el instructivo técnico, alcanza los 15000 m³, sin considerar el ingreso por lluvias. Resultados similares han sido obtenidos por Pla (1975), Dueñas (1976) en manejos tradicionales de riego.

Considerando una norma bruta actual de agua de 20000 m³ ha⁻¹ y el valor de la norma total neta obtenida en la investigación en el caso de la variante tradicional (con fangueo), se deriva la estructura de balance hídrico (egresos) (Fig. 9):

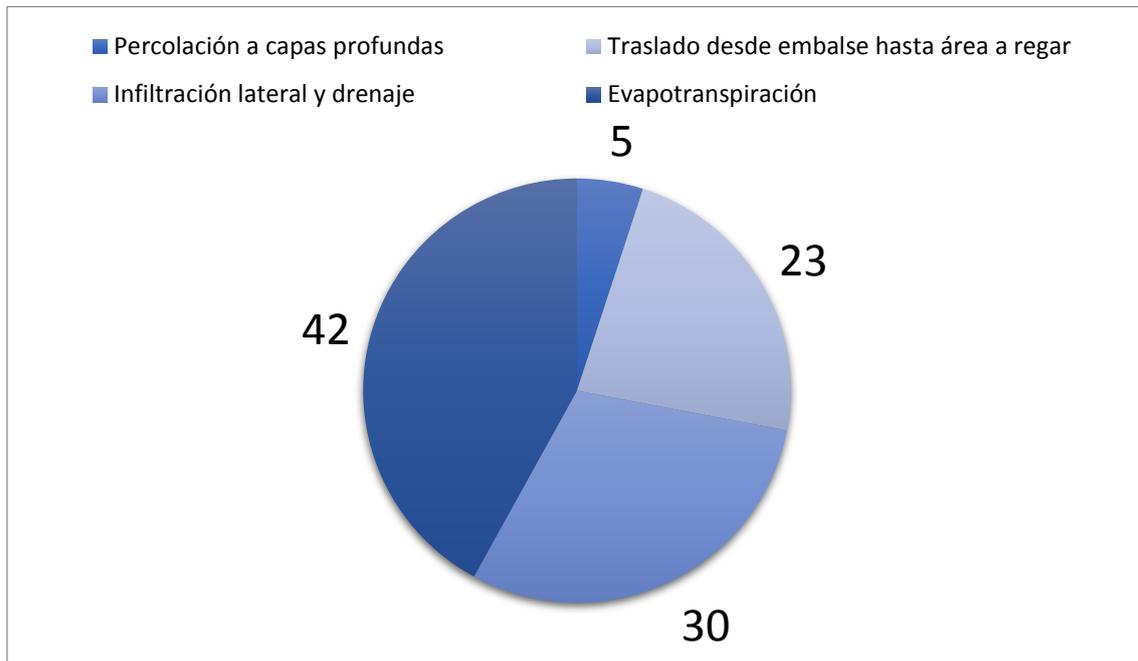


Figura 9. Estructura de balance hídrico (egresos) en por ciento

Las pérdidas en la conducción desde la fuente hasta el área sembrada están determinadas por:

- Problemas en el estado técnico de los canales
- La percolación a capas profundas y filtración lateral
- Evaporación

4.2 Índices morfológicos y componentes del rendimiento agrícola en cada variante estudiada

Índices morfológicos:

El análisis del índice morfológico altura de la planta mostró diferencias estadísticamente significativas entre las variantes estudiadas (Fig. 10). La variante nivelada tradicionalmente (con fangueo) alcanzó 81 cm a los 120 días de muestreo, siendo el mayor valor, debido a la existencia de una mayor altura en la lámina de agua, mientras que la variante nivelada con láser alcanzó una altura promedio de 74 cm.

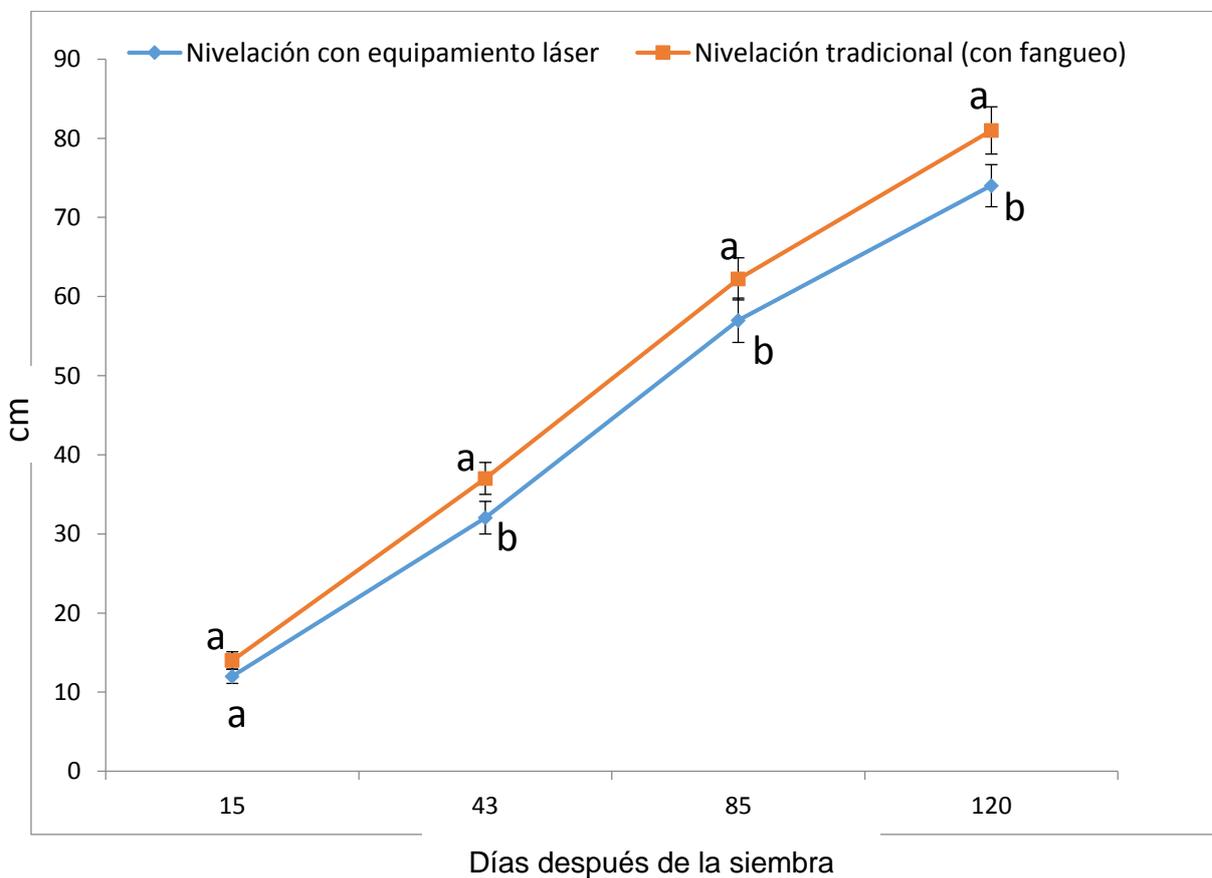


Figura 10. Dinámica de la altura de la planta en las variantes estudiadas

(a, b,) Medias con letras no comunes para cada variante difieren por prueba de t-Student para $p \leq 0,05$

Según la escala del International Rice Research Institute (IRRI) (1981), el cultivar utilizado en la investigación, se considera planta semienana, ya que mostró altura menor a 100 cm en ambas variantes.

La estatura baja y la dureza del tallo son cualidades esenciales en variedades de alto rendimiento, ya que minimizan el acamado y poseen una mayor relación grano por panoja, además de que son factores que facilitan y perfeccionan la recolección mecanizada (Franquet y Borrás, 2010).

En la dinámica del número de hijos por planta (Fig. 11), se evidenció un incremento en ambas variantes desde los 15 días después de la germinación hasta la etapa de máximo ahijamiento (43 – 85 días). Posteriormente comenzaron a disminuir lentamente hasta mantenerse estable. El número de hijos fluctuó entre 6 y 8, correspondiéndole a la variante con láser la mayor cantidad de hijos notándose diferencias estadísticas entre dichas variantes a partir de los 43 días.

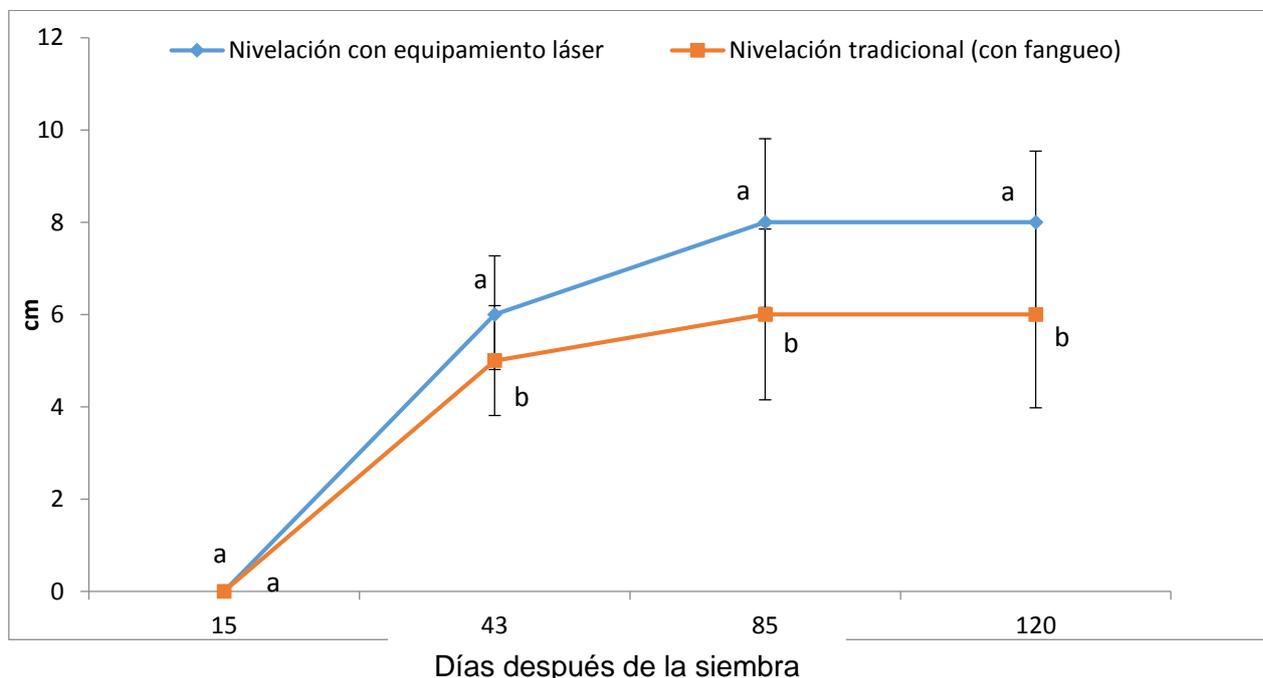


Figura 11. Dinámica del número de hijos por planta en las variantes evaluadas

(a, b,) Medias con letras no comunes para cada variante difieren por prueba de t-Student para $p \leq 0,05$

Martínez (2010) señala que el inicio del ahijamiento tiene lugar a los 20 días después de la siembra, coincidiendo con la emergencia de la cuarta hoja y se alarga unos 50 días más, hasta los 70 días después de la siembra aproximadamente.

Franquet y Borrás (2010) refieren que existen varios factores que intervienen en el ahijamiento. Las temperaturas demasiado bajas reducen o inhiben este proceso, como también el terreno poco fértil, la elevada densidad de siembra, también lo dificultan las sustancias fitotóxicas acumuladas en el suelo y en el agua o las suministradas por los productos pesticidas, por la escarda química o por otras causas de distinto orden. En el experimento el factor altura de la lámina de agua, provocó una ligera disminución en el número de hijos por planta en el caso del campo con nivelación tradicional.

En cuanto a longitud de la panícula, no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas, entre las variantes. Según Parikh *et al.* (2012) y Sarawgi *et al.* (2013), las variaciones en la longitud de la panícula pueden estar asociadas a las características de los progenitores que dieron origen a los cultivares y además está comprobado que este carácter puede ser altamente influenciado por el ambiente.

Componentes del rendimiento agrícola:

Al evaluar los componentes del rendimiento agrícola: número de panículas por m² número de granos llenos por panícula, número de granos vanos por panícula y masa o peso de 1000 granos, se observaron diferencias estadísticas significativas entre las variantes estudiadas, siendo los valores más favorables en el campo nivelado con equipamiento láser (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de los componentes del rendimiento agrícola evaluados

Variante	Panículas por m²	Granos llenos	Granos Vanos	Masa de 1000 granos
Nivelación con equipamiento láser	431 a	137 a	10 b	29,16 a
Nivelación tradicional (con fangueo)	320 b	126 b	12 a	28,70 b

Medias con letras diferentes en una misma columna denotan diferencias significativas según prueba de t-Student para $p \leq 0,05$

El número de panículas por m² está muy relacionado a la calidad de la preparación y nivelación del suelo, la norma de siembra, la capacidad de ahijamiento de las variedades, el manejo del agua y la fertilización nitrogenada (MINAG, 2008).

A partir del momento de diferenciación de la panoja se define el número de espiguillas por panoja y que con aplicaciones altas de nitrógeno es posible generar un elevado número de granos, especialmente en el momento de iniciación de la panoja; sin embargo, el mismo mecanismo también genera una importante declinación del porcentaje de granos llenos. La fertilidad de espiguillas es un requisito obvio para obtener altos rendimientos (Quintero, 2009).

Los porcentajes en cuanto granos vanos por panícula entre la variante con láser y la variante tradicional (con fangueo) oscilaron entre 8% y 8,9% respectivamente. Se considera que el vaneado tiene un comportamiento normal cuando es inferior al 10% y con las variedades índicas semienanas se acepta hasta el 15% por lo que en este caso los resultados para esta variable fueron favorables.

El peso de 1000 granos es una característica genética, este carácter es estable en buenas condiciones de cultivo y depende fundamentalmente del cultivar, pero un incremento en el rendimiento se puede lograr seleccionando materiales de mayor peso en el grano.

Rendimiento agrícola:

Al determinar el Rendimiento agrícola (Tabla 3) en ambas variantes se obtuvieron diferencias significativas entre las mismas, correspondiéndole el menor valor a la variante tradicional (con fangueo), debido principalmente a la calidad de la nivelación, que condujo a un manejo ineficiente del riego, con su consecuencia en el sobreconsumo de agua total aplicado. A su vez, por el efecto directo que se obtiene al nivelar un campo, con la tecnología de punta de rayos láser, es posible el incremento de los componentes del rendimiento agrícola.

Tabla 3. Rendimiento agrícola por variantes

Variante	Rendimiento en g m⁻²	Rendimiento estimado en t ha⁻¹
Nivelación con equipamiento láser	810 a	8,1
Nivelación tradicional (con fangueo)	490 b	4,9

Medias con letras diferentes en una misma columna denotan diferencias significativas según prueba de t-Student para $p \leq 0,05$

Los rendimientos estimados en la variante nivelada con equipamiento láser son equivalentes a los obtenidos por Hill *et al.* (1992), en el Estado de California donde se lograron rendimientos entre 7,16-9,11 t ha⁻¹, empleando la misma tecnología de nivelación y a los reportados por Tabuchi (1995), en países como Australia y Brasil con 8,21 y 7,25 t ha⁻¹ respectivamente.

No obstante a lo anterior, se demuestra que el incremento del rendimiento agrícola es de alrededor del 65%, en función del rendimiento agrícola de la

segunda variante (tradicional con fanguero); lo cual, comparado con los rendimientos nacionales, representa un aumento de 4,24 t ha⁻¹ obtenidas en 2016⁴ a 7 t ha⁻¹, lo que indica el incremento de 2,75 t ha⁻¹, demostrando la variante nivelada con equipamiento láser como ventajas de su implementación un aumento significativo del rendimiento y un uso eficiente de agua.

Comportamiento meteorológico durante el desarrollo del experimento:

El ciclo del cultivo tuvo una duración de 130 días hasta el inicio de la cosecha. Durante este período el comportamiento de las variables meteorológicas fue:

Tabla 4. Datos del clima aportados por la Estación Meteorológica “Sur del Jíbaro”

Mes	Lluvias	T máx	T mín	Tmed	HR máx	HR mín	HR med
	(mm)	(°C)			(%)		
Enero	3,1	26,6	19,7	22,8	81	58	71
Febrero	62,8	25,4	20,5	23,4	86	65	74,8
Marzo	8,6	26,3	20,5	23,3	85	63	71
Abril	198,7	27,1	23,7	25,4	86	60	73,2
Mayo	137,7	26,5	23,7	26	96	68	78,1

Leyenda:

T máx: temperatura máxima; T mín: temperatura mínima; T med: temperatura media

Hr máx: humedad relativa máxima; Hr mín: temperatura relativa mínima;

Hr med: humedad relativa media

Las lluvias caídas durante el período en que se desarrolló el experimento se comportaron de forma similar a otros años para las condiciones climáticas de la

⁴ Mesa Redonda (22/3/2017)

región, resaltando los acumulados de 102,4 mm y 48,1 mm caídos el 22 de abril y el 15 de mayo respectivamente.

4.3 Efecto económico a partir del ahorro del agua en cada variante estudiada

El beneficio adicional neto originado por la irrigación está determinado en la mayoría de los cultivos por la producción complementaria (diferencia entre riego y seco) y los gastos realizados para su obtención.

En este caso el efecto económico se determinó partiendo de los resultados del trabajo sobre la base del ahorro de agua y los incrementos de producción. Se consideró el valor de la producción adicional en pesos ha⁻¹ como resultado de la producción del área adicional que pudiera regarse con el ahorro del agua. Para dicha evaluación se tomó en consideración el precio de la tonelada métrica de arroz húmedo limpio a nivel nacional el cual es de 4130 CUP.

A partir del ahorro de agua se alcanza una producción significativa de 9,07 t en función del área adicional, llegando a un valor de 37464,54 CUP (Tabla 5).

Tabla 5. Efecto económico a partir del ahorro de agua

Variantes	Consumo de agua m ³ ha ⁻¹	Diferencia entre variantes m ³ ha ⁻¹	Rendimiento t ha ⁻¹	Área adicional ha	Producción adicional t	Valor de la producción adicional pesos ha ⁻¹
Nivelación con equipamiento láser	7305	8192,52	8,1	1,12	9,07	37464,54
Nivelación tradicional (con fangueo)	15497,52		4,9			

Para que el riego sea un elemento de incremento de la rentabilidad económica de la empresa, es necesario que el incremento de rendimiento pague los gastos de riego y deje un margen de ganancia. Conocer cuánto cuesta 1 m³ de agua en cualquier sistema de regadío es de extrema importancia, ya que nos permitirá mediante relaciones contractuales entre el usuario y el suministrador, establecer el cobro de la misma.

Con el cobro del agua se pueden lograr varios objetivos:

- Estimular el ahorro del agua
- Promover decisivamente la conservación de la fuente y el aprovechamiento racional del agua y las inversiones destinadas a esa finalidad, así como crear condiciones que permitan integrar el agua a los costos de producción y su análisis, de modo general, incorporar este vital y decisivo recurso a los mecanismos del sistema de dirección y planificación de la economía.

Considerando el valor de un metro cúbico de agua, se determinó el costo de la misma para producir una tonelada de arroz en las diferentes variantes (Tabla 6) consiguiéndose un ahorro de aproximadamente 40 pesos t⁻¹ de arroz producida, favoreciendo la variante nivelada con equipamiento láser.

Tabla 6. Costo del agua en las diferentes variantes

Variantes	Consumo de agua m³ ha⁻¹	Costo de agua en la variante pesos ha⁻¹	Rendimiento t ha⁻¹	Costo del agua por 1 t de arroz producida CUP
Nivelación con equipamiento láser	7305	131,49	8,1	16,23
Nivelación tradicional (con fangueo)	15497,52	278,95	4,9	56,92

Los datos anteriores están en función del área, pero es interesante conocer también el consumo de agua en función de la producción, coincidiendo también en que fue menor en la variante con láser de 901,85 m³ t⁻¹, mientras que en la variante tradicional (con fangueo) fue de 3162,76 m³ t⁻¹.

Los esfuerzos para elevar los rendimientos del arroz, plantean la necesidad de una inversión eficiente en generación y uso de tecnologías. El estudio de Sierra *et al.* (2012) evaluó los costos de la producción de acuerdo a la tecnología y a la nivelación empleada en el Complejo Agroindustrial (CAI) arrocero “Fernando Echenique” de Granma. Se obtuvo el valor del costo de la nivelación con láser, donde previamente se hizo un proyecto para determinar las pendientes óptimas, así como los volúmenes de trabajo mínimos a ejecutar, de 360.66 pesos ha⁻¹ mientras que en el tradicional hubo un costo de 195 pesos ha⁻¹.

La diferencia fue de 165.66 pesos ha⁻¹. Este incremento se debe al tener que utilizar equipos de mayor consumo energético para mover la niveladora, y al estudio previo de la topografía.

Se reconoce que en la actualidad los costos de la producción han ido aumentando, aunque proporcionalmente; el invertir en la tecnología láser, aun siendo más cara, reportaría no solo mayores rendimientos sino también notables ganancias.

De forma general después de evaluar los resultados obtenidos por cada variante se puede resumir que la nivelación con equipamiento láser genera una serie de ventajas, las cuales se detallan a continuación:

- Lámina de agua con altura uniforme: con la nivelación tradicional se encontraron diferencias de hasta 20 cm en la altura de la lámina de agua dentro de una misma terraza. Con la nivelación láser, en cambio, la diferencia no excede los 3 cm.
- Ahorro de agua: en comparación a la nivelación tradicional, la láser permite conseguir hasta aproximadamente un 50% de ahorro en agua.
- Aumento del rendimiento: al aumentar la eficiencia del uso de los recursos y también la condición en la que se encuentran las plantas, se puede obtener un aumento considerable del rendimiento.
- Mejor germinación y densidad de las plantas: al estar la superficie más uniforme, tanto la germinación de las semillas como la densidad de las plantas también serán más homogéneas.
- Mayor homogeneidad de madurez: con la nivelación tradicional, debido a la desuniformidad de los niveles de agua, los granos alteran su periodo de maduración, mezclándose los maduros con los sobremaduros y verdes. La nivelación láser permite obtener una madurez uniforme con una buena calidad del grano.
- Disminución de malezas: la nivelación láser puede disminuir en mayor medida la población de malezas en comparación con la nivelación tradicional.
- Aumento de la superficie cultivable: gracias a la nivelación láser, es posible obtener terrazas o cuadros más grandes y derechos, lo que permitirá disminuir la cantidad de espacio no utilizado respecto a la

nivelación tradicional. La superficie cultivable puede aumentar al disminuir la cantidad de diques.

- Mayor eficiencia de las operaciones: al obtener terrazas más parejas, con menor rugosidad en la superficie, y con una pequeña pendiente uniforme, algunas labores como el llenado y drenaje de los cuadros aumentarán su eficiencia. Algo similar ocurrirá en las operaciones relacionadas con la preparación del suelo, manejo del agua, fertilización, control de malezas y cosecha.
- Aumento de eficiencia en absorción de fertilizantes: al estar más uniforme el terreno, no existirán zonas de acumulación en donde se estanquen los fertilizantes como suele pasar con la nivelación tradicional.

Conclusiones

1. En la norma total de riego neta se obtuvo una diferencia significativa entre variantes, siendo la tradicional (con fanguero) la que alcanzó los valores más altos.
2. Al evaluar los índices morfológicos se observaron diferencias estadísticas significativas en altura de la planta y número de hijos por planta favorables a la variante nivelada con equipamiento láser.
3. Al determinar el rendimiento agrícola y sus componentes se obtuvieron diferencias significativas favorables para la variante nivelada con equipamiento láser.
4. A partir de las normas totales de riego netas de cada variante se estimó un ahorro del agua de $8192,52 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, equivalente a un valor de 37464,54 CUP.
5. La variante nivelada con equipamiento láser permitiría un ahorro de aproximadamente 40 pesos t^{-1} de arroz producida.

Recomendaciones

1. Estudiar económicamente la factibilidad de la nivelación con equipamiento láser.
2. Aumentar el número de hectáreas niveladas con equipamiento láser.

Bibliografía

1. Alemán, L 1981, *Experiencia de la nivelación en agua*, Ciencia y Técnica en la Agricultura.
2. ----- 2000, “Modernización de los Sistemas de Riego y Drenaje del arroz”, Informe final del Proyecto, Instituto de Investigaciones del Arroz.
3. Alemán, R, Gil, V, Quintero, E, Saucedo, O, Álvarez, U, García, JC, Chacón, A, Barreda, A y Guzmán, L 2008, *Producción de granos en condiciones de sostenibilidad*, CIAP, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central “Martha Abreu” de las Villas, 50 p.
4. Arango, R 1995, *Guía Arrocería Nacional*, La Habana.
5. Arzuaga, A 2016, *Renacer ¡Con nuestros propios esfuerzos!*, Editora Política, La Habana.
6. Caicedo, YJ 2008, “Evaluación de características agronómicas de cuatro líneas interespecíficas de arroz (*Oryza sativa* L./ *Oryza latifolia* L.) comparadas con dos variedades comerciales y una nativa en el corregimiento # 8 de Zacarías, municipio de Buenaventura”, tesis para optar al título de Agrónomo del Trópico Húmedo, Universidad del Pacífico.
7. Camellón, JL 2015, “Emplean en Sancti Spíritus tecnología láser para nivelar suelos de arroz”, *Escambray* 7 de mayo, p. 4.
8. ----- 2017, “La Zaza se desnuda”, *Escambray* 18 de mayo, p. 5.
9. CIAT 2005, *Guía de estudio, Morfología de la planta de arroz*, Cali, Colombia.
10. Cuba 2001, *Instituto de Investigaciones del arroz. Instituto técnico del Arroz (Segunda emisión)*, La Habana, Cuba, visto el 7 de marzo de 2015, <<http://www.ecured.cu/index.php/Arroz>>.
11. Datta, SK, Levine, G y Williams, A 1975, “Manejo del agua y necesidades del riego del arroz en Cultivo del arroz” en *Manual de Producción*, EAUF-IRRI, Editorial Limusa, México.

12. Diakite, M 1987, "Estudio sobre el manejo del agua en el cultivo del arroz en la Empresa Arrocería La Sierpe", tesis por la opción de Doctor en Ciencias Agrícolas, UCLV.
13. Dueñas, R 1976, "Estudio del Régimen de Riego del Arroz en condiciones de producción en la empresa Arrocería Sur del Jíbaro", tesis por la opción de Doctor en Ciencias, República de Bulgaria.
14. Dueñas, R, Assenov, D y Alonso, N 1981, *El Riego*, Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana.
15. Dueñas, R 2015, *Riego en el cultivo del arroz*, monografía
16. Dutta, P, Nath, P & Borua, PK 2013, *Morphological traits as selection indices in rice: a statical view*, visto el 10 de enero del 2017, <http://www.hrpub.org>.
17. FAO 2004, *Todo sobre el arroz*, visto el 12 de diciembre del 2015, <<http://www.fao.org/rice2004/es/world.htm>>.
18. ----- 2006, *Seguimiento del mercado del arroz*, Roma IT, visto el 17 de octubre del 2017, <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/ag068s/ag068s00>>.
19. Figueredo, O y Tesoro, S 2017, "De moros, cristianos y la agricultura en Cuba", en Foro Debate de la Mesa Redonda el 22 marzo.
20. Fontán, C 2008, *El cultivo del arroz en corriente: situación actual y perspectivas*, visto el 4 de mayo del 2015, <www.taringa.net>.
21. Franquet, JM y Borrás, C 2010, *Economía del Arroz: Variedades y mejora*, Universidad de Málaga. Biblioteca Virtual de Derecho, Economía y Ciencias Sociales. ISBN-10:84-689-7762-4, visto el 5 de enero de 2017, <<http://www.eumed.net/libros>>.
22. González, J 2005, "Evaluación de diferentes tecnologías de siembra de arroz (*Oryza sativa* L.) en la provincia de Sancti Spíritus", tesis presentada en opción al título de Máster en Ciencias Agrícolas, Universidad de Ciego de Ávila.
23. González, RC 2015, "Evaluación agroproductiva de cuatro cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) en el Sur del Jíbaro", tesis para aspirar al título de Ingeniero Agrónomo, UCLV.

24. Guerra, R 1988, *El desarrollo hidráulico en la República de Cuba*, Instituto de Hidroeconomía.
25. Hansen, I 1967, *Principios y aplicaciones del riego*, edición Revolucionaria, La Habana.
26. Hernández, A, Pérez, JM, Bosch, D y Rivero, L 1999, Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba, Instituto de suelos, AGRINFOR.
27. Hernández, E 2007, “Nueva Tecnología de nivelación de las terrazas en el cultivo del arroz”, Trabajo de Forum, Instituto Investigaciones del Arroz.
28. Hill, EJ, Robert, JR & Williams, F 1992, *Rice Production in California*, Cooperative Extension University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, USA.
29. IRRI 1981, *Standart Evaluation System for Rice*, Manila, Philippines
30. ----- 2002, *Standard Evaluation System for rice*, fourth edn.
31. InfoAgro 2012, *El cultivo del arroz*, visto el 10 de abril de 2014, <<http://www.infoagro.com/herbaceos/cere8ales/arroz.htm>>
32. Instituto de Investigaciones del Arroz (IIA) 2001, *El cultivo del arroz*, visto el 3 de octubre del 2014, < www.iaa.org>.
33. ----- 2002, *Manual Arroceros*, Segunda Edición, La Habana.
34. León, O 2007, “El Riego en el cultivo del arroz”, Conferencia presentada en el Instituto de Investigaciones del Arroz.
35. Lira, ME 2004, “Evaluación del sistema de intensificación de arroz (*Oryza sativa* L) en comparación a dos sistemas de siembra tradicionales bajo condiciones de riego en Darío, Matagalpa”, tesis por la opción de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Agraria (UNA), Managua, Nicaragua.
36. Martín, D y Socorro, M 1989, *Granos*, Editorial Pueblo y Educación, La Habana.
37. Martínez, J, León, I y Rodríguez, M 2007, “Nuevo paquete tecnológico para incrementar la productividad del arroz”, Trabajo presentado en la

Reunión técnica del cultivo, Departamento de Tecnologías y Control técnico del Instituto de Investigaciones del arroz, noviembre.

38. Martínez, T 2010, "Caracterización y optimización del ahijado del arroz en el Delta del Ebro", tesis presentada en opción al título de Doctor, Universidad Politécnica de Valencia.
39. Meneses, J 2008, "El riego en el cultivo del arroz en Cuba", Conferencia presentada en el Instituto de Investigaciones del Arroz.
40. MINAG 2008, *Instructivo Técnico del Arroz*, Instituto de Investigaciones del Arroz, La Habana.
41. MINAGRI 2002, *Manual del arrocero*, Segunda edición, Instituto de Investigaciones del Arroz.
42. Ministerio de Finanzas y Precios, 2012, "Tarifas en pesos cubanos (CUP) o pesos convertibles (CUC) para el servicio técnico-productivo de abasto de agua y otros servicios afines que prestan las empresas de aprovechamiento hidráulico", *Resolución No.421/2012*, Anexo No. 2, República de Cuba.
43. Olmos, S 2007, *Apunte de morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético del arroz*, Cátedra de Cultivos II, Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE, Corrientes – Argentina.
44. Parikh, M, Motiramani, NK, Rastogi, NK & Sharma, B 2012, *Agromorphological characterization and assessment of variability in aromatic rice germplasm*. Bangladesh J. Agril. Res, vol.37, no.1, SSN 0258-7122.
45. Plá, A 1975, *Ensayos demostrativos de la cantidad de agua utilizada por hectárea en la siembra primavera*.
46. Polo, M y Alfonso, R 2013, *El arroz: un cereal imprescindible* visto el 16 de noviembre del 2017, <<http://www.sld.cu/saludvida/temas.php?idv=4366>>.
47. Prakash, J, Bhatia, M, Jat, MI & Singh, H 2015, *Impacts of laser land leveling in rice-wheat systems of the north-western indo-gangetic plains of India*, Bussines Media Dordrecht and International Society for Plant Pathology.

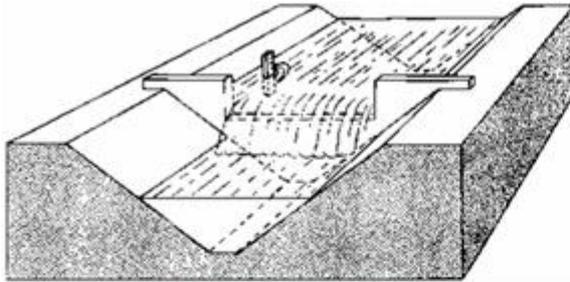
48. *Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina 2010*, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), CD-ROM, Cali, Colombia, ISBN 978-958-694-103-7.
49. Puldón, V 2007, “Características morfológicas relacionadas con la descripción e identificación de variedades de arroz”, Segunda edición, Curso sobre producción de semillas de arroz en el Instituto de Investigaciones del Arroz (IIArroz).
50. Quintero, CE 2009, “Factores limitantes para el crecimiento y productividad del arroz en Entre Ríos, Argentina”, tesis Doctoral, Universidade da Coruña.
51. *Resumen Histórico Económico de la producción de arroz en Cuba 1975*, Dirección General de Arroz del Instituto Nacional de Reforma Agraria de Cuba.
52. SAG (Secretaría de Agricultura y Ganadería) 2003, *Manual técnico para el cultivo de arroz. (Oryza sativa L.). Manual para extensionistas y productores. Programa de arroz*, Comayagua, Honduras.
53. Sánchez, S y Socorro, M 2008, *Tecnología del cultivo del arroz en pequeña escala*, Biblioteca Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF).
54. Sarawgi, AK, Subba, LV, Parikh, M, Sharma, B & Ojha, GC 2013, “Assessment of Variability of Rice (*Oryza sativa* L.) Germplasm using Agro-morphological Characterization”, *Journal of Rice Research*, vol. 6, no.1.
55. Sanzo, R, Pérez, R, Meneses, P, Saborit, R, García, J, Rodríguez, R, Meneses. R y Jiménez, R 2008, “ABC” *Técnico del Arroz Popular*, segunda edición, Instituto de Investigaciones del Arroz, Estación Territorial de Investigaciones del Arroz “Sur del Jíbaro”, Sancti Spíritus.
56. Sierra, L, Herrera, J, Alemán, C, Alarcón, R y Reyes, J 2012, “Valoración técnica y económica de la nivelación con láser y tradicional en el arroz de la provincia Granma”, *Revista Ingeniería Agrícola*, vol. 2, no. 1, enero-junio, pp. 17-23

57. Tabuchi, T 1995, "Paddy Fields and Evaporation Basin in Australia", Paddy Fields in the World, Australia, pp. 1-9.
58. Tinarellí, A 1989, *El arroz*, Segunda edición, Editorial EDAGRICOLE, Bologna, Italia.
59. UCAIA 2001, "Planificación, uso del agua y otras acciones para ejecutar el riego en las arroceras", Folleto, 14 de mayo.
60. Vallés, A 1983, *Un nuevo método para la organización del riego en las empresas arroceras*, Ministerio de la Agricultura, Centro de Información y Divulgación Agropecuario, La Habana.
61. Watkins, KB, Hill, JL & Anders, MM s.a, *Evaluating the Costs of Precision-Leveling Rice Fields*, visto el 12 de junio del 2017, <<http://arkansasagnews.uark.edu/550-52.pdf>>.

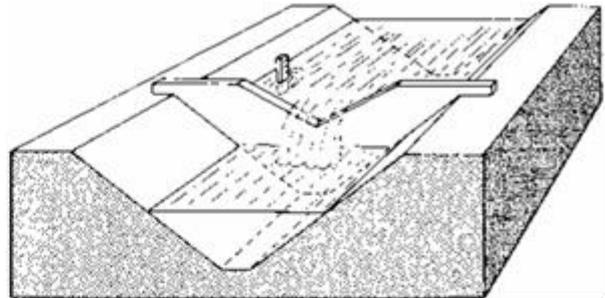
Anexos

Anexo I

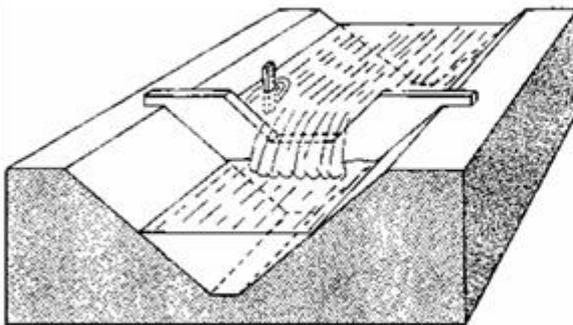
Vertedor rectangular



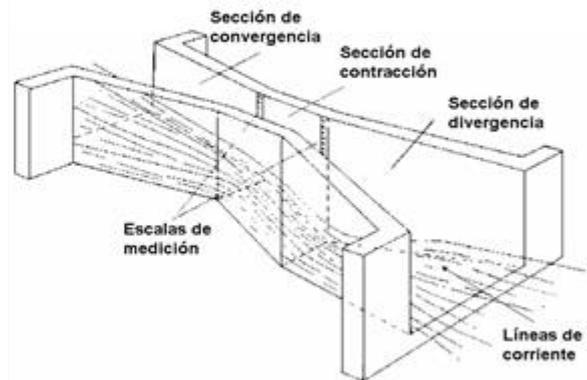
Vertedor triangular



Vertedor trapezoidal



Aforador Parshall



Diferentes tipos de vertederos para medir el agua de riego

Anexo II

Gasto a través de un vertedero trapezoidal de Cipolletti para diferentes longitudes y alturas

Altura en cm	Longitud de la cresta del vertedero en metros									
	0,25	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Gasto en l/seg										
1	0,5	0,9	1,4	1,9	2,8	3,7	5,6	7,4	9,3	11,2
2	1,3	2,6	3,9	5,3	7,9	10,1	15,8	21,0	26,3	31,6
3	2,4	4,8	7,2	9,7	14,5	19,3	29,0	38,7	48,3	58,0
4	3,7	7,4	11,2	14,9	22,3	29,8	44,6	59,5	74,4	89,3
5	5,2	10,4	15,6	20,8	31,2	41,6	62,4	83,2	104	125
6	6,8	13,7	20,5	27,3	41,0	54,7	82,0	109	137	164
7	8,6	17,2	25,8	34,4	51,7	68,9	103	138	172	207
8	10,5	21,0	31,6	42,1	63,1	84,2	126	168	210	252
9	12,6	25,1	37,7	50,2	75,3	100	151	201	251	301
10	14,7	29,4	44,1	58,8	88,2	118	176	235	294	353
11	17,0	33,9	50,9	67,8	102	136	204	271	339	407
12	19,3	38,7	58,0	77,3	116	155	232	309	387	464
13	21,8	43,6	65,4	87,2	131	174	262	349	436	523
14	24,4	48,7	73,1	97,4	146	195	292	390	487	585
15	27,0	54,1	81,1	108	162	216	324	432	540	649
16	29,8	59,5	89,2	119	178	238	357	476	595	714
17	32,6	65,2	97,8	130	196	261	391	522	652	782
18	35,5	71,0	107	142	213	284	426	568	710	852
19	38,5	77,0	116	154	231	308	462	616	770	924
20	41,6	83,2	125	166	250	333	499	666	832	998
21	44,8	89,5	134	179	268	358	537	716	895	1074
22	48,0	96,0	144	192	288	384	576	768	960	1152
23	51,3	103	154	205	308	410	616	821	1026	1231
24	54,7	109	164	219	328	437	656	875	1094	1312
25	58,1	116	174	232	349	465	698	930	1162	1395
26	61,6	123	185	247	370	493	740	986	1233	1480
27	65,2	131	196	261	392	522	783	1044	1305	1566
28	68,9	138	207	276	414	551	827	1103	1378	1654
29	72,6	145	218	291	436	581	872	1162	1452	1743
30	76,4	153	229	306	458	611	917	1222	1528	1834

Fuente: Hansen, I 1967, *Principios y aplicaciones del riego*, pág. 109