



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

**Centro para la Investigación en Recursos
Acuáticos de Nicaragua**



Maestría Regional Centroamericana

Ciencias del Agua

con Énfasis en Calidad de Agua



Trabajo de Tesis

Para optar al grado de

Máster en Ciencias del Agua

**CALIDAD DEL AGUA Y MANEJO DE SUS DIFERENTES
NIVELES PARA EL ÓPTIMO RENDIMIENTO DEL CULTIVO DEL
ARROZ, EN EL VALLE DE SÉBACO, DURANTE EL PERIODO
JULIO-DICIEMBRE, 2011**

Marcia Estrada Guevara
Ingeniera Agrícola

Tutor : PhD Manuel Enrique Pedroza Pacheco

Asesor: PhD Francisco Picado Pavón

Managua, Noviembre 2012



INTA

DEDICATORIA

A mis hijos Eddy Alberto Martínez y Karla Valeska López
a mi compañero Carlos Javier López
mis hermanos y hermanas (Delfina, Ileana, Isabel, Carlos, Francisco, Xochilt)
Mis padres Teresa Guevara y Carlos Estrada (q.e.p.d)

*Es muy común recordar que alguien nos debe agradecimiento,
pero es más común no pensar en quienes les debemos nuestra
propia gratitud (Johann Wolfgang Goethe)*

AGRADECIMIENTOS

Gracias al personal del CIRA, en especial a Katherine Vammen y al profesor Salvador Montenegro por permitirme realizar los estudios de maestría en Ciencias del Agua y su apoyo para poder concluir con mis estudios.

Agradecimiento muy especial a mi equipo de tesis: PhD Manuel Enrique Pedroza Pacheco y PhD Francisco Picado Pavón, quienes fueron mis dos grandes pilares en el trabajo de investigación, quienes dieron el tiempo y dedicación no sólo en los aspectos académicos.

Al valioso apoyo moral y consejo de mis amigos que siempre estuvieron pendiente durante el transcurso de mis estudios a: Bayardo Serrano, Henry Pedroza, Hebé Webster, Venancio Izaguirre, Verónica Serrato, Fátima Bolaños.

A mis compañeros del III curso quienes conformamos una familia y pudimos compartir momentos de trabajo arduo y alegrías durante estos dos años; María José Zamorio, Yamileth, Dimas, Alan, Manuel y Mynor Ruíz.

A mis colegas Joel Herrera, quien no dudó en apoyarme en el prototipo del vertedor; a Egda Espinoza por estar pendiente en la logística, también a Benjamín Herrera por brindarme su apoyo informático, al MSc. César Aguirre por la colaboración e instrucciones brindadas en la toma de muestras de suelo, al personal del Centro Experimental del Arroz (TAINIC) principalmente al Ing. Danilo Huerta.

Agradezco también a ANAR por permitirme realizar los análisis de rendimiento en el laboratorio, en especial al Ing. Wilfredo Bejarano y al analista de laboratorio Ing. Sergio Barahona.

A la Universidad de Ingeniería UNI-RUPAP, a los Ingenieros Aldo Alvarado y José Mamerto Méndez.

No puedo dejar de mencionar al personal del CIRA por la colaboración y apoyo brindado, a la Lic. Maryouri Martínez, Ing. Kent Gómez, MSc. Thelma Salvatierra, MSc. Yelba Flores, MSc. Valeria Delgado.

INDICE GENERAL

Dedicatoria _____	<i>i</i>
Agradecimientos _____	<i>ii</i>
Índice _____	<i>iii</i>
Índice de figuras _____	<i>vi</i>
Índice de tablas _____	<i>ix</i>
Índice de dibujos _____	<i>x</i>
Índice de anexos _____	<i>x</i>
Abreviaciones _____	<i>xi</i>
Resumen _____	<i>xiii</i>

INDICE	Página No
<i>I. INTRODUCCIÓN</i> _____	<i>1</i>
<i>II. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</i> _____	<i>4</i>
2.1 Clima _____	4
2.2 Geomorfología _____	5
2.3 Geología _____	5
2.5 Clasificación taxonómica _____	6
2.6 Uso Potencial del Suelo _____	8
2.7 Uso Actual del Suelo _____	8
Fuente: (Flores, 2004) _____	9
2.8 Aguas Superficiales _____	9
2.8.1 Ríos _____	9
2.8.2 Condiciones Actuales de Explotación de las aguas subterráneas _____	10
<i>III. ANTECEDENTES</i> _____	<i>12</i>
<i>IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i> _____	<i>14</i>
<i>V. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN</i> _____	<i>16</i>
5.1 Objetivo General _____	16
5.2 Objetivos Específicos _____	16
5.3 Justificación _____	16
<i>VI. MARCO TEÓRICO</i> _____	<i>18</i>

6.1	Calidad de agua	18
6.1.1	Propiedades del agua	18
6.1.1.1	Propiedades químicas	19
6.1.1.2	Propiedades físicas del agua	23
6.1.2	Clasificación hidroquímica de las aguas	24
6.1.3	Calidad de agua de riego	26
6.1.3.1	Parámetros de calidad de agua para riego	26
6.1.3.2	Criterios principales para definir la calidad del agua de riego	28
6.2	Contaminación de las aguas	33
6.2.1	Peligro de contaminación de las aguas subterráneas	34
6.2.2	Contaminación de las aguas y suelos por Arsénico (As)	35
6.2.3	Plaguicidas	40
6.2.3.1	Naturaleza química de los plaguicidas o agroquímicos	41
6.2.4	Organoclorados (OCL)	41
6.2.5	Organofosforados (COF)	42
6.2.6	Piretroides	44
6.2.7	Movimiento de los plaguicidas en la zona no saturada (ZNS)	45
6.2.8	Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)	46
6.2.9	Persistencia de los plaguicidas en el suelo y en agua/sedimento	46
6.2.10	Movilidad de los plaguicidas en el suelo	47
6.2.11	Estado legal de plaguicidas en Nicaragua	48
6.2.12	Plaguicidas prohibidos en Nicaragua	49
6.3	Nutrientes y minerales en el suelo	50
6.3.1	Propiedades físicas del suelo	51
6.4	Generalidades sobre el arroz y su cultivo	52
6.4.1	Características del cultivo del tipo indica	54
6.4.1.2	Fases de desarrollo	55
6.4.2	Requerimientos edafoclimáticos del cultivo del arroz	56
6.4.3	Rendimientos en el cultivo del arroz	59
6.4.3.1	Variables de rendimiento	59
6.4.3.2	Calidad industrial del grano	60
6.4.4	El arroz en la producción mundial	62
6.5	Técnicas utilizadas en el manejo del agua en el cultivo del arroz	64
6.5.1	Nuevas técnicas reductoras de agua en el cultivo de Arroz	66
6.6	Eficiencia económica	71
VII.	DISEÑO METODOLÓGICO	73
7.1	Tipo de estudio	73
7.2	Universo y muestra de estudio	73
7.3	Análisis de agroquímicos en matriz agua-suelo-grano	75
7.3.1	Agroquímicos en matriz agua	77
7.3.2	Agroquímicos en matriz suelo	79

7.3.3	Agroquímicos en grano	80
7.4	Análisis físicos y químicos de agua y suelos	81
7.4.1	Análisis de agua	81
7.4.2	Análisis de suelo y taxonomía	83
7.4.3	Arsénico en agua, suelo y grano	85
7.5	Niveles de agua y rendimiento	89
7.5.1	Vertederos	89
7.5.2	Pozos de observación	90
7.5.3	Pluviómetro	91
7.5.4	Calidad de agua	92
7.5.4.1	Tipo Hidroquímico del agua	92
7.5.4.2	Calidad del agua para riego	92
7.6	Rendimiento del cultivo del arroz	92
7.6.1	Parcela experimental (P.E)	93
7.6.2	Componente de rendimiento	93
7.6.2.1	Altura de planta (Ht)	93
7.6.2.2	Longitud de panícula (PnL)	93
7.6.2.3	Número de grano por panícula	94
7.6.2.4	Peso de 1000 granos (P _{1000G})	94
7.6.2.5	Rendimiento de arroz en granza o Paddy (R _{endPy})	94
7.6.3	Componente de Calidad industrial	94
7.6.3.1	Calidad industrial del grano	94
7.6.3.2	Rendimiento de pilada	95
7.6.3.3	Índice de pilada	95
7.6.3.4	Análisis físico	95
7.6.4	Análisis estadístico	95
7.7	Costo Beneficio	96
7.7.1	Definición de costos por tratamiento	96
7.7.2	Determinación de los beneficios por tratamiento	97
7.7.3	Determinación de la relación Costo / Beneficio	98
VIII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	99
8.1	Agroquímicos en matriz agua-suelo-grano	99
8.1.1	Organoclorados (OCl) en agua	99
8.1.2	Organofosforados (OP)	100
8.1.2.1	Organofosforados en Agua	100
8.1.2.2	Organofosforados en suelo - arroz	102
8.2	Nutrientes y metales pesados en suelo y agua	104
8.2.1	Físico químico en agua	105
8.2.1.1	Cationes	105
8.2.1.2	Aniones	107
8.2.1.2.1	Comparación de la composición iónica del agua del Pozo perforado (PP-TAINIC) con respecto a las aguas de los tratamientos T1, T2, T3 y T4	111

8.2.1.3.1	Tipo Hidroquímico _____	131
8.2.1.3.2	Dureza _____	133
8.2.2	Nutrientes de suelo _____	134
8.2.2.1	Elementos pesados (Fe, Mg, Zn, Cu) _____	134
8.2.2.2	Cationes en el suelo _____	139
8.2.3	Arsénico (As) en Agua-suelo-grano _____	142
8.2.3.1	As en agua _____	142
8.2.3.2	Arsénico (As) en suelo y grano _____	142
8.3	Niveles de agua y rendimiento de arroz _____	144
8.3.1	Niveles de agua _____	144
8.3.1.1	Volúmenes de agua _____	144
8.3.1.2	Pluviómetro _____	145
8.3.2	Rendimiento en el cultivo del arroz _____	146
8.3.2.1	Componente de Rendimiento _____	146
8.3.2.1.1	Altura de planta (Ht) _____	146
8.3.2.1.2	Longitud de panícula (PnL) _____	147
8.3.2.1.3	Número de granos por panícula _____	148
8.3.2.1.4	Porcentaje de granos buenos _____	149
8.3.2.1.5	Peso de 1000 granos en grs (P _{1000G}) _____	149
8.3.2.1.6	Rendimiento de arroz en granza o Paddy _____	150
8.3.3	Componente de Calidad Industrial _____	152
8.4	Beneficio – Costo _____	154
8.4.1	Costos de manejo agronómico _____	154
8.4.2	Costos por aplicación de agua _____	154
8.4.3	Cálculo de beneficio _____	156
IX.- CONCLUSIONES _____		158
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____		161

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1	Ubicación del área de estudio _____	4
Figura 2	Tipo de suelo en el Valle de Sébaco _____	7
Figura 3	Uso actual del suelo en el Valle de Sébaco _____	9
Figura 4	Diagrama de Piper _____	25
Figura 5	Hectáreas sembradas de arroz a nivel Centroamericano _____	62
Figura 6	Rendimiento de arroz en C.A _____	62
Figura 7	Regímenes hídricos deseables en los arrozales en diferentes etapas de crecimiento en el método tradicional _____	66
Figura 8	Tubo medidor hecho de PVC, en los campos de arroz _____	69
Figura 9	Niveles de agua en las diferentes fases de crecimiento del cultivo _____	70
Figura 10	Tratamientos en la parcela experimental en el Centro Experimental del Arroz Taiwán Nicaragua (TAINIC) Agosto, 2011. _____	75
Figura 11	Toma de muestras para plaguicidas en matriz agua, Noviembre, 2011. _____	78
Figura 12	Cromatógrafo de gases modelo VARIAN 3000. CIRA/UNAN, 2012. _____	79

Figura 13. Cromatógrafo de gases modelo VARIAN 3400. CIRA/UNAN, 2012.	79
Figura 14 Toma de muestras para agroquímicos en suelo, Noviembre 2011.	80
Figura 15. Muestras de arroz oro producido bajo las condiciones del tratamiento T ₁ . Diciembre 2011.	81
Figura 16. Toma de muestras de agua en los diferentes tratamientos. Agosto, 2011.	82
Figura 17. Toma de muestras de agua del PP-TAINIC para análisis físico-químico. Agosto, 2011.	82
Figura 18 Muestras de suelo para análisis de nutrientes. Diciembre 2011.	83
Figura 19 Espesor de cada horizonte	84
Figura 20 Profundidad de raíces	84
Figura 21 Colecta de agua para analizar As en el PP-TAINIC. Agosto 2011.	85
Figura 13 Espectrómetro de absorción atómica modelo VARIAN SpectrAA-240FS. CIRA/UNAN, 2012.	87
Figura 24 Pluviómetro ubicado en el sitio de estudio -TAINIC	91
Figura 25 Toma de humedad y peso del grano de arroz en granza. Diciembre 2011.	93
Figura 26 Concentraciones de organofosforados en matriz agua de los tratamientos T1 y T4 Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), Valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2012.	101
Figura 27 Presencia de Cipermetrina y Clorpirifos en matriz suelo y grano de arroz de los tratamientos T1 y T4 Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), Valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011	103
Figura 28 Concentración de Na en PP-TAINIC y sus diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011	113
Figura 29 Concentraciones de Ca en PP-TAINIC y diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011	114
Figura 30 Concentraciones de Mg en PP-TAINIC y diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011	115
Figura 31 Concentraciones de K en PP-TAINIC y diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.	116
Figura 32 Concentraciones de Cl ⁻ en PP-TAINIC y tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.	117
Figura 33 Concentraciones de Sulfato en PP-TAINIC y diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.	118
Figura 34 Concentraciones de CHO ₃ ⁻ en PP-TAINIC y diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.	119
Figura 35 Concentraciones de Fe ²⁺ en PP-TAINIC y sus diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.	121
Figura 36 Concentraciones de SiO ₂ en PP-TAINIC y sus diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.	122
Figura 37 Concentraciones de NO ₃ en PP-TAINIC y en los diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.	124

Figura 38 Concentraciones de NO ₂ en PP-TAINIC y en los diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.	124
Figura 39 Concentraciones de B en PP-TAINIC y en los diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.	125
Figura 40 Análisis de Componentes Principales (ACP) para los nutrientes en agua. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), Valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.	126
Figura 41 Clasificación de las aguas del PP-TAINIC según normas Riverside para evaluar la calidad de las agua por Ayers y Westcot - FAO	129
Figura 42 Clasificación del agua del tipo hidroquímico para en el PP -TAINIC (Diagrama de Piper)	131
Figura 43 Concentraciones de Fe en el suelo para los diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Diciembre 2011	136
Figura 44 Concentraciones de Mn en los suelos de los diferentes tratamientos, Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Diciembre 2011	137
Figura 45 Concentraciones de Cu en los suelos de los diferentes tratamientos, Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Diciembre 2011	138
Figura 46 Concentraciones de P para los diferentes tratamientos, Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Diciembre 2011	139
Figura 47 Concentraciones de Nitrógeno en los suelos de los diferentes tratamientos, Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Diciembre 2011	141
Figura 48 Comportamiento de alturas de plantas en los diferentes tratamientos, Centro de Experimentación del Arroz TAINIC.	147
Figura 49 Longitud de panícula (LPnL) para los diferentes tratamientos. Diciembre, 2011	148
Figura 50 Peso de 1000 granos en grs para los diferentes tratamientos, Diciembre 2011.	150
Figura 51 Rendimiento en granza o Paddy en los diferentes tratamientos, Diciembre 2011.	151

INDICE DE TABLAS

Tabla 2 Parámetros necesarios para evaluar la calidad del agua	27
Tabla 3 Valores recomendados de microelementos para agua de riego	28
Tabla 4 Directrices para interpretar la calidad del agua para riego (FAO 1984)	32
Tabla 5 Propiedades físico químicas de los plaguicidas	44
Tabla 6. Elementos esenciales en el suelo	50
Tabla 7 Estados fenológicos del cultivo del arroz	56
Tabla 8 Temperatura en las principales etapas de desarrollo del cultivo del arroz	57
Tabla 9 Plan Nacional de Producción de alimentos para el cultivo del arroz	63
Tabla 10 Comparación del método tradicional y de reducción de agua (THS)	70
Tabla 11 Estacionalidad del cultivo del arroz parcelas experimentales	74
Tabla 12 Agroquímicos aplicados durante el ciclo del cultivo del arroz	76

Tabla 13 Agroquímicos seleccionados para ser analizados en las muestras de agua, suelo y grano.	77
Tabla 14 Parámetros y métodos utilizados en análisis físico químico de aguas	83
Tabla 15 Momentos que se realizaron los muestreos en los diferentes compartimentos	87
Tabla 16. Resultados de análisis de Organoclorados en pozo perforado (PP-TAINIC) del Centro de Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), Valle de Sébaco, Matagalpa, Agosto 2011.	99
Tabla 17 Propiedades físicas y químicas de agroquímicos (FAO, 2000)	104
Tabla 18 Concentraciones promedias de los principales cationes en las aguas de los diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), Valle de Sébaco-Matagalpa, Noviembre 2011.	105
Tabla 19 Concentraciones promedio de los principales aniones en las aguas de los diferentes tratamientos de los diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), Valle de Sébaco-Matagalpa, Noviembre 2011.	107
Tabla 20 Concentraciones de Fe SiO ₂ , NO ₂ y B de los diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), Valle de Sébaco-Matagalpa, Noviembre 2011.	110
Tabla 21 Composición iónica (mg/l) de las aguas de los diferentes tratamientos	127
Tabla 22 Comportamiento de Na, Ca, Mg, HCO ₃ en los diferentes tratamientos	130
Tabla 23 Clasificación del agua según su dureza para en el PP-TAINIC	133
Tabla 24 Resultados de la clasificación de dureza expresada en grados higrométricos Franceses (GHF) en pozo y en los diferentes tratamientos	134
Tabla 25 ANDEVA en CaCO ₃ (mg/l) en los diferentes tratamientos	134
Tabla 26 Concentraciones de nutrientes en suelo y valores recomendados	134
Tabla 27 Concentración de nutrientes en el suelo y rangos de relaciones catiónicas recomendadas	139
Tabla 28 Relaciones catiónicas de bases intercambiables en los suelos de los diferentes tratamientos	140
Tabla 29 Resultados de As en Suelo y grano de arroz en los tratamientos T ₁ y T ₄	144
Tabla 30 Volúmenes de agua en los diferentes tratamientos	144
Tabla 31 Proyección de volúmenes de agua en los diferentes tratamientos	145
Tabla 32 Valores de componentes de rendimiento para los diferentes tratamientos	146
Tabla 33 Análisis estadísticos para la variable número de granos por PnL	149
Tabla 34 Resultados de análisis para la variable % de granos buenos	149
Tabla 35 Significancia estadística de componentes de rendimiento en los diferentes tratamientos aplicando prueba de Duncan	152
Tabla 36 Contrastes ortogonales para la variable rendimiento en los diferentes tratamientos de estudio	152
Tabla 37 Calidad industrial en los diferentes tratamientos	153
Tabla 38 Análisis físicos realizados al arroz granza para los diferentes tratamientos en estudio	153
Tabla 39 Costos de producción por mz del cultivo del arroz - INTA Dorado	154
Tabla 40 Costos por cada tratamiento en dólares	156
Tabla 41 Beneficios	156
Tabla 42 Relación beneficio - costos por tratamientos para 1 ha	157

INDICE DE DIBUJOS

Dibujo 1 Tubos medidores de agua	68
Dibujo 2 Vertedero triangular de pared delgada	90
Dibujo 3 Regla graduada	90
Dibujo 4 Ubicación de los vertederos en las parcelas (tratamientos) experimentales	90
Dibujo 5 Diseño del tubo observador ubicado en el tratamiento T1	91

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Valores teóricos de pHc _____	169
Anexo 2 Nomograma de RAS _____	170
Anexo 3 Plaguicidas prohibidos según acuerdo ministerial 23-001 _____	172
Anexo 4 Información general - INTA Dorado _____	174
Anexo 5 Taxonomía de las parcelas TAINIC _____	177
Anexo 6 Datos pluviométricos - TAINIC _____	178
Anexo 7 Valores RAS en PP-TAINIC y diferentes tratamientos _____	178
Anexo 8 Cuaderno de campo _____	181
Anexo 9 Resultados de calidad industrial _____	182
Anexo 10 Normas establecidas en la calidad del arroz _____	187
Anexo 12 Costos en el manejo de una manzana en el cultivo del arroz (C\$) _____	188

ABREVIACIONES

ANAR	Asociación Nicaragüense de Arroceros
ANOVA	Análisis de Varianza
AWD	Alternancia humectación/secado
B/C	Relación Beneficio Costo
CC	Capacidad de Campo
CE	Conductividad Eléctrica
CIRA	Centro para la Investigación de los Recursos Acuáticos de Nicaragua
CODEX Alimentarios	Normas Internacionales de los Alimentos
COF	Compuestos Organofosforados
COP	Contaminantes Orgánicos Persistentes
Da	Densidad Aparente
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
FAO	Organización para la Alimentación y la Agricultura
FSANZ	Agencia de Normas Alimentarias de Australia y Nueva Zelandia
GEF-REPCar	Manual del Programa de Monitoreo Costero
Ht	Altura de Planta
INTA	Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria
IPCC	Convención Internacional de Protección Fitosanitaria
IRRI	Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz
ISO/IEC	Norma Técnica Internacional
JEFSA	Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria
Kg/ha	Kilogramos por Hectárea
LAQUISA	Laboratorios Químicos, S.A
LM	Límite Máximo
LM	Límite de Marchitez
MAGFOR	Ministerio de Agricultura Ganadería y Forestal
MANOVA	Análisis Multivariados
MMC	Millones de Metros Cúbicos
NIA	Administración Nacional de Riegos
NM	Normas Máximas
NTN	Norma Técnica Nicaragüense
OCL	Compuestos Organoclorados
OMS	Organización Mundial de la Salud
PAE	Peso del Arroz Entero
PAI	Peso de Arroz Integral
PAO	Peso del Arroz Oro
PN	Peso Neto
PnL	Longitud de panícula
PNUMA	Programa Ambiental del Caribe Kingston

PP-FC-TAINIC	Pozo perforado al final de campaña en el Centro experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua
PP-IC-TAINIC	Pozo perforado al inicio de campaña en el Centro experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua
RAS Adj	Relación de Absorción de Sodio Ajustado
RUP	Plaguicida de uso restringido
TAINIC	Centro Experimental del Arroz, Taiwán-Nicaragua
THS	Técnica húmedo seco
Tm/ha	Tonelada métrica por hectárea
UNAN	Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
UNI	Universidad Nacional de Ingeniería
VAC	Costos de inversión o costos totales
VAI	Valor actual de los ingresos totales
Yld	Rendimiento en granza o Paddy
ZNS	Zona no Saturada

RESUMEN

Autora: Marcia Estela Estrada Guevara

Tema: Calidad del agua y manejo de sus diferentes niveles para el óptimo rendimiento del cultivo del arroz, en el valle de Sébaco, durante el periodo julio-diciembre, 2011.

Año de publicación: 2012

Palabras claves: Calidad del agua, contaminación por plaguicidas, arroz, volúmenes de agua.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la calidad de las aguas utilizadas en el cultivo del arroz, así como, demostrar experimentalmente que los rendimientos alcanzados por las prácticas convencionales en el cultivo del arroz pueden ser también obtenidos disminuyendo hasta un 45% de volúmenes de agua. Se establecieron parcelas experimentales en Diseño completo al azar (DCA), en el Centro Experimental del Arroz Taiwán Nicaragua (TAINIC), ubicado en el valle de Sébaco del departamento de Matagalpa, Nicaragua, durante el período Julio-Diciembre 2011. Se colectaron muestras de agua, suelo y grano al inicio y final de campaña para determinar el contenido de plaguicidas, Arsénico (As) y las propiedades físico-químicas a través de Cromatografía de gases, espectrometría de absorción atómica y métodos estandarizados respectivamente. Los niveles de agua evaluados de acuerdo a los diferentes tratamientos (T) fueron: T₀= Secano; T₁= Técnica Húmedo Seco; T₂= 1 pulgada de agua; T₃= 2 pulgadas de agua y T₄= 3 pulgadas de agua. Compuestos como el Clorpirifos, y la Cipermetrina, así como el As fueron detectados en las muestras de agua, suelo, y grano. Concluyendo que las parcelas con menores volúmenes de agua en el cultivo del arroz hay mayores concentraciones de plaguicidas (Clorpirifos y Cipermetrina) y en las parcelas de mayores volúmenes de agua se encuentran mayores concentraciones de As en el grano de arroz. El ANDEVA de las variables físico-químicas revela que sólo los iones Na, Mg, SiO₂ muestran diferencias significativas entre tratamientos. Todos los niveles de concentraciones de plaguicidas, As e iones evaluados fueron inferiores a los establecidos por las normas internacionales CAPRE, FAO, OMS y Codex alimentarios. Los mayores rendimientos se obtuvieron con una tabla de agua de 3 pulgadas (tratamiento T₄) superando el rendimiento promedio nacional (68,87 qq/ha) en arroz de riego. Se recomienda la validación del T₄ en fincas productoras de arroz para promover ésta tecnología como alternativa de ahorro de agua.

I. INTRODUCCIÓN

Se ha estimado que en el valle de Sébaco la demanda de las aguas subterráneas utilizada para el riego del cultivo del arroz es aproximadamente de 43 MMC anuales (Flores, 2004), sin embargo, las aguas de los ríos Viejo y Grande de Matagalpa también son utilizadas para tal fin.

La cantidad de agua utilizada también va acompañada por su calidad. En algunas áreas del Valle de Sébaco, la calidad tanto de las aguas superficiales como la de las subterráneas está afectada por concentraciones anómalas de metales como el Arsénico y el Plomo (Altamirano, M 2005), así como de otras sustancias peligrosas como los plaguicidas (González, R. 2004). Los plaguicidas son utilizados en el cultivo del arroz para el control de insectos, hongos, hierbas, roedores, que dañan la cosecha del cultivo.

Los plaguicidas más utilizados en el cultivo del arroz son: carbendazim (de la familia de los Carbamatos), diazinon, roundup, clorpirifos , 2-4 D (de la familia de los organofosforados) y la cipermetrina (de la familia de los piretroides), entre otros. La presencia de estos plaguicidas en las áreas del cultivo del arroz altera el estado natural de las aguas. Desde esta matriz las moléculas de plaguicidas pueden incorporarse a otras matrices como el suelo y en la planta misma. En este contexto se han divulgado normas o valores guías internacionales para evaluar la calidad de las aguas en cuanto a la presencia de plaguicidas (OMS, 2006).

Por otro lado, la presencia del Arsénico en las aguas para el riego del cultivo del arroz ha sido un tema muy discutido debido a su alta solubilidad y su incorporación desde las aguas hacia las plantas, y consecuentemente en la acumulación en el grano, cuyo consumo afecta la salud del ser humano (CODEX , 2011).

Según prácticas tradicionales, el uso del agua en el cultivo del arroz, en el Valle de Sébaco, ha sido anegando el terreno sin ningún control ni registro del agua utilizada. Esto incurre en; el desconocimiento de los costos reales de producción, en la disminución, en la disponibilidad del recurso agua y posiblemente en la contaminación del mismo producto de la lixiviación de las aguas residuales de las áreas anegadas.

El Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz (IRRI) (FAO, 2010), ha venido estudiando, en países como Filipinas, reducir los volúmenes de agua a través de la implementación de nuevas técnicas sin afectar la producción en el arroz. Estas técnicas han logrado reducir entre un 20 y un 30% el volumen total de agua utilizado (FAO, 2010), lo cual permite reducir las probabilidades de infiltración de los plaguicidas, utilizados en las labores agrícolas, hacia las aguas subterráneas.

Estas prácticas y otros procedimientos deben ser implementados en el país dado a la gran importancia que tiene el arroz en la economía nacional y la dieta alimenticia de los nicaragüenses. Entre todos los cereales existentes, el arroz es, sin duda alguna, el que ofrece la posibilidad de llenar más rápidamente un déficit de producción agrícola para la alimentación del hombre, debido a que el 75% de la población mundial incluye el arroz en su dieta alimenticia diaria, pudiendo superar en algunos casos el consumo de otros cereales como el maíz y el trigo (Franquet Bernis, 2004).

Si bien esta reducción de agua puede constituirse en un aporte importante en la mitigación del cambio climático, no solo por la reducción de los volúmenes de agua, sino también porque se estima que los cultivos anegados de arroz liberan metano a la atmósfera; también deberán considerarse los aspectos que pueden impactar de forma negativa como el que la anegación del cultivo permite entre otras cosas simplificar el control de malas hierbas y de plagas, lo

que deberá ser sustituido por métodos mecánicos o químicos, cuyo impacto al medioambiente deberá ser evaluado.

De manera que una de las estrategias para la reducción de la demanda de agua en el ciclo del cultivo del arroz es alternando la saturación con el secado del suelo. El presente estudio contribuirá al establecimiento de técnicas reductoras de agua en el cultivo del arroz y con ello reducir la contaminación por agroquímicos a las aguas subterráneas y los cuerpos de agua superficial.

II. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en parcelas experimentales del Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC) ubicado en el Valle de Sébaco, comunidad El Horno del departamento de Matagalpa, a 97 km de la ciudad de Managua. El TAINIC se ubica entre los municipios de Sébaco, Ciudad Darío y San Isidro específicamente entre las coordenadas UTM norte 1415160 y este 591019 y a una elevación de 481 m.s.n.m entre los ríos Viejo y Grande de Matagalpa a una distancia de 2300 m y 250 m respectivamente (Figura 1).

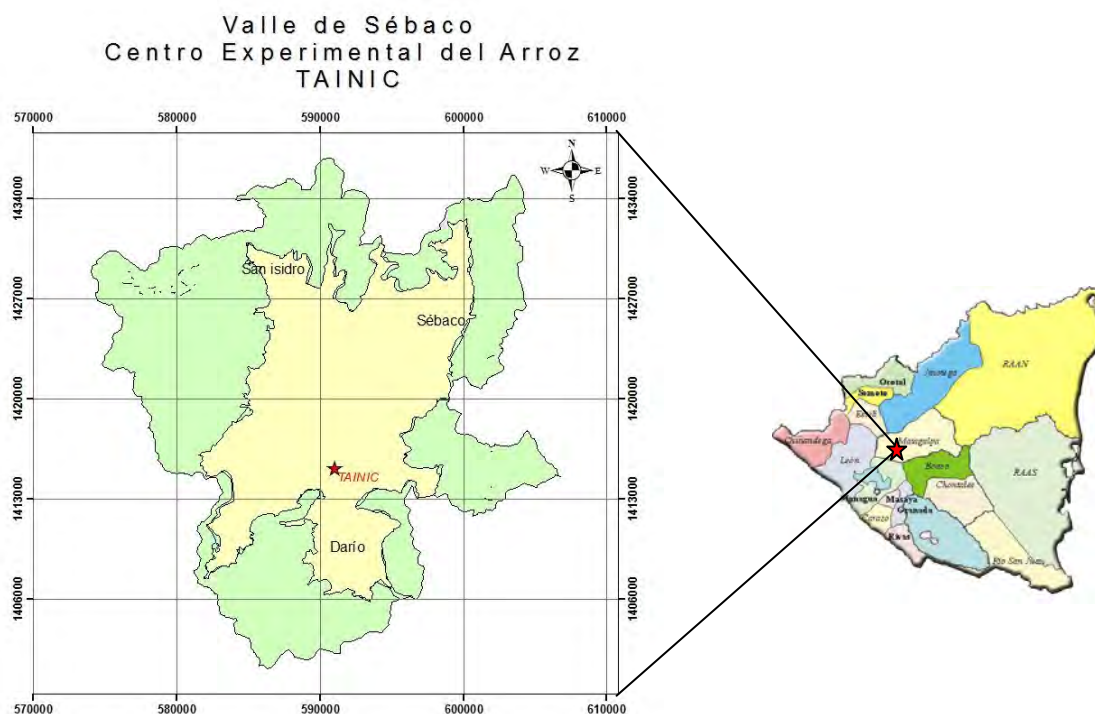


Figura 1 Ubicación del área de estudio

2.1 Clima

El clima es clasificado según Köpen como de sabana tropical seco, como semi-húmedo. La temperatura media anual que oscila entre los 21° y 30° C., en algunos casos alcanza temperaturas máximas extremas de 41° C. La precipitación pluvial varía, la mínima es de unos 800 mm y la máxima alcanza

los 2,000 mm, caracterizándose por una buena distribución durante todo el año, y la estación seca es de Noviembre a Abril (INIFOM, 2011).

2.2 Geomorfología

El Valle de Sébaco en sí, es una extensa planicie formada de materiales aluviales con una extensión aproximada 263,33 km² (Flores, 2004).

Topográficamente se distinguen elevaciones de hasta 1,339 m (Cerro La Punta en el extremo noroeste de la cuenca). La zona montañosa tiene su pié de monte a una altura de 480 m.s.n.m, dando paso a un área escarpada, que representa las fronteras del valle. Las menores elevaciones, de 430 m.s.n.m se localizan cerca del embalse La Virgen, al suroeste.

Los flancos este y oeste tienen pendientes de hasta 80%; al contrario de los límites norte y sur, que presentan un relieve más moderado, de lomas suaves, con pendientes de 30%. El Valle posee dos extensos cauces, por donde corren los ríos Viejo, al oeste, y el Grande de Matagalpa, al este (Flores, 2004).

2.3 Geología

La formación de las montañas que rodean el valle aluvial de Sébaco, se debe en primer lugar al intenso vulcanismo del terciario y los movimientos orogénicos posteriores, que produjeron un intenso fallamiento agrupados en tres sistemas: Fallamiento de rumbo noroeste – suroeste; un segundo, de rumbo noreste-suroeste y finalmente uno de rumbo norte sur (éstas son las más recientes). Este fallamiento ha creado una morfología de bloques escalonados, con un buzamiento general en dirección a la Depresión Nicaragüense. Además, estas fallas han creado la forma actual del valle parecida a un paralelogramo.

La depresión en la que se formó el valle está rellena por materiales aluviales y coluviales, provenientes de las montañas aledañas (Flores, Y. 2004).

2.4 Estratigrafía

Las unidades estratigráficas que predominan son las rocas de la formación volcánica terciaria y los sedimentos del cuaternario, formados a partir de la desintegración mecánica y química, el arrastre y acumulación de las rocas terciarias.

- Volcánico Terciario

Estas rocas representan los bordes laterales y el fondo del acuífero y se agrupan de la siguiente manera:

- Rocas del Plioceno:

Coyol Inferior: litológicamente constituidas por ignimbrita dacítica, tobas (Tmcd) aglomerado y andesita (Tmca).

Coyol Superior: compuestos por ignimbritas (Tpci), basaltos (Tpcb), aglomerados (Tpca).

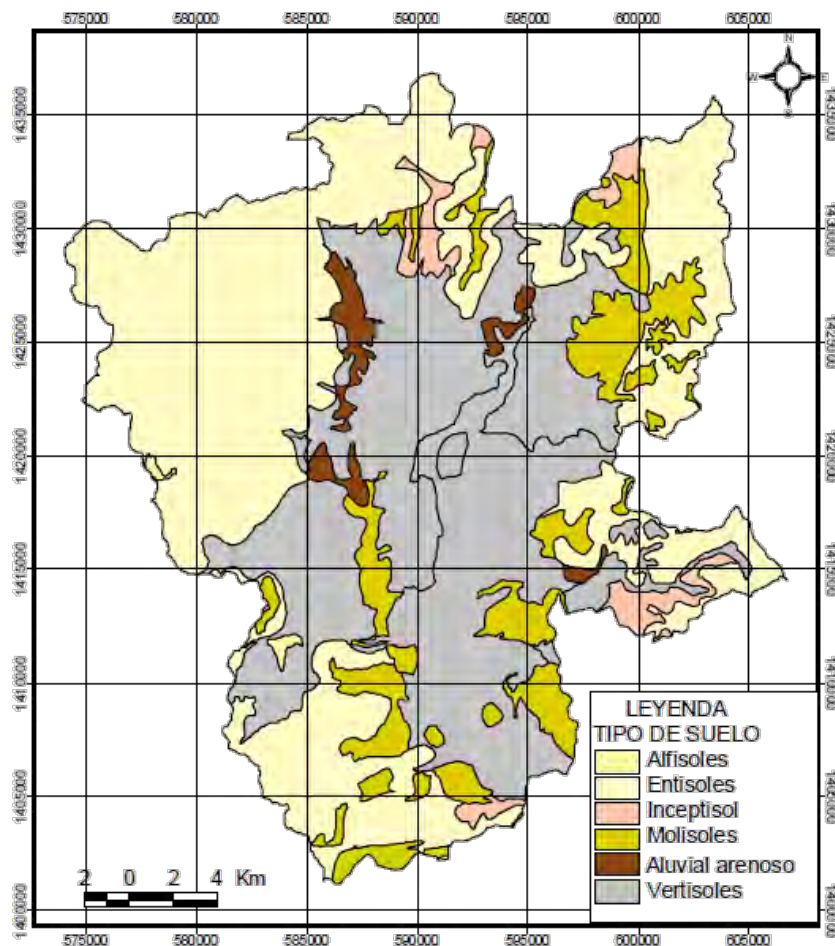
- Cuaternario Aluvial

Los depósitos aluviales son los que principalmente han relleno la cuenca tectónica que forma el acuífero del Valle de Sébaco, estos se encuentran indiferenciado en un espesor de aproximadamente 140m según Tahal Consulting, 1977. Litológicamente están constituidos por arcillas, limos, arenas de diferentes diámetros, gravas y bolones.

2.5 Clasificación taxonómica

Los tipos de suelo que predominan en la cuenca del Valle de Sébaco están representados en la Figura 2. La estructura y textura de los suelos es un factor muy importante para determinar el agua que recarga al acuífero, así como el tipo de actividad que sobre éstos se puedan realizar. Los suelos pertenecen a la

serie Darío, clase II; de carácter profundos, drenados, planos y alta fertilidad (Herrera, 2008).



Fuente: (Flores, 2004)

Figura 2 Tipo de suelo en el valle de Sébaco

En la parte central del valle predominan los suelos arcilloso – limosos, clasificados como vertisoles. En los flancos oriental y occidental, en las entradas de los ríos al valle y sobre el lecho de éstos, se presentan suelos arenosos, con partículas de arena fina a suelos de textura gruesa; en éstos se realiza la recarga directa al acuífero y la proveniente de las montañas como escorrentía superficial (Flores, Y. 2004). El centro de Investigación del Arroz TAINIC, donde se ubican las parcelas de experimentación se encuentran al sur del valle de Sébaco y pertenecen al tipo de suelo vertisoles.

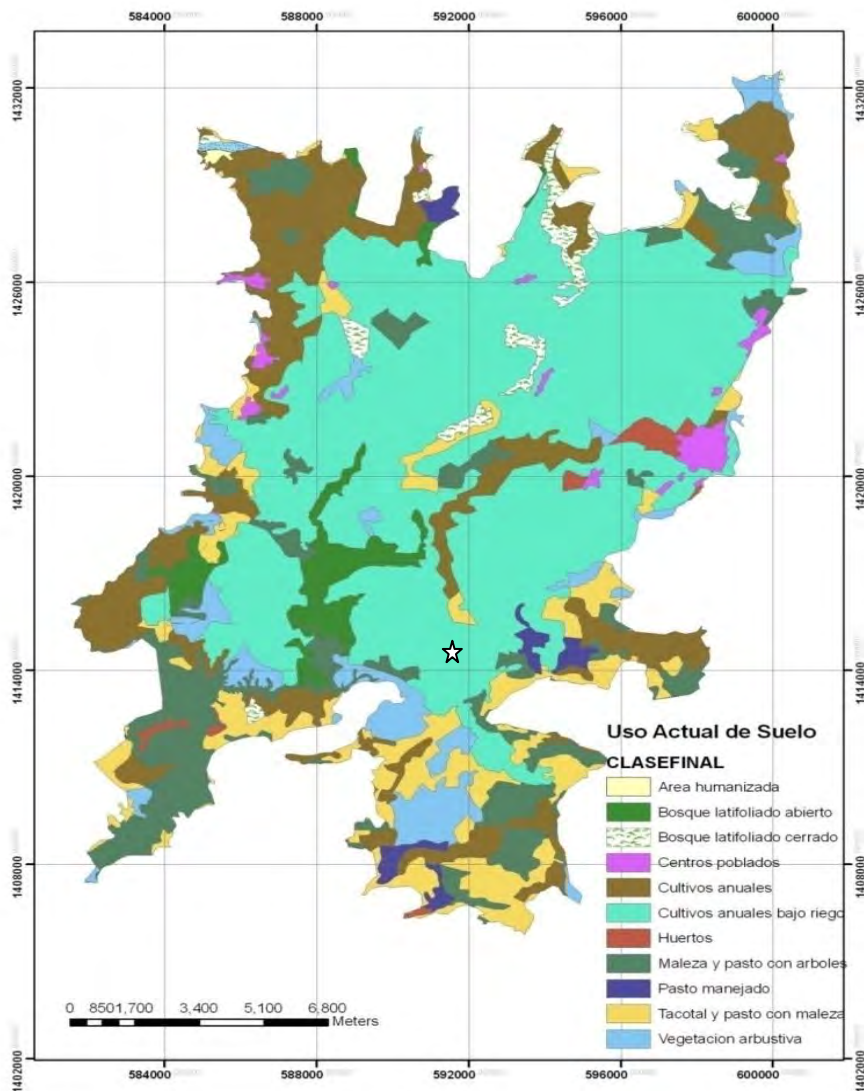
2.6 Uso Potencial del Suelo

El 35,4% de la superficie del Valle, está formado por suelos de calidad para los cultivos tradicionales (sorgo, algodón, hortalizas, etc.), clasificándose como suelos de clase A. El 36% son de calidad moderada (clase B), pero aptos para cultivo de maíz, frijol, arroz, sorgo, pastos, tomate, algodón, etc. El 26,4% son de pobre calidad (clase C) (Flores Y. 2004), pero que pueden utilizarse para cultivo de pastos y arroz. La mayor parte del potencial de la zona montañosa es de suelos forestales.

2.7 Uso Actual del Suelo

Casi el 80% del área agrícola está cultivado de arroz de inundación, el restante (20%) con hortalizas, pastos o simplemente se presenta con arbustos (INETER, NORAD, 1997).

El 26,4% posee un potencial apto para cultivos bajo riego como el arroz, el 80% del área del valle es utilizada para esta actividad incluso las áreas montañosas han sido invadidas por el cultivo de arroz (Figura 3).



Fuente: (Flores, 2004)

Figura 3 Uso actual del suelo en el valle de Sébaco

2.8 Aguas Superficiales

2.8.1 Ríos

Las corrientes principales localizadas en el Valle de Sébaco son el río Viejo al este, y el río Grande de Matagalpa, al oeste. Ambos ríos tienen la característica que el caudal base en condiciones naturales es bajo y se manifiesta únicamente en la salida del Valle.

Debido a la alimentación artificial desde el lago de Apanás, el río Viejo mantiene un caudal considerable todo el año, regulado por las necesidades de abastecimiento de la planta Centroamérica en Jinotega y la planta Santa Bárbara, en la esquina suroeste del valle, la que es alimentada por el embalse la Virgen. Este río descarga finalmente al Lago Xolotlán. No hay ríos que bajan de las montañas propias de la cuenca del valle (Flores, 2004).

Una parte del volumen abastecido por el lago de Apanás, es utilizado por los agricultores en su paso por el valle, lo que reduce el caudal de entrada al embalse La Virgen.

Los caudales medios del río Viejo equivalen a $12,7 \text{ m}^3/\text{s}$; el río Grande de Matagalpa fluctúa enormemente durante las dos estaciones, de enero a mayo mantiene un caudal de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que durante la época lluviosa puede incrementarse hasta 10 veces este caudal, Flores Y, 2004 de Tahal Engineering, 1977. Estas fluctuaciones se han incrementado en estos últimos años provocando inundaciones en la parte baja de los ríos, uniéndose los dos ríos y anegando algunas áreas productivas destinadas al cultivo del arroz.

Pudiendo existir conexión del pozo perforado TAINIC entre el río Grande de Matagalpa ya que se encuentra a escasos 250 m del mismo y por su ubicación, las parcelas se encuentran en potencial riesgo a inundaciones.

2.8.2 Condiciones Actuales de Explotación de las aguas subterráneas

A partir de 1970, en el valle de Sébaco se han incrementado el número de pozos hasta cinco veces de manera que para el 2002 existían alrededor de 200 pozos los cuales presentaban un caudal de explotación potencial distribuida

como se ve en la Tabla 1, donde la mayor parte del consumo de agua del acuífero es para la producción de arroz, seguida del consumo por las hortalizas.

Tabla 1 Explotación del acuífero del Valle de Sébaco en el año 2002 (Flores, 2004)

USO	Caudal de explotación		Porcentaje de explotación %	
	(m ³ /día)	(MMC/anuales)		
Arroz	162 000,00	43 700 000	43,74	59,52
Beneficio de café	1 000,00	90 000	0,09	0,12
Doméstico/comunal	1 500,00	270 000	0,30	0,41
Hortalizas	127 550,00	22 959 000	22,96	31,24
Potable	17 593,56	6 421 649	6,40	8,71
			73,49	

III. ANTECEDENTES

El estudio propuesto se apoyó en dos importantes direcciones de avance como:

1. Investigaciones realizadas en distintos países tendientes a reducir los volúmenes de agua en el cultivo del arroz en base al establecimiento de nuevos conceptos basados en la importancia de la aireación del mismo, cuyos resultados en los rendimientos y ahorro de agua parecen alentadores (FAO, 2010).

En nuestro país aún no se desarrolla una validación sobre dichas técnicas, pero si se empiezan a manejar ideas en el Centro de Investigación Taiwán Nicaragua (TAINIC) y se hace necesaria una investigación documentada sobre el mismo que ofrezca una validación de dichas técnicas en nuestras condiciones.

2. Estudios desarrollados por PARH, 1998; Plata, 1998; González, 2005; Flores, 2004, todos referido a la calidad de aguas en el valle de Sébaco, quienes coinciden en señalar la aplicación de agroquímicos en los cultivos como hortalizas y principalmente el arroz como las causas de contaminación del suelo y de fuentes de agua.

Dichos estudios también reportan que el principal problema de salud humana en la zona es la intoxicación, producto de las mismas aplicaciones de agroquímicos en estos cultivos, particularmente de los agroquímicos que pertenecen a la familia de los organoclorados, carbamatos, organofosforados y piretroides.

El uso del agua subterránea en el Valle de Sébaco es especialmente para el cultivo de arroz donde no existe control sobre los volúmenes de riego, lo que

provoca mayor efecto sobre el acuífero, aun que la explotación actual se mantenga igual en la época de 1980-1990 (Flores, 2004). Muchas de estas aguas subterráneas tienen concentraciones anómalas de arsénico (Estrada, 2003), que superan el límite admisible para agua de consumo humano $10 \mu\text{g.l}^{-1}$ (OMS 1987) encontrándose concentraciones de hasta los $122,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ (Altamirano Espinoza, 2005). Otros estudios realizados en esta misma región reportan concentraciones de As de hasta $289,2 \mu\text{g.l}^{-1}$, (Barragne Bigot, 2004), lo que implica riesgos para la agricultura (FAO, 2006).

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Nicaragua, los productores siembran el arroz de riego en terrazas, siguiendo las curvas a nivel, en pendientes menores al 1%, esto para asegurar una lámina de agua uniforme. Sin embargo, no todos los productores cumplen con este criterio, empleando grandes volúmenes de agua en las parcelas para la producción del arroz. Siendo la anegación, la técnica comúnmente empleada, ya que les permite evitar plagas y malas hierbas.

Además del manejo de grandes volúmenes de agua en el cultivo del arroz, la problemática se incrementa con el uso de los agroquímicos. Estudios anteriores (González, R, 2004) han revelado que en el Valle de Sébaco la actividad agrícola representa uno de los mayores peligros de contaminación a los recursos hídricos, como consecuencia de la introducción del monocultivo del arroz desde inicio de los años sesenta, debido a la importancia económica que este rubro ha tenido tanto en el mercado nacional como internacional. A medida que se intensificó el cultivo del arroz el uso de los plaguicidas también aumentó, lo que trae como consecuencia que las plagas adquieran mayor resistencia, esto ha provocado que mayores concentraciones y aplicaciones de plaguicidas sean incorporadas en los cultivos de arroz.

Nicaragua ha sido históricamente, y continúa siendo, un país muy dependiente de pesticidas para sus cultivos de exportación, los que contribuyen enormemente a su crecimiento económico. El uso de pesticidas en Nicaragua había sido, a nivel mundial, uno de los más altos per cápita. Según el Perfil Nacional de Nicaragua ante la Agenda 21 en 1999, el 80% de todas las sustancias químicas usadas en el país son pesticidas (PNUD/GEF, 2008).

A partir del problema antes expuesto, la presente investigación se plantea resolver como pregunta rectora, la siguiente:

¿Cuál es la calidad del agua y el manejo de sus diferentes niveles, sobre el rendimiento óptimo del cultivo del arroz, en el valle de Sébaco durante el ciclo de riego julio-Diciembre 2011?

Basado en la formulación del problema planteado, el presente estudio se propone resolver las siguientes preguntas de sistematización:

1. ¿Cuáles los plaguicidas utilizados tiene mayor permanencia en el cultivo del arroz que pudiese alterar la calidad de las aguas?
2. ¿Cómo impacta los macro y micronutrientes a la calidad de agua utilizada en el cultivo del arroz?
3. ¿Cuál de los niveles de agua producen mayores rendimientos en el cultivo de arroz, en relación con la técnica anaerobia y tradicional?
4. ¿Cuál es la relación beneficio-costos de los niveles de agua sobre la rentabilidad en el cultivo de arroz, en relación con la técnica anaerobia y tradicional?

V. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

5.1 Objetivo General

Evaluar la calidad del agua y el manejo de sus diferentes niveles, sobre el rendimiento óptimo del cultivo del arroz, en el valle de Sébaco durante el periodo Julio-Diciembre, 2011.

5.2 Objetivos Específicos

1. Determinar la presencia de agroquímicos de mayor persistencia ambiental en aguas y suelos de las parcelas del cultivo del arroz, así como la presencia en el grano oro de arroz.
2. Comprobar la presencia de nutrientes (macro, micro) y metales pesados en aguas y suelo de las parcelas del cultivo del arroz.
3. Comparar los niveles de agua, para determinar su influencia sobre el rendimiento en el cultivo de arroz, en relación con la técnica anaerobia y tradicional.
4. Determinar la relación beneficio-costos de los niveles de agua, en función de la rentabilidad del cultivo del arroz.

5.3 Justificación

En los últimos años, Nicaragua ha venido incrementando la producción del cultivo del arroz a nivel centroamericano, hasta un 46 % en el 2009 de producción arroceras regional (Pocasangre, Octubre 2011), con 55% en 2010-2011 y 60% en 2011-2012 (FAO, 2012) lo que supone mayor demanda de agua para la producción.

Por lo que la viabilidad de la producción de arroz reduciendo el volumen del agua de riego puede ser demostrada evaluando el manejo de diferentes niveles de agua sobre el rendimiento óptimo de este cultivo, lo que supone abrir ventanas de oportunidades para los distintos agentes involucrados en la cadena del arroz. Para los productores esto significa optimizar el uso del agua y también implica reducir los costos de riego, que representan hasta el 66% de incremento respecto al costo de producción de secano tecnificado según MAGFOR, 2009. Para la sociedad nicaragüense en general, el uso racional del agua para riego resulta en una menor tensión a los mantos acuíferos y en general en una reducción en los costos de combustibles.

Por otra parte, los análisis de la calidad del agua, permitirán un posicionamiento más acertado por los actores del rubro respecto al tipo de agroquímicos a emplear y las prácticas menos contaminantes. Aspectos estos de importancia no solo para los productores de arroz, sino también para sus trabajadores que sufrirán menos de intoxicaciones y la comunidades aledañas que dispondrán de una mejor calidad de aguas y por consiguiente menos deterioro a su salud.

VI. MARCO TEÓRICO

6.1 Calidad de agua

La calidad del agua se define en función del uso específico al que va a ser destinada (Veritas, 2008), por ejemplo si se trata de agua para consumo humano, para uso agrícola o industrial, para recreación, o para mantener la calidad ambiental. La FAO, la define como una característica importante que afecta la salud de los ecosistemas y el bienestar humano, como la salud de una comunidad, el alimento que se ha de producir, las actividades económicas y la diversidad biológica. Por consiguiente, la calidad del agua influye también sobre la pobreza humana, la riqueza y los niveles de educación (FAO, 2010).

Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con las directrices o estándares de calidad del agua (Naciones Unidas).

De acuerdo con lo anterior, tanto los criterios como los estándares de calidad de agua variarán dependiendo de su uso.

6.1.1 Propiedades del agua

Se dividen en físicas y químicas. Según las propiedades físicas del agua, ésta se caracteriza por ser un líquido entre 0 y 100°C a presión atmosférica, con un calor específico muy elevado (1 cal/g °C), calores de vaporización 540 cal/g (a 1 atm) y de alto valor de congelación (80 cal/g), además su tensión superficial es la más, a los 4 °C presenta su máxima densidad (1 kg/l). El agua pura a 25 °C el pH es de 7 (Custodio & Llamas, 2001). Químicamente, la molécula de

agua está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, siendo por lo tanto su fórmula H_2O . Es una sustancia químicamente muy activa ya que tiene la facilidad de disolver y reaccionar con otras sustancias, tanto orgánicas como inorgánicas. Su poder ionizante y su constante dieléctrica son muy elevadas, y es el disolvente más empleado y difundido (Custodio & Llamas, 2001). Los iones fundamentales son aniones y cationes.

6.1.1.1 Propiedades químicas

Aniones

Cloruros (Cl^-): En general son sales solubles. No se oxidan ni reducen en aguas naturales. Los cloruros casi siempre van asociados al ion Na^+ . Se encuentran en concentraciones entre 10 y 250 ppm en aguas dulces y en otras aguas superficiales pueden encontrarse en contenidos hasta varios miles de ppm. Contenidos elevados son perjudiciales para muchas plantas y confieren corrosividad a las aguas (Custodio & Llamas, 2001).

Sulfatos (SO_4^{2-}): Son sales moderadamente solubles a muy solubles. En agua pura el SO_4Ca satura a 1500 ppm, y puede llegar hasta 7200 ppm en aguas salinas. En medios reductores con abundante materia muerta, los sulfatos pueden sufrir reducción bacteriana. Se encuentran en concentraciones entre 2 y 150 ppm en aguas dulces (Custodio & Llamas, 2001).

Bicarbonatos (CO_3H) y Carbonatos (CO_3^{+}): Los iones bicarbonatos y carbonatos, comunican la alcalinidad al agua en el sentido que dan la capacidad de consumo de ácido al crear una solución tampón (son aquéllas que ante la adición de un ácido o base son capaces de reaccionar oponiendo la

parte de componente básica o ácida para mantener fijo el pH). Estos no son oxidables ni reducibles en aguas naturales y pueden precipitar con mucha facilidad como carbonato de calcio (CO_3Ca).

El ión bicarbonato se encuentra en el agua en concentraciones de 50 a 350 ppm en aguas dulces pudiendo llegar a veces hasta 800 ppm (Custodio & Llamas, 2001).

El ion carbonato CO_3^{-2} se encuentra en concentraciones menores que el CO_3H^- y si el pH es inferior a 8,3 se le considera cero. En aguas alcalinas con pH mayor que 8,3 puede haber concentraciones importantes, hasta 50 ppm en algunas aguas naturales. Las aguas bicarbonatadas sódicas son malas para riego, debido a la fijación del Na en el terreno y creación de un medio alcalino (Custodio & Llamas, 2001).

Nitrato (NO_3^-): El ión nitrato tiene tendencia a ser estable, pero en medios reductores puede pasar a N_2 o NH_4^+ o excepcionalmente a NO_2^+ . La mayoría de los compuestos nitrogenados pasan a NO_3^- en medio oxidante, aunque NH_4^+ puede perderse en parte como N_2 . En el suelo puede fijar el NO_3^- , en especial el suelo vegetal. El ión nitrato se encuentra normalmente en concentraciones entre 0,1 y 10 ppm pero en aguas contaminadas puede llegar hasta 1000 ppm. En concentraciones elevadas en el agua de beber puede producir cianosis en los niños (Custodio & Llamas, 2001).

Sílice disuelta (SiO_2): Las aguas fuertemente básicas pueden tener cantidades importantes de sílice iónica, pero son muy raras en la naturaleza. El CO_2 juega un papel importante para evitar que el pH suba, limitando la solubilidad de la

silice. La mayoría de las aguas subterráneas presentan concentraciones entre 1 a 140 ppm en SiO₂ pudiendo llegar hasta 1000 ppm en especial aguas bicarbonatadas sódicas (Custodio & Llamas, 2001).

Cationes

Sodio (Na⁺): Es muy soluble y difícil de precipitar. Es afectado fácilmente por el cambio de bases. Suele ir asociado al ion Cl⁻, aunque no siempre sucede. Las aguas naturales con concentraciones elevadas de Na⁺ suelen tener contenidos elevados de F⁻. Se pueden encontrar en concentraciones de Na⁺ entre 1 y 150 ppm en aguas dulces, no siendo raro encontrar contenido mucho mayores, hasta varios miles de ppm.

Las aguas con concentraciones elevadas en sodio son perjudiciales a las plantas al reducir la permeabilidad del suelo; son especialmente nocivas si las concentraciones de Ca y Mg son bajas (Custodio & Llamas, 2001).

Calcio (Ca²⁺): Son sales desde moderadamente solubles a muy solubles. Fácil de precipitar como CO₃Ca. El Ca²⁺ suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. En rocas ígneas aparece como constituyente esencial de los silicatos, especialmente en el grupo de las plagioclasas. En rocas sedimentarias aparece fundamentalmente en forma de carbonato de calcio CaCO₃. Las concentraciones de calcio en el agua dulce varían de 10 a 250 ppm, pudiendo llegar hasta 600 ppm en terrenos yesíferos. El mayor inconveniente va asociado de dureza y producción de incrustaciones (Custodio & Llamas, 2001).

Magnesio (Mg^{2+}): Tiene propiedades similares a las del ion calcio pero más soluble y algo difícil de precipitar. El ion Mg^{+2} es menos abundante las aguas naturales, que el Ca^{+2} . Este procede de la disolución de rocas carbonatadas (dolomitas y calizas magnesianas), evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos. Los procesos de intercambio iónico influyen también en las concentraciones de Mg^{+2} en aguas subterráneas. En ellas el Mg^{+2} es retenido con preferencia al Ca^{+2} en suelos y rocas. En aguas dulces naturales el contenido en ión Mg^{+2} no suele sobrepasar 40 ppm. En terrenos calcáreos pueden elevarse hasta 100 ppm y en terrenos evaporíticos pueden alcanzar valores de 1,000 ppm (Custodio & Llamas, 2001).

Potasio (K^+): Es muy soluble y difícil de precipitar. Este ion tiende a fijarse irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y de adsorción en las superficies de minerales con alta capacidad de intercambio iónico, por ello su concentración en aguas subterráneas naturales es generalmente mucho menor que la del Na^{2+} . Es afectado fácilmente por el cambio de bases y absorbido de forma muy poco reversible por las arcillas en formación (montmorillonita a illita), para formar parte de las estructuras, circunstancias que lo diferencian del sodio. Las concentraciones de K^+ varían de 1 a 10 ppm en aguas dulces. Contribuye a la dureza del agua (Custodio & Llamas, 2001).

Hierro (Fe^{2+}): Puede estar en los estados de valencia 2+ y 3+ La concentración de este elemento en el agua está controlada por procesos de equilibrio químico como oxidación-reducción, precipitación y disolución de hidróxidos, carbonatos y sulfuros.

Valores de concentración de hierro entre 1 y 10 ppm, siendo menores 0.5 ppm en aguas oxigenadas. En aguas muy ácidas se puede llegar a 100 ppm en $Fe^{2+} + Fe^{3+}$. Aunque aguas con pH entre 6 y 8 pueden presentar concentraciones de hasta 50 ppm cuando los bicarbonatos se encuentran por debajo de 61 ppm. Lo

más normal es que se encuentre en concentraciones inferiores a 0,1 ppm (Custodio & Llamas, 2001).

6.1.1.2 Propiedades físicas del agua

Temperatura: Potencial calorífico referido a cierto origen, por ejemplo la temperatura de fusión del hielo. Se mide en grados Celsius (°C) y en los países anglosajones en grados Fahrenheit (°F). La temperatura de las aguas subterráneas varía muy poco, y responden a la media anual de las temperaturas atmosféricas del lugar y se incrementan como producto de la profundidad debido al gradiente geotérmico (1 °C) cada 33 m. El incremento de temperatura puede ser un poco mayor en zonas tectónicas y volcánicas y menor en grandes cubetas sedimentarias. La temperatura afecta la viscosidad del agua, la capacidad de absorción de gases, etc. (Custodio & Llamas, 2001).

pH: Se puede medir el grado de acidez o basicidad de una disolución acuosa a través de la siguiente relación: $\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$. Las sustancias disueltas pueden alterar el equilibrio de disociación del agua, alterando por lo tanto el pH. Aguas con $\text{pH} < 7$ suelen ser agresivas, $\text{pH} > 9$ crean dificultades en las plantas (Custodio & Llamas, 2001).

La medición de pH puede estar influenciada por:

Variaciones estacionales o anuales. En mediciones realizadas en el campo se han registrado variaciones estacionales del pH. Estas, se deben al cambio de régimen de lluvias y a efectos de la dilución, así como a variaciones en el contenido de sales y de la actividad biológica en el suelo. En épocas secas el pH disminuye y en las lluviosas aumenta (Fassbender, W. 1984).

Variaciones locales: Las variaciones del pH en áreas limitadas del suelo se deben, principalmente a las actividades biológicas y a los efectos de las reacciones químicas específicas (Fassbender, W. 1984).

Conductividad Eléctrica (CE): La conductividad eléctrica es la capacidad de un agua para conducir electricidad. Crece con el contenido de iones disueltos. A una misma temperatura. En la conductividad de un agua influye no sólo la concentración iónica, sino el tipo de iones (carga eléctrica, estado de disociación, movilidad, etc). Todos los valores de conductividad están referidos a una temperatura de referencia de 25 ° C, su unidad de medida es $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Custodio & Llamas, 2001).

Oxígeno disuelto (OD): La importancia procede del hecho de su capacidad de oxidación de diferentes tipos de elementos que se encuentran en forma reducida y de modificando la solubilidad de los mismos (Custodio & Llamas, 2001).

Potencial redox: El potencial redox es una medida de la actividad de los electrones. Está relacionado con el pH y con el contenido de oxígeno. Es análogo al pH ya que el pH mide la actividad de protones y el potencial redox mide la actividad de los electrones (Custodio & Llamas, 2001).

Alcalinidad: En la mayoría de las aguas naturales la alcalinidad está producida prácticamente por los iones carbonato y bicarbonato (Custodio & Llamas, 2001).

6.1.2 Clasificación hidroquímica de las aguas

Tipo hidroquímico: La clasificación del agua del tipo hidroquímico se realiza conociendo los iones predominantes de manera que se pueda obtener su composición química. Se nombra el agua por el anión o catión que sobrepasa el 50% de sus sumas respectivo. Si ninguno supera el 50%, se nombran los dos más abundantes (Santa Cruz, 1988). Una de las técnicas más usuales para su clasificación es a través del *Diagrama de Piper*.

Los diagramas de Piper o Triangulares son ideales para representar tres componentes (aniones y/o cationes) en forma simultánea y tienen por objeto resaltar la composición iónica de un agua a partir de su análisis químico, (Figura 4). La forma más usual es de % de los valores en meq/l. Los aniones más representados son $\text{CO}_3\text{H}^- + \text{CO}_3^{=}$, SO_4 , Cl^- , NO_3^- y como cationes Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} (Custodio & Llamas, 2001).

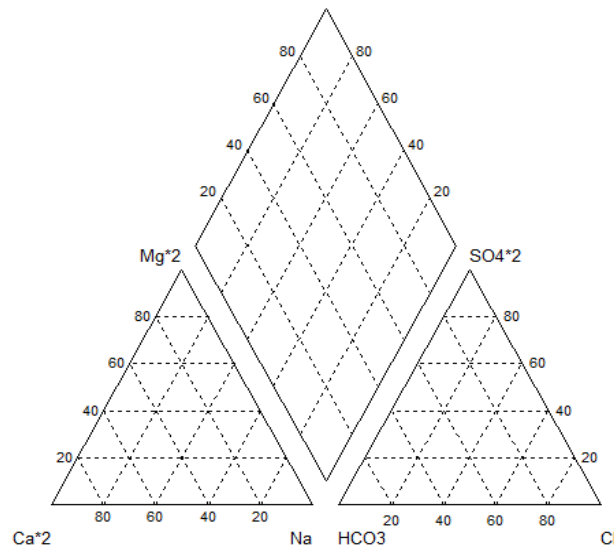


Figura 4 Diagrama de Piper

La utilidad de estos diagramas es la posibilidad de representar muchos análisis en un mismo gráfico, sin dar origen a confusiones y pueden clasificarse por su ubicación en el diagrama (Custodio & Llamas, 2001).

6.1.3 Calidad de agua de riego

La calidad del agua de riego se refiere a su idoneidad para su uso. Un agua de buena calidad tiene el potencial para permitir la producción máxima si se siguen prácticas acertadas en el manejo del agua. Sin embargo si se riega con agua de mala calidad, lo más seguro es que aparezcan problemas relacionado con el suelo y con el cultivo, lo cual reducirá los rendimientos a menos que se adopten prácticas de cultivo especiales para mantener o restaurar la máxima capacidad de producción bajo un conjunto de condiciones dadas (Ayers & Westcot, 1984).

6.1.3.1 Parámetros de calidad de agua para riego

La idoneidad del agua, desde el punto de vista de su calidad, se determina por su posibilidad de causar problemas y se relaciona con las prácticas de cultivo especiales que son necesarias o a la reducción de rendimiento originada. Para evaluar la idoneidad del agua, es necesario evaluar un conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos que definen su adecuación (Ayers & Westcot, 1984). Normalmente las determinaciones que se realizan en el agua de riego son las que se describen en la tabla 2.

Tabla 2 Parámetros necesarios para evaluar la calidad del agua

PARÁMETRO DE CALIDAD	SÍMBOLO	UNIDAD ¹	PESO EQUIV.
Conductividad eléctrica	ECw 25 °C	µS/cm	
Materia disuelta total	MDT	mg/l	
Cationes y aniones			
<i>Calcio</i>	Ca ²⁺	meq/l	20
<i>Magnesio</i>	Mg ²⁺	meq/l	12.2
<i>Sodio</i>	Na ⁺	meq/l	23
<i>Carbonatos</i>	CO ₂ ³⁻	meq/l	30
<i>Bicarbonatos</i>	HCO ₃ ³⁻	meq/l	61
<i>Sulfatos</i>	SO ₂ ⁴⁻	meq/l	48
<i>Cloruros</i>	Cl ⁻	meq/l	35.4
<i>Potasio</i> ⁵	K	meq/l	39.1
Nutrientes			
<i>Nitrato-nitrógeno</i> ²	NO ₃ -N	mg/l	14
<i>Amonio-nitrógeno</i> ^{2,5}	NH ₄ -N	mg/l	14
<i>Fosfato-fósforo</i> ⁵	PO ₄ -P	mg/l	31
Diversos			
Boro	B	mg/l	-
Acidez - alcalinidad ³	pH	-	-
Relación ajustada de ⁴ adsorción de Sodio	SAR	-	-
Hierro ⁵	Fe	mg/l	-
Litio ⁵	Li	mg/l	7

El análisis de los microelementos es también útil realizarlo antes del inicio de las operaciones de riego y posteriormente para realizar un seguimiento periódico de aquellos elementos presentes en cantidades importantes y significativas. Las sustancias disueltas en el agua para uso agrícola no deberán pasar los valores expresados en la tabla 3 (Mujeriego, 1990).

¹ Mmhos/cm = milimhos/cm a 25 °C; (mmhos/cm x 640 = mg/l); meq/l = milequivalentes por litro; mg/l = miligramo por litro.

² NO₃-N significa nitrógeno en forma de NO₃ mientras que NH₄-N significa nitrógeno en la forma NH₄

³ Acidez (pH 1-7); alcalinidad (pH 7-14); Neutro (pH 7)

⁴ Los procedimientos de cálculo para el SAR_{adj} figuran en el capítulo 6.1.3.2

⁵ Situaciones especiales únicamente

Tabla 3 Valores recomendados de microelementos para agua de riego

Referencia	Expresado como	mg/l
Aluminio	Al	5,0
Arsénico	As	0,1
Berilio *	Be	0,1
Cadmio	Cd	0,01
zinc	Zn	2,0
Cobalto *	Co	0,05
Cobre	Cu	0,2
Cromo	Cr ⁶⁺	0,1
Flúor	F	1,0
Hierro	Fe	5,0
Litio	Li	2,5
Manganeso	Mn	0,2
Molibdeno *	Mo	0,01
Níquel	Ni	0,2
Plomo	Pb	5,0
Selenio	Se	0,02
Vanadio	V	0,1

**Antimonio, berilio, cobalto, molibdeno, talio, estaño, titanio y tungsteno (este segundo grupo sólo si se sospecha su presencia).*

Notas: El Boro, expresado como B, deberá estar entre (0,3 y 4,0) mg/l, dependiendo del tipo de suelo y del cultivo.

6.1.3.2 Criterios principales para definir la calidad del agua de riego

En base a los parámetros físicos, químicos es posible interpretar si la calidad del agua es apta para riego. Una mala calidad de agua puede generar problemas de salinidad, permeabilidad de los suelos, toxicidad a las plantas y otros (Ayers & Westcot, 1984).

Salinidad del agua: Es probablemente el criterio más primordial en la calidad del agua destinada para riego y ocurre cuando la cantidad de sales en el agua es suficientemente elevada de tal forma que estas se acumulen en el sistema de raíces, lo cual provoca dificultad en las plantas para extraer el agua

partiendo de la disolución salina del suelo (Ayers & Westcot, 1984). La FAO establece directrices para el agua disponible del suelo y puede expresarse en función del potencial de agua del suelo, que es la medida de la fuerza con la cual el agua se halla retenida en el suelo, fuerza que la planta ha de vencer para obtener el agua que necesita. La salinidad tiene también su efecto sobre la disponibilidad del agua del suelo, disminuyendo tal disponibilidad al cultivo con la proporción a su salinidad. Esto se denomina efecto osmótico y puede medirse como una fuerza que la planta debe vencer (Ayers & Westcot, 1984).

El aumento de sales en el perfil de un suelo bien drenado, está relacionado con su permeabilidad, que a su vez se encuentra estrechamente ligada a la textura de dicho suelo. A medida que la permeabilidad es mayor, las fuerzas de retención se debilitan y el lixiviado de las sales es más fácil. Así que para suelos arcillosos, cuya capacidad de retención es muy grande, el lavado será muy difícil, siendo máximo el riesgo de salinización. El riesgo será aún mayor si en el complejo de cambio predominan iones sodio, que pueden producir la dispersión de las arcillas, disminuyendo aún más la permeabilidad de dicho suelo, (www.es/pdf/revista/tecnologia/19tema41.pdf).

Los estudios de la FAO han reconocido la influencia adversa del sodio sobre la permeabilidad del suelo. Sin embargo, la evaluación de la influencia del sodio se ha estudiado aisladamente lo cual ha demostrado ser un error fundamental, porque lo que puede determinar la permeabilidad del suelo es la interacción de tres factores, como son: a) contenido de sodio, en relación con el calcio y el magnesio; b) contenido de bicarbonato y carbonato, y c) la concentración total de sales que hay en el agua, de Rhoades, 1972 tomado de (Ayers & Westcot, 1984).

Alto contenido de sodio o altos valores de RAS: Aguas con alto sodio ó Alta Relación de Absorción de Sodio (RAS) usadas para riego muchas veces

resultan en problemas de permeabilidad en el suelo debido a los altos niveles de Na con respecto al nivel del Ca y Mg. Aguas con valores RAS que pasen de 6 a 9, originan problemas de permeabilidad en suelos propensos a contracción-esponjamiento (montmorrillonita) (Ayers & Westcot, 1984).

RAS es expresado y calculado como:

$$Adj.SAR = \frac{Na^-}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Donde los cationes se expresan en meq/l

Na^- : Concentraciones de Sodio

Ca : Concentraciones de Calcio

Mg : Concentraciones de Magnesio

Índice de Absorción de Sodio RAS ajustado por la FAO

En 1968 Bower et al., (Ayers & Westcot, 1984), crearon una modificación del índice de RAS, el RASadj donde ya se tiene en cuenta la formación de precipitado de CO_3Ca , aunque sigue ignorando los precipitados de SO_4Ca y de equiparar el Ca y el Mg. Su cálculo es a partir de la ecuación siguiente:

Adj.SAR = SAR x Factor de ajuste

$$Adj.SAR = \frac{Na^-}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \times 10^{(4 - pHc)}$$

Donde:

Na, Ca y Mg están en meq/l del análisis del agua y pHc se calcula mediante el uso de una tabla (Anexo 1), que se refiere a los valores de concentración obtenidos del análisis del agua. Luego, los valores de la tabla se sustituyen en la ecuación de pHc:

$$pHc = (pk'2 - pk'c) + p(Ca + Mg) - p(Alk)$$

pHc es un valor teórico calculado del pH del agua de riego en contacto con cal y en equilibrio con el CO₂ del suelo.

Donde pk'2 – pk'c son los logaritmos con signo cambiado de la segunda constante de disociación del CO₃H₂ y de la constante de solubilidad del Co₃Ca, p(Ca+Mg) es el logaritmo negativo de la concentración molar de (Ca + Mg) y p(Alk) es el logaritmo negativo de la concentración equivalente de CO₃ + CO₃H.

Para determinar el tipo y clasificación de agua utilizada para riego se utilizan los valores de RAS ajustado y de ECw (Anexo 2).

Porcentaje de sodio intercambiable (PSI): El RAS es usado para estimar el problema de permeabilidad esperado en el suelo después de un período de uso del agua de riego de un RAS alto; éste es medido en el suelo por el PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable).

El PSI es un problema potencial, puede ser que se desarrolle o no ya que depende del valor de la relación de sodio Intercambiable. El PSI es calculado por la ecuación:

$$PSI = \frac{1,475 \times RAS - 1,26}{0,9874 + 0,01474 \times RAS}$$

Porcentaje de Sodio soluble (PSS): El sodio es uno de los factores que influyen en la calidad de agua, por su efecto en el suelo y en la planta. Varios métodos han sido propuestos para expresar el peligro de sodio, siendo el PSS (porcentaje de sodio soluble), el más usado y que es calculado por la fórmula:

$$PSS = \frac{Na^-}{\sum Cationes^-} \times 100 \quad (6)$$

Para aguas que tienen menos de 10 meq/l de sales totales el límite permisible es 80% y para aguas en mayor contenido de sales, 60% es considerado como peligroso.

Toxicidad: Algunos constituyentes tienen efecto tóxico directo sobre los cultivos. Es decir, que a diferencia de la salinidad, que es un problema externo de la planta y que dificulta la absorción de agua, la toxicidad es un problema interno que se produce cuando determinados iones, absorbidos principalmente por las raíces, se acumulan en las hojas mediante la transpiración, llegando a alcanzar concentraciones nocivas. Los iones tóxicos más frecuentes y, por tanto, con los que más cuidado hemos de tener son el cloro, sodio y boro, Problemas relacionados con la calidad del agua, se mencionan a continuación.

Tabla 4 Directrices para interpretar la calidad del agua para riego (FAO 1984)

TIPO DE PROBLEMA	Unidades	No hay problema	Problema creciente	Problema grave
Salinidad (afecta a la disponibilidad de agua para la planta) EC _w	mmhos/cm	< 0,7	0,7 -3.0	> 3.0
Permeabilidad (afecta a la tasa de				

infiltración del suelo)				
ECw	mmhos/cm	>0,5	0,5 – 0,2	< 0,2
Adj SAR ¹				
Montmorrillonita – Smectita		< 6	6 - 9	> 9
Llita – Vermiculita		< 8	8 – 16	> 16
Kaolinita - Sesquióxidos		< 16	16 - 24	> 24
Toxicidad iónica específica (afecta a cultivos sensibles) ³	Adj SAR			
Riego superficial				
Sodio (Na)	meq/l	< 3	3 – 9	> 9
Cloruro (Cl)	meq/l	< 4	4 – 10	> 10
Boro (B)	meq/l	< 0,7	0,7 - 2	> 2
Efectos diversos (afecta a cultivos susceptibles)				
Nitrógeno (NO ₃ -N o NH ₄ -N) ⁴	mg/l	< 5	5 – 30	> 30
Bicarbonato (CO ₃ H) con aspersores	mg/l	< 1,5	1,5 – 8,5	> 8,5
pH		Gama normal 6,5 – 8,4		
<p>¹ Para los procedimientos de cálculo ver Anexo 1. Los valores presentados se refieren al tipo dominante de mineral arcilloso en el suelo (Rallings, 1966 y Roades, 1975)</p> <p>² Utilícese la gama inferior si ECW < 0,4 mmhos/cm, la gama intermedia si 0,4<ECw<1,6 mmhos/cm, el límite superior si ECw >1,6 mmhos/cm</p> <p>³ La mayoría de las plantaciones arbóreas y plantas leñosas son sensibles al sodio y al cloruro (usar valores indicados). La mayoría de los cultivos anuales no son sensibles (usar los valores de tolerancia de salinidad)</p> <p>⁴ NO₃-N significa nitrógeno en forma de NO₃ mientras que NH₄-N significa nitrógeno en la forma NH₄. Ambos figuran como N en mg/l.</p>				

Símbolos

ECw	=	Conductividad eléctrica del agua de riego
adj SAR	=	Relación de absorción de sodio ajustada
mmhos/cm	=	Milimhos/cm
meq/l	=	Miliequivalentes por litro
pe.eq	=	Peso equivalente
ppm	=	Partes por millón

Conversión

meg/l	pe.eq	=	mg/l
mg/l		=	ppm
mmhos/cm		=	640 mg/l
meg/l		=	10 mmhos/cm

6.2 Contaminación de las aguas

Entre los efectos de las actividades agrícolas sobre la calidad del agua está el uso de plaguicidas, ya que estas sustancias pueden lixiviarse en las aguas subterráneas, provocando problemas en la salud humana a través de la ingesta de las mismas (ONGLEY, 1997).

El problema de contaminación por plaguicidas en el cultivo del arroz es de especial importancia, ya que se han detectado residuos de pesticidas en aguas superficiales y subterráneas de zonas arroceras, cuyas concentraciones están por encima de los niveles permitidos por la Unión Europea (López Piñeiro, 2011). Otros estudios realizados en la Península de Nicoya (Guanacaste) se determinó que el arroz tiene potencial de contaminar las aguas subterráneas por el uso de plaguicidas (Bravo Duran, 2012). En el Valle de Sébaco han sido detectados en las aguas subterráneas compuestos de plaguicidas que se utilizan en el cultivo del arroz (González, 2004).

6.2.1 Peligro de contaminación de las aguas subterráneas

La agricultura representa el 69% de la extracción del agua subterránea, (FAO, 2002) y un promedio mundial del 70% de todos los suministros hídricos superficiales (ONGLEY, 1997). El agua que es aplicada pero no es consumida por el cultivo, se infiltra en el suelo y es almacenada como agua subterránea o drena hacia los ríos. Esta agua por lo general es de menor calidad que el agua que fue extraída, debido a la contaminación por los agroquímicos y las sales percoladas del perfil del suelo (FAO, 2003). La contaminación de aguas subterráneas por actividades agrícolas es muy difícil de controlar ya que producen contaminación difusa que afecta a grandes extensiones. Así, los fertilizantes aportan compuestos de nitrógeno, fósforo y potasio. En ocasiones se ha detectado que hasta el 50% de los nitratos pueden llegar al acuífero por infiltración. Por su parte, los plaguicidas aportan fungicidas, insecticidas, bactericidas, etc., estimándose una persistencia de estos productos de entre una semana y varios años. Asimismo, es posible que los metabolitos procedentes de la degradación de estos productos sean más tóxicos y persistentes que los productos originales (HISPAGUA, 2007).

6.2.2 Contaminación de las aguas y suelos por Arsénico (As)

El arsénico se ha descrito como un metaloide porque presenta propiedades intermedias características de los metales y no metales. Se encuentra en el grupo 15 de la tabla periódica junto con el nitrógeno y el fósforo, y, por tanto la química del arsénico es similar en muchos aspectos a la de esos dos elementos esenciales. Las especies de arsénico más estables encontradas en condiciones ambientales en agua contienen el átomo de arsénico en estado de oxidación +5. La gran mayoría de especies de arsénico encontradas en los organismos y en los alimentos contienen también arsénico en este estado de oxidación (CODEX, 2011).

Especies de arsénico inorgánico en los alimentos

El arsénico inorgánico en el medio ambiente comprende principalmente especies en el estado de oxidación +3 ó +5. Estas especies están presentes como tiocomplejos o, como los oxoaniones arsenito y arseniato. Los analitos (es decir las especies que se miden realmente) suelen ser arsenito y arseniato, y los datos suelen registrarse como estas dos especies. Del mismo modo, en muestras de alimentos el arsénico inorgánico suele indicarse como arsenito y arseniato pese a que en el mismo alimento está probablemente ligado a tiogrupos en péptidos o proteínas. Las concentraciones totales de arsénico de los productos alimenticios de origen terrestre son generalmente bajas, por lo que su contenido de arsénico inorgánico es también bajo. El arroz, sin embargo, parece ser una excepción porque contiene cantidades importantes de arsénico inorgánico, con concentraciones entre 0,1 mg y 0,4 mg de arsénico/kg de masa seca y a veces mucho más elevadas (Sun et al., 2008; Meharg et al., 2009) CODEX, 2011).

Especies de arsénico inorgánico en el agua

Las concentraciones de arsénico en el agua subterránea, la fuente principal de agua potable en muchas partes del mundo, son normalmente inferiores a 10 $\mu\text{g.l}^{-1}$ pero en algunas zonas pueden llegar hasta 5000 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (Smedley y Kinniburgh, 2002). Las aguas superficiales se utilizan también como agua potable, pero generalmente contienen concentraciones más bajas de arsénico que las que contienen las aguas subterráneas. En esencia, todo el arsénico en el agua potable está presente como arsénico inorgánico. En condiciones oxigenadas, como las que se dan en la mayoría de las aguas superficiales, el arsénico está presente principalmente como arseniato. Sin embargo, bajo determinadas condiciones medioambientales reductoras en algunas aguas subterráneas el arsenito puede ser la especie dominante (Postma et al., 2007), tomado de (CODEX, 2011).

Análisis del arsénico inorgánico

La mayoría del trabajo actual sobre la especiación del arsénico se ha concentrado en la caracterización de los perfiles de especies de arsénico en productos alimenticios sin atención especial al arsénico inorgánico. Actualmente se necesitan métodos validados y horizontales para la extracción selectiva y determinación del arsénico inorgánico, y para materiales de referencia certificados sobre el arsénico inorgánico en los alimentos. Además sería más conveniente señalar el total de arsénico inorgánico que el arsenito y arseniato, porque varios procedimientos de extracción/analíticos pueden cambiar el estado de oxidación (CODEX, 2011).

El arroz (*Oryza sativa* L.) absorbe grandes cantidades de arsénico, pero la especiación del arsénico en el arroz varía entre distintas regiones, con un contenido más alto de arsénico inorgánico en el arroz cultivado en Asia en

comparación con el de EE.UU. y la UE, pero niveles más altos del total de arsénico en el arroz de EE.UU. y la UE excepto las zonas contaminadas como Bangladesh y Chile (CODEX, 2011).

El arroz con cáscara presenta una acumulación total y de arsénico inorgánico muy superior a la de otros cultivos de cereales, en parte por las condiciones de inundación en que se libera el arsénico en el agua intersticial del suelo (CODEX, 2011).

La inundación del suelo produce una movilización rápida del arsénico, principalmente en forma de arsenito, en la solución del suelo.

Con apoyo del IRRI-PETRA de Bangladesh, Jahiruddin trató de evaluar la situación del Arsénico en el sistema de regadío agua-suelo-arroz. Jahiruddin demostró que el total de la concentración de arsénico presente en los granos de arroz se incrementó al aumentar la aplicación de arsénico añadido ya sea a través del agua de riego o añadiéndolo directamente al suelo; Los resultados demuestran que una biodisponibilidad muy aumentada de arsénico en condiciones de inundación es la razón principal de un aumento de la acumulación en el arroz inundado, y que producirlo en forma aeróbica puede reducir espectacularmente la transferencia de arsénico del suelo al grano (CODEX, 2011).

Hasta ahora, la mayor parte de los trabajos publicados se ocupan principalmente de la absorción de arsénico en la planta de arroz regada con agua contaminada y cultivada en suelos contaminados de arsénico a través de experimentos de invernadero en tiestos. Hacen falta más datos basados en investigaciones de campo (CODEX, 2011).

El CODEX no ha establecido normas máximas (NM) para el arsénico o sus especies en el arroz y los productos alimentarios a base de arroz, sin embargo la Agencia de Normas Alimentarias de Australia y Nueva Zelandia (FSANZ) fijó un NM de 1 mg/kg para el total de arsénico presente en los cereales, China también estableció NM para el arsénico inorgánico en el arroz y los productos a base de arroz (0,2 mg/kg), Unión Europea realizó petición a la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) para que haga una evaluación de riesgos, Alemania hasta 5 mg/kg para la mayoría de las especies, hierbas y condimentos en varios Estados miembros, la India estableció LM en el arroz y los productos a base de arroz, se establecieron LM de 1,1 ppm, Japón estableció NM para el total de arsénico para el producto final analizado de 0,2 ppm, Malasia NM para el total de arsénico de 1 mg/kg para algunos alimentos, Singapur NM 1 ppm (CODEX, 2011).

Se recomienda que los Estados miembros del CODEX sigan o instalen el seguimiento del arsénico y sus especies, particularmente en su presencia total e inorgánica en el arroz y en los alimentos a base de arroz, a fin de ofrecer un panorama más completo de las diferencias estacionales y regionales. Hacen falta métodos validados para la extracción selectiva y determinación del arsénico inorgánico en las matrices de alimentos y para los materiales certificados de referencia, con base en las recomendaciones del JECFA (CODEX, 2011).

Hasta la fecha, se ha prestado poca atención a los riesgos del uso de agua subterránea contaminada para el riego. El agua de riego con altos niveles de medida puede dar lugar a la degradación del suelo en términos de producción de cultivos (pérdida de rendimiento) y seguridad de los alimentos (contaminación en la cadena alimenticia), (Brammer, 2005; Duxbury y Zavala,

2005). El uso prolongado del agua de riego contaminado por As puede ser acumulado en los suelos. Si este es absorbido por los cultivos, puede contribuir sustancialmente a la dieta a través del consumo, lo que plantea riesgos adicionales para la salud humana. Con el tiempo, la acumulación del As en el suelo podría llegar a concentraciones tóxicas del suelo disminuyendo el rendimiento de los cultivos (Heinkens, 2006).

A partir de 1980, se han reportado elevadas concentraciones de As en las aguas subterráneas en países como Afganistán, Bangladesh, Camboya, China, India, República Democrática Popular Lao, Mongolia, Myanmar, Nepal, Pakistán, Tailandia, Viet Nam, (referencias en Heinkens, 2006), por lo que la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido un estándar para el agua potable de 10 ug / l (0,01 mg / l).

La procedencia del As en su mayoría el As es de origen geogénico. En Nicaragua la procedencia del As en las aguas subterráneas es de origen geotérmico (Estrada, 2003). La presencia de intrusitos félsicos y máficos en el basamento de rocas volcánicas Terciarias del grupo Coyol y un sistema de fallas profundas y someras con rumbo preferencial NW-SE justifican la existencia de un proceso relacionado con el arsénico de soluciones hidrotermales o aguas profundas enriquecidas por arsénico a través de zonas de fallas (fracturas, grietas, etc) que hacen contacto con el fondo del acuífero (Estrada, 2003). Sin embargo se incluyen las fuentes antropogénicas de As a través de diversas actividades industriales, plaguicidas, herbicidas y fertilizantes utilizados en las actividades agrícolas como: arseniato de plomo, arseniato de calcio, arsenito de cobre, arsenito sódico y otros (Carbonell Barrachina, Burló Carbonell, & Mantaix Beneyto, 1995).

Se ha comprobado que existen problemas de los altos niveles de arsénico en los cultivos, en especial el arroz, necesita ser abordado urgentemente con

mejores prácticas agrícolas y de riego, que podrían reducir significativamente la contaminación de arsénico. La adición generalizada de arsénico a los suelos, como sucede en Bangladesh, deteriora su calidad y provoca la toxicidad del arroz, por lo que la contaminación por arsénico amenaza a la producción, la calidad y la seguridad alimentarias (Heinkens, 2006). La FAO dio a conocer un estudio piloto en Bangladesh, con plantaciones de arroz en lechos elevados en unos 15 centímetros por encima del suelo, en lugar de parcelas convencionales inundadas. Los resultados del estudio observaron que con esta técnica se contrarrestan las pérdidas de rendimiento y hay mejores resultados en los niveles de arsénico, además de que se necesita entre un 30 y un 40% menos de agua de riego y los fertilizantes se absorben mejor.

6.2.3 Plaguicidas

Para los fines del CODEX alimentarios, la FAO a definido "**plaguicida**", como cualquier sustancia destinada a prevenir, destruir, atraer, repeler o combatir cualquier plaga, incluidas las especies indeseadas de plantas o animales, durante la producción, almacenamiento, transporte, distribución y elaboración de alimentos, productos agrícolas o alimentos para animales, o que pueda administrarse a los animales para combatir ectoparásitos. El término incluye las sustancias destinadas a utilizarse como reguladores del crecimiento de las plantas, defoliantes, desecantes, agentes para reducir la densidad de fruta o inhibidores de la germinación, y las sustancias aplicadas a los cultivos antes o después de la cosecha para proteger el producto contra la deterioración durante el almacenamiento y transporte. El término no incluye normalmente los fertilizantes, nutrientes de origen vegetal o animal, aditivos alimentarios ni medicamentos para animales (FAO, 1997).

Si bien el uso de productos químicos en la agricultura se reduce a un número limitado de compuestos, la agricultura es una de las pocas actividades donde se descargan deliberadamente en el medio ambiente productos químicos para acabar con algunas formas de vida (ONGLEY, 1997).

Las dos características más importantes que controlan la migración de plaguicidas en aguas y suelos son su movilidad y persistencia. Los plaguicidas deben ser suficientemente móviles como para alcanzar su objetivo y suficientemente persistentes para eliminar el organismo específicamente atacado (Morell & Candela, 1998).

6.2.3.1 Naturaleza química de los plaguicidas o agroquímicos

De acuerdo con su naturaleza los plaguicidas pueden ser biológicos, químicos inorgánicos o químicos orgánicos, de origen natural o sintético, hay por lo tanto muchos tipos de plaguicidas (Auge, 2006).

Desde el punto de vista químico los grupos más importantes y para efectos de la presente investigación se estudiarán debido a que son los más utilizados en el cultivo del arroz: Organoclorados (OCL), organofosforados (COF) y Piretroides.

Los plaguicidas se clasifican de acuerdo al organismo que atacan en: Insecticidas, Funguicidas, Herbicidas, Acaricidas, Rodenticidas, Nematicidas y Moluscaricidas (CIRA-Módulo I, 1997).

6.2.4 Organoclorados (OCL)

Se caracterizan por el importante efecto residual (persistencia) y por su baja solubilidad y movilidad. El efecto residual y alta toxicidad, agravada por el efecto acumulativo en el organismo ha sido prohibido en muchos países. Los OCL están compuestos por moléculas grandes por lo que son fijados con facilidad en el suelo, especialmente por las partículas arcillosas. Ello inhibe su movilidad y hace muy difícil que puedan atravesar la zona subsaturada y alcanzar las aguas subterráneas (Auge, 2006).

Algunos organoclorados son considerados entre los compuestos más resistentes a la degradación, pueden persistir por largos períodos y se pueden bioconcentrar hasta unas 70000 veces. La presencia de estos compuestos pueden aparecer aún en regiones donde nunca se han sido utilizados. La exposición a ellos, bien sea aguda o crónica, pueden producir una serie de efectos adversos a la salud incluyendo la muerte (Trujillo Ramírez, 2009).

Estudios realizados en 11 pozos perforados y excavados del Valle de Sébaco fueron detectados OCL con una frecuencia de α -endosulfano 45%, β -endosulfano 27%, heptacloro-epóxido, dieldrin, endrin y pp'-DDD 9% respectivamente (González, 2004) que fueron utilizados en el cultivo del arroz.

6.2.5 Organofosforados (COF)

Estos compuestos son ésteres orgánicos de ácidos fosforosos. Muchos insecticidas organofosforados son líquidos de carácter lipofílico y de baja volatilidad; otros son sólidos. En general son menos estables que los insecticidas organoclorados y se rompen más fácilmente por agentes químicos o biológicos, por lo que tienen un tiempo de vida en el ambiente relativamente corto y la peligrosidad ambiental que ellos representan está asociada con toxicidad aguda, (Díaz-Báez, Bustos López, & Espinosa Ramírez, 2004). Con relación a los OCL, los COF son mucho menos persistentes, gracias a que el medio natural se degrada por hidrólisis, siendo más solubles y fácilmente

degradables, sin embargo son mucho más tóxicos que los organoclorados por lo que representa riesgo para quien los aplica (Domènech & Peral, 2006).

Si es cierto que los COF desaparecen fácilmente, éstos pueden persistir en cereales, legumbres, algunos frutos y alimentos secos o grasos (aceitunas, aceites, etc.). Cumplen una cinética tricompartmental, con retención en tejidos grasos y lenta liberación (Repetto, 1995).

La mayor parte de los COF que se usan son insecticidas, de los que sólo se mencionarán el Clorpirifos y el diazinón por ser los más utilizados por los productores en Nicaragua.

Clorpirifos, es un insecticida organofosforado de amplio espectro para diversas plagas de los cultivos presentes en el suelo o en las hojas, plagas domésticas y larvas acuáticas. El Clorpirifos es absorbido intensamente por el suelo y no se libera fácilmente, sino que se degrada lentamente por la acción microbiana. Es poco soluble en agua y presenta una fuerte tendencia a separarse de la fase acuosa e incorporarse a las fases orgánicas del entorno (OMS). Propiedades físico químicas en la tabla 5.

Diazinón, es un insecticida organofosforado no sistémico de amplio espectro con acción de contacto utilizado para el control de una amplia variedad de insectos minadores, escamas, moscas, áfidos, chicharritas pulgones, mosca de la fruta, salivazos, barrenador de caña, Áfidos. Está clasificado como un pesticida de uso restringido (RUP) (EXTOXNET, 1996).

En 1988, la EPA canceló el registro de diazinón para su uso en campos de golf y granjas de césped a causa de mortalidades en masa de aves que a menudo se congregaron en estas áreas. Se clasifica toxicidad clase II - moderadamente tóxico, o toxicidad clase III - ligeramente tóxico, dependiendo de la formulación. Los productos que contienen diazinón soporta la palabra

ADVERTENCIA o PRECAUCIÓN (EXTOXNET, 1996). Las propiedades físico químicas del diazinón se encuentran en la tabla 5.

6.2.6 Piretroides

Son extractos de la flor de crisantemo dotados de poder insecticida. Son derivados sintéticos de dichas piretrinas, modificadas para proporcionar estabilidad química y resistencia a la fotólisis. Son sustancias de baja toxicidad para el hombre, con baja persistencia, (Mencías, E. & Mayero. L., 2000). Alguno de ellos son: Resmetrin, aletrin, Tetrametrina, Delmatrin, Cipermetrin, Permetrin, Fenvalerato, Fenpropatrina (Requena, M., 2009).

La Cipermetrina, se clasifica como insecticida piretroide (sintético) altamente activo. En la agricultura su principal uso es contra las plagas del follaje y ciertas plagas de la superficie del suelo del grupo II, α -ciano (3-fenoxibenzil-1RS- cis-trans -3(2,2-diclorovinil) -2,2-dimetil-ciclopropano, (PISSQ, 1993). Se detallan las propiedades físico químicas de la Cipermetrina en tabla 5.

Tabla 5 Propiedades físico químicas de los plaguicidas

Propiedades	Clorpirifos	Cipermetrina	Diazinón
Solubilidad en agua mg/l a 25 °C	2 mg/l	0.01	60
Presión de Vapor mPa a 25 °C	2,5	0.0002	11,97
Koc mg/l	6070	100000	609
Kow	4,699	6,6	3,69
Vida media	60 – 120 días en suelo	8-56 días (suelo), 50 días en agua*	2-4 semanas en suelo, 5 a 15 días y 6 meses en pH neutros en agua

LMR en el arroz ¹	0,5 mg/kg	2 mg/kg	No disponible
CAS	2921-88-2	523115-07-08	333-41-5

Koc: Coeficiente de adsorción

Kow: Coeficiente de reparto octanol-agua

DT50: Vida media o tiempo requerido (en días) para degradar al plaguicida o convertirlo el 50% en otra sustancia.

LMR: Límite máximo residual.

CAS: Identificación numérica única para más de 23 millones de compuestos. Números asignados por el *Chemical Abstract Service*, que pertenece a la *American Chemical Society* (Sociedad Química Americana).

Fuente: www.miliarium.com, ¹CODEX Alimentarius FAO/OMS, año de adopción, 1995.

*Es rápidamente hidrolizable bajo condiciones básicas (pH=9) pero bajo condiciones ácidas y neutras la vida media puede ser de 10 a 29 días.

6.2.7 Movimiento de los plaguicidas en la zona no saturada (ZNS)

La mayor parte de los plaguicidas tienen bajo peso molecular y baja solubilidad en agua. Se mueven en el suelo por transporte capilar y el agua por difusión molecular (sin flujo de agua) o mediante flujo dispersivo-convectivo (con flujo de agua). El caso que nos ocupa en el presente estudio, para el flujo con agua, su intensidad depende básicamente de la humedad del suelo que influye tanto sobre la adsorción del plaguicida como sobre el volumen de poros rellenados de aire y su influencia sobre la relación entre difusión gaseosa y difusión líquida (Morell & Candela, 1998).

El transporte a través de la ZNS está influenciado por el *contenido de arcillas*, la cual presenta una alta capacidad de adsorción frente a plaguicidas cargados positivamente. A mayor contenido arcilloso, mayor capacidad de adsorción. Dentro de los minerales de la arcilla la montmorillonita es la especie más absorbente; *Contenido de materia orgánica*, que contribuye notablemente a la absorción del plaguicida y volatilidad de estos productos, inhibiendo su transporte hacia el agua subterránea; Textura, estructura y porosidad,

entendiéndose como *textura* al porcentaje de arcilla que contiene el suelo. A mayor tamaño de grano, mayor facilidad para el lixiviado o percolación de plaguicidas disueltos en agua; *estructura* se refiere a la forma en que se agrupan los granos del suelo para formar agregados y la porosidad es función del espacio total ocupado por los poros y del tamaño y distribución de los mismos. El transporte de plaguicidas es mucho más rápido a través de suelos porosos. *Humedad*; la humedad del suelo viene dada por su contenido en agua, e influye en la adsorción y solubilidad de los plaguicidas. Generalmente, la adsorción aumenta con la humedad del suelo, sin embargo, a partir de ciertos valores decrece la adsorción (Morell & Candela, 1998).

6.2.8 Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)

Son compuestos orgánicos resistentes a la degradación biológica, fotolítica o química. Con frecuencia son halogenados y se caracterizan porque poseen baja solubilidad en agua y alta en lípidos lo que favorece la bioacumulación en tejido graso. También son semivolátiles por lo que pueden ser transportados por el aire a grandes distancias antes de que se depositen en los suelos en las aguas. Existen una gran variedad de compuestos COP, tanto naturales como sintéticos, que son notorios por sus características de persistencia y bioacumulabilidad. Entre ellos se cuentan insecticidas organoclorados de primera generación como el dieldrín, el DDT, el toxafeno y el clordano y algunos productos y subproductos industriales como los bifenilos policlorados, las dioxinas (dibenzo-p-dioxinas) y los furanos(dibenzo-p-furanos) (Trujillo Ramírez, 2009).

6.2.9 Persistencia de los plaguicidas en el suelo y en agua/sedimento

La persistencia o degradación de una sustancia química en el ambiente (suelo o agua) es un factor importante en la determinación de la probabilidad y el grado de exposición de los organismos a la sustancia de interés. Las tasas de remoción o alteración por procesos de degradación químicos, físicos y biológicos pueden ser usados para determinar la “vida media” del plaguicida, Castillo et al., 1995 tomado de (González Tapia, 2004).

Por “vida media” de un plaguicida se entiende el tiempo requerido (en días) para convertir la mitad de este en otra (s) sustancia (s), en cualquiera de las matrices o compartimentos (suelo o agua / sedimento). La vida media se expresa como DT50, (Castillo et al., 1995), tomado de (González, 2004).

Es importante anotar que la degradación de una sustancia química es hacia productos más polares y estos metabolitos pueden ser más o menos tóxicos, más o menos persistentes o más o menos móviles que la sustancia que le dio origen.

El concepto de persistencia está a menudo relacionado con el tiempo de permanencia o residencia de un plaguicida en un comportamiento particular. A mayor tiempo de residencia, mayor es la persistencia de la sustancia. De esta manera, el grado de persistencia es expresado usualmente, como DT50 (Castillo *et al.*, 1995).

6.2.10 Movilidad de los plaguicidas en el suelo

La adsorción de los plaguicidas en el suelo determina su movilidad en este medio, y depende de las características propias del plaguicida y del tipo de suelo. La movilidad está determinada con base en el coeficiente de partición entre la fase sólida (suelo) y líquida (agua) ($K_{s/l}$ o K_d), o con base en el coeficiente de partición entre la materia orgánica y el agua (K_{oc}). El valor del

coeficiente de partición (Kd) depende de la cantidad de materia orgánica en el suelo, mientras que el Kow es independiente del mismo (Castillo, *et al.*, 1995).

6.2.11 Estado legal de plaguicidas en Nicaragua

En Nicaragua no existen normativas nacionales para delimitar los residuos de plaguicidas, el Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR), utiliza los límites establecidos en el Codex Alimentarius (FAO - MIFIC, 2002).

Existen cuatro Ministerios del Estado los responsables de elaborar, verificar, certificar y controlar todo lo relacionado a los alimentos. Las instituciones que participan en la legislación alimentaria son: Ministerio de Fomento de Industria y Comercio (MIFIC); el Ministerio de Agropecuario y Forestal (MAGFOR); el Ministerio de Salud (MINSAL); el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) (FAO - MIFIC, 2002).

El control de residuos de plaguicidas en alimentos, solamente se está efectuando en productos alimenticios de exportación como son la carne de bovino, productos acuícolas y algunas frutas y vegetales, en cuyo caso los costos son asumidos por los exportadores. Los análisis de estos productos los realiza el Laboratorio Nacional de Residuos Biológicos (FAO - MIFIC, 2002).

Para el registro de moléculas nuevas de plaguicidas se hace primero una verificación de campo supervisada por técnicos del MAGFOR para comprobar la eficacia, estabilidad e inocuidad del plaguicida. El MAGFOR emite su dictamen técnico sobre la eficacia, luego el MINSAL da también su dictamen técnico en relación al efecto toxicológico del nuevo plaguicida y el MARENA emite por su lado otro dictamen técnico en relación al impacto ambiental (FAO - MIFIC, 2002).

El empleo de plaguicidas en cultivos destinados para consumo humano o animal, tienden a dejar residuos en los cultivos. La facultad que tienen de ser persistentes, obliga a realizar una evaluación de riesgos/beneficios, tanto para el productor como para el consumidor. Esta consideración se debe hacer antes de usar o comercializar estos productos.

Estudio realizado en las ciudades de Sébaco, Matagalpa, Tisma, León y Ometepe por la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FIHA) para el Programa de Manejo de Plaguicidas (PROMAP), se encontró que: la lechuga, el repollo y la chiltoma fueron los productos que resultaron con alto índice de contaminación dado que los límites de residuos sobrepasaba los Límites Máximos Requeridos (LMR) estipulados por el Codex y además con la presencia persistente de plaguicidas prohibidos para uso en hortalizas. Los principales contaminantes de las variedades estudiadas fueron encontradas en el tomate (DDT, Metamidofós, repollo (Dimetoato, DDT, Paratión M y Clorpirifos), chiltoma (Lindano, DDT, Tmonachor), Lechuga (DDT, Captan y Paration M), Sandía (Trifluralin, dieldrin y lindano) y papas (Metamidofos y DDT) (FAO - MIFIC, 2002).

6.2.12 Plaguicidas prohibidos en Nicaragua

Listado de plaguicidas basados en el acuerdo Ministerial N° 23-2001, resolución ministerial 019-2008, donde se toma el acuerdo de prohibir la importación, comercialización y uso en el territorio nacional de los siguientes plaguicidas en su estado de materia prima, productos formulados y cualquier mezcla que lo contenga (INTA 2009) (Anexo 3).

6.3 Nutrientes y minerales en el suelo

El propósito fundamental de los análisis de suelos es caracterizar sus propiedades físico-químicas más importantes y, con base en los resultados del laboratorio, tomar decisiones sobre el uso y manejo de las enmiendas y los fertilizantes de acuerdo al estado de su fertilidad. Los resultados obtenidos se utilizan para identificar aquellos nutrimentos que se encuentran deficientes en el suelo y para determinar la dosis, fuente y época de aplicación más apropiadas para garantizar buenas cosechas. Los análisis de suelos también se utilizan para diagnosticar problemas químicos, físicos o biológicos presentes en los suelos agrícolas, aspectos estos que son de gran importancia para desarrollar eficientemente los sistemas de producción agrícola (Blanco, J. 2003).

Todas las plantas necesitan tomar del suelo 13 elementos minerales. Son los nutrientes minerales esenciales. De tal manera que si en un suelo no hubiese nada, cero gramos, de cualquiera de ellos, la planta moriría, puesto todos son imprescindibles (INFOJARDIN).

Afortunadamente, en los suelos siempre hay de todo, por lo menos algo, aunque en unos más que en otros. No obstante, se pueden presentar carencias. Un ejemplo muy típico es el del Hierro (Fe). En suelos de pH alto, es decir alcalinos (calizos) es frecuente que falte el Hierro que se encuentra insolubilizado, es decir, se encuentra como mineral que no puede ser tomado por las raíces (INFOJARDIN) (Tabla 6).

Tabla 6. Elementos esenciales en el suelo

Macronutrientes	Micronutrientes u Oligoelementos
Estos los toma en grandes cantidades,	Estos los toman las plantas en pequeñísimas

sobre todo los 3 primeros	cantidades
Nitrógeno (N)	Hierro (Fe)
Fósforo (P)	Zinc (Zn)
Potasio (K)	Manganeso (Mn)
Calcio (Ca)	Boro (B)
Magnesio (Mg)	Cobre (Cu)
Azufre (S)	Molibdeno (Mo) y Cloro (Cl)

6.3.1 Propiedades físicas del suelo

Textura: Es el tamaño y proporción en que se encuentran las partículas del suelo inferiores a 2 mm de diámetro, esto es, las arenas, limos y arcillas, dando como resultado diferentes denominaciones o clases texturales que varían desde livianas (suelos arenosos), medianas (suelos francos y pesadas (suelos arcillosos). La proporción de las partículas de arena (0,05 – 2 mm), limo (0,002 - 0,05 mm) y arcilla (menor de 0,002 mm) se determina en el laboratorio y, conocidos estos valores, se utiliza el triángulo textural para conocer la clase de textura. El arroz prefiere suelos arcillosos con buena capacidad de retención de humedad (Blanco Sandoval, 2003).

Estructura del Suelo: Se refiere a la agrupación de las partículas del suelo para constituir agregados más grandes de distintas formas geométricas y tamaños, que varían desde figuras prismáticas, columnares, en bloques, gránulos y láminas, las cuales inciden notablemente en la retención de agua, la porosidad, el desarrollo radicular y el drenaje del suelo. Los tipos de estructuras más comunes en los suelos son: Prismática, Columnar, Bloques (angulares y subangulares), Granular, Laminar y Migajosa (Blanco Sandoval, 2003).

Porosidad: Es el espacio poroso de un suelo ocupado por el aire y el agua. El aire fluye a través de los poros grandes y el agua a través de los más

pequeños, creándose así un balance agua-aire en el sistema (Blanco Sandoval, 2003).

Color: Esta característica se debe a dos factores esenciales; contenido de Materia Orgánica (M.O.) y la naturaleza química de los compuestos de hierro presentes en el suelo. Influencia la nutrición vegetal y es un índice muy importante de las condiciones de humedad, aireación y drenaje de los suelos. El color del suelo está muy relacionado con el contenido de materia orgánica, las condiciones de drenaje, la aireación de los diferentes horizontes y el grado de evolución de los suelos. En razón a que el color varía con el estado de humedad del suelo, la descripción debe hacerse en suelo seco y húmedo. Su determinación se realiza con la tabla de MUNSELL (Blanco Sandoval, 2003).

Profundidad Efectiva: Es la profundidad hasta donde se pueden desarrollar las raíces de las plantas sin encontrar impedimentos físicos o químicos, como capas endurecidas o compactadas, niveles freáticos altos, concentraciones salinas, sustratos pedregosos etc. De acuerdo con la profundidad efectiva los suelos pueden ser: Profundos, medianamente profundos, superficiales y muy superficiales.

6.4 Generalidades sobre el arroz y su cultivo

El arroz (*Oryza sativa*, L.) es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia Poaceae de las gramíneas (Franquet Bernis, 2004).

Hay al menos 20 especies del género *Oryza*, el arroz más cultivada es *O. Sativa* L. La única otra especie cultivada para alimento es *O. glaverrima* Steud. Sin

embargo su importancia está disminuyendo a medida que es reemplazada por variedades modernas de *O. Sativa* (Chandler, R. 1984).

Las variedades de *O. Sativa* se han separado en tres tipos: índica, japónica y bulu. Hace 40 años se consideraba que los arroces índica y japónica eran subespecies de *O. sativa*, hoy día se le considera como razas ecogeográficas. Pero probablemente esa distinción desaparecerá si continúa la hibridización entre los dos grupos (Chandler, R. 1984).

En Nicaragua, la variedad que se cultiva es del tipo índica, siendo la más utilizada en nuestra región. Las variedades recomendadas en Nicaragua son INTA Dorado, INTA Chinandega, Oryza LL-4, INTA N-1, Tainchun Sen 10, ANAR 97 (INTA, Guía Tecnológica, 2009). La variedad utilizada en las parcelas experimentales es INTA Dorado (Anexo 4).

Tipo Indica: Las variedades tradicionales de arroz índica, cultivadas extensamente en todos los trópicos, son altas y presentan mucho tallo; hojas de color verde tierno y colgantes; tienen poca tolerancia a temperaturas frías; responden en rendimiento de granos sólo a aplicaciones bajas de fertilizantes. Sin embargo, a diferencia de las variedades japónicas, muchas de las índicas poseen tolerancia considerable a la sequía y resistencia a los ataques de insectos y enfermedades. En general, el grano índica va de mediano largo a largo, y el contenido de amilosa del almidón va de mediano a alto, lo que hace que el arroz cocinado sea seco y esponjoso y presente poca desintegración (Chandler, R. 1984).

6.4.1 Características del cultivo del tipo índica

Raíces: Las raíces son delgadas, fibrosas y fasciculadas. Tiene dos tipos de raíces; las seminales, que se originan de la radícula y son de naturaleza temporal y las raíces adventicias secundarias, que tienen una libre ramificación y se forman a partir de los nudos inferiores del tallo joven. Estas últimas substituyen a las raíces seminales (Franquet Bernis, 2004).

Tallo: El tallo se forma de nudos y entrenudos alternados, siendo cilíndrico, erguido, nudoso, glabro y de 60-120 cm de longitud.

Hojas: Las hojas son alternas, envainadoras, con el limbo lineal, agudo, largo y plano. En el punto de reunión de la vaina y el limbo se encuentra una lígula membranosa, bífida y erguida que presenta, en el borde inferior, una serie de cirros largos y sedosos.

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

Inflorescencia: Es una panícula determinada que se localiza sobre el vástago terminal, siendo una espiguilla la unidad de la panícula, y consiste en dos lemmas estériles: laquilla y el flósculo.

Grano: el grano de arroz es el ovario maduro. El grano con cáscara se conoce como arroz “paddy”; el grano descascarado de arroz (cariópside), con el pericarpio pardusco, se conoce como arroz-café; el grano de arroz sin cáscara con un pericarpio rojo, es el denominado “arroz rojo” (Franquet Bernis, 2004).

6.4.1.2 Fases de desarrollo

El crecimiento de la planta de arroz comprende un ciclo completo que va desde la germinación hasta la maduración del grano. El crecimiento se divide en tres fases (CIAT, 1980):

Fase vegetativa: Desde la germinación de la semilla hasta la iniciación de la panícula.

Fase reproductiva: Desde la iniciación de la panícula hasta la floración; y

Fase de maduración: Desde la floración hasta la maduración total.

Cada una de las fases constituye diferentes etapas de crecimiento que va a depender estado fenológico del cultivo del arroz de acuerdo a la variedad, (Tabla 7).

Tabla 7 Estados fenológicos del cultivo del arroz

Calificación	Fases	Etapas
00	Vegetativa	Germinación
01		Plántula
02		Ahijamiento
03		Elongación del tallo
04	Reproductiva	Cambio del primordio
05		Panzoneo
06		Floración
07	Maduración	Estado Lechoso del grano
08		Estado pastoso del grano
09		Maduración Fisiológica/Madurez de cosecha

6.4.2 Requerimientos edafoclimáticos del cultivo del arroz

Clima: El cultivo de arroz favorece su crecimiento en las zonas tropical y subtropical, también se sostiene que es un cultivo especial de las zonas húmedas del trópico y templado. El arroz se puede cultivar desde el nivel del mar hasta los 2500 m de altitud (CIAT, 2010). En Nicaragua se cultiva en alturas entre 0 - 800 m.s.n.m. (INTA, Guía Tecnológica, 2009). Son varios los factores que influyen en la producción del cultivo de arroz, a continuación se describen:

Temperatura: Las temperaturas extremas causan serias perturbaciones en el desarrollo de la planta de arroz y, por ello, no favorecen el ambiente en que puede completarse el ciclo de vida de la planta. Las temperaturas críticas para la planta de arroz están, generalmente, por debajo de 20 °C y por encima de 30°C, y varían según el estado de desarrollo de la planta. Existe una correspondencia de temperatura entre las principales etapas de desarrollo de la planta de arroz y las diversas temperaturas (crítica y óptima) que pueden afectar esas etapas, (Tabla 8) Yoshida, 1977, tomado de (CIAT, 2010). En Nicaragua, el arroz tiene un óptimo crecimiento a temperaturas entre 25 – 30°C, siendo la máxima hasta

40 °C. Temperaturas de 17 o 18 °C disminuye el crecimiento del arroz (INTA, Guía Tecnológica, 2009)

Tabla 8 Temperatura en las principales etapas de desarrollo del cultivo del arroz

Etapas de desarrollo	Temperatura crítica (°C) ^a		Temperatura óptima (°C) ^a
	Baja	Alta	
Germinación	10	45	20-35
Emergencia y establecimiento de las plántulas	12-13	35	25-30
Enraizamiento	16	35	25-28
Elongación de las hojas	7-12	45	31
Macollamiento	9-16	33	25-31
Iniciación de la panícula PnL (primordio floral)	15		
Diferenciación de la PnL	15-20	38	
Antesis (Floración)	22	35	30-33
Maduración	12-18	30	20-25

^a Medida como temperatura media diaria, excepto para la germinación

Cuando se somete la planta a una temperatura menor a 20 °C durante el estado de reducción en la división de las células madre del polen, se induce en los granos un alto porcentaje de esterilidad de Satake, 1969, tomado de (CIAT, 2010).

La panícula, usualmente llamada espiga por el agricultor, comienza a formarse unos treinta días antes del espigado, y siete días después de comenzar su formación alcanza ya unos 2 mm. A partir de 15 días antes del espigado se desarrolla la espiga rápidamente, y es éste el período más sensible a las condiciones ambientales adversas (Franquet Bernis, 2004).

La floración tiene lugar el mismo día del espigado, o al día siguiente durante las últimas horas de la mañana. Las flores abren sus glumillas durante una o dos horas si el tiempo es soleado y las temperaturas altas. Un tiempo lluvioso y con temperaturas bajas perjudica la polinización (Franquet Bernis, 2004).

Suelo: La textura del suelo tiene un papel muy importante en el manejo del agua de riego y de la fertilización. Si la textura es fina, el tamaño pequeño de los poros del suelo sólo permite un movimiento lento del agua; en cambio, si la textura del suelo es liviana, el excesivo suministro de agua y de fertilizantes aumenta a las pérdidas de ambos recursos por causa del lavado y de la percolación (CIAT, 2010).

pH: La mayoría de los suelos tienden a cambiar su pH hacia la neutralidad pocas semanas después de la inundación. El pH de los suelos ácidos aumenta con la inundación, mientras que para suelos alcalinos ocurre lo contrario. El pH óptimo para el arroz es 6,6, pues con este valor la liberación microbiana de nitrógeno y fósforo de la materia orgánica, y la disponibilidad de fósforo son altas y además las concentraciones de sustancias que interfieren la absorción de nutrientes, tales como aluminio, manganeso, hierro, dióxido de carbono y ácidos orgánicos están por debajo del nivel tóxico (Franquet Bernis, 2004).

El arroz tolera bastante bien la salinidad y se obtienen buenas producciones de grano en suelos salinos; estos suelos, a su vez, son lavados por los continuos riegos que se dan a las plantas en el sistema de riego (CIAT, 2010).

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

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

Viento: Cuando el viento sopla con poca velocidad, el rendimiento de la planta aumenta el rendimiento de la planta aumenta gracias a la turbulencia que se crea en medio de la comunidad de plantas (suministro de gas carbónico). Vientos fuertes con características de vendaval son perjudiciales, puesto que incrementan el fenómeno del volcamiento. También, vientos secos y calientes pueden producir laceraciones en las hojas y en los granos y, en muchos casos, han hecho abortar las flores (CIAT, 2010).

6.4.3 Rendimientos en el cultivo del arroz

Se define como rendimiento en agricultura y economía agraria como la producción dividida entre la superficie. La unidad de medida más utilizada es la Tonelada métrica por Hectárea (Tm/Ha). Un mayor rendimiento indica una mejor calidad de la tierra (por suelo, clima u otra característica física) o una explotación más intensiva, en trabajo o en técnicas agrícolas (abonos, riego, productos fitosanitarios, semillas seleccionadas-transgénicos, etc.). La mecanización no implica un aumento del rendimiento, sino de la rapidez en el cultivo, de la productividad (se disminuye la cantidad de trabajo por unidad de producto) y de la rentabilidad (se aumenta el ingreso monetario por unidad invertida), consultado en internet: www.wikipedia.

6.4.3.1 Variables de rendimiento

Altura de planta (Ht): Medida desde la superficie del suelo hasta la punta de la panícula más alta, excluyendo las aristas en centímetros (CIAT, 1983).

Rendimiento en granza o Paddy (Yld): El rendimiento se determina en kg/ha en cáscara o paddy, con 14% de humedad. El área cosechada no debe ser menor de 5 m² por parcela y se debe descartar los surcos de los bordes. Se evalúa en el estado de crecimiento 9 (CIAT, 1983).

Longitud de panícula (PnL): La longitud de panícula se determina tomando en centímetros de la base o nudo ciliar hasta el último grano (CIAT, 1983).

Porcentaje de granos buenos: Se realiza el conteo total de granos en la panícula, así como granos buenos y vanos para calcular en porcentaje, Narváez 1998, tomado de (Ortega Molina, 2002).

Peso de 1000 granos (P1000G): Se toman al azar varias muestras de mil granos enteros bien desarrollados y con un contenido de humedad del 14% y se obtiene, en promedio, su peso en gramos (CIAT, 1983).

Constituye un factor esencial de productividad o rendimiento del arroz. Para el grano con cáscara, este valor puede oscilar entre 22 y 36 gramos. Cada variedad puede presentar intervalos de hasta el 25% (Tinarelli,1973). Son numerosos los factores que afectan este carácter, a saber: climáticos, edafológicos, agronómicos, etc. (Franquet Bernis, 2004).

6.4.3.2 Calidad industrial del grano

Los productos del beneficio del arroz son (Ospina, J. 2002).

Arroz blanco entero: Grano al cual se le ha quitado la cáscara, el germen y la capa aleurona que componen el salvado y, tienen una longitud no inferior al $\frac{3}{4}$ de la longitud total del grano.

Grano partido: Pedazo de grano de arroz pilado menor de $\frac{3}{4}$ de la longitud total del grano entero.

Arroz cristal: Grano partido de arroz blanco que mide entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ de la longitud total del grano entero.

Harina de arroz: En general, del arroz con cáscara se obtiene aproximadamente 20% de cascarilla y un 65% de grano blanco entero; el 15% restante son los otros subproductos.

Para el proceso de molinera del arroz se calculan variables para cuantificar las características y calidad del grano, para lo cual se toman como muestra de análisis 100 g de arroz con cáscara limpio y seco (Ospina, J. 2002).

Rendimiento de pilada: Es la relación del peso del arroz pilado (entero y partido) y el arroz con cáscara limpio y seco (Ospina, J. 2002).

Índice de pilada: Es la relación entre la cantidad total de granos enteros de arroz de arroz pilado obtenido de separar el grano partido del rendimiento de pilada y el arroz con cáscara (Ospina, J. 2002).

Análisis físico: Es importante tener en cuenta el grado de infestación del arroz, para lo cual se estipula que un grano está infestado cuando en una muestra de 1000 g de arroz con cáscara o de arroz blanco se detectan 4 o más insectos

primarios o secundarios. Un grano es libre de infestación cuando no hay presencia de insectos (Ospina, M. 2002).

Se evalúa los siguientes parámetros: Yesoso, hongos, insectos, recalentado y arroz rojo.

6.4.4 El arroz en la producción mundial

El continente asiático es el mayor productor y consumidor de arroz, aunque el mejor rendimiento a nivel mundial en arroz la tiene Australia con 9,47 ton/ha. En el continente americano, la mayor productividad la tienen, en orden de importancia, Estados Unidos con 8,15 tn/ha, Uruguay con 7,46, Perú 7,4, El Salvador 7,32, Argentina 6,98, Colombia 5,8, Venezuela 5,51 y República Dominicana 5,33 ton/ha (FAO, 2005).

En Centroamérica, Nicaragua ocupa el tercer lugar con un rendimiento de 3,49 ton/ha, sin embargo es el mayor productor a nivel centroamericano (FAO, 2005) (Figura 5 y 6).

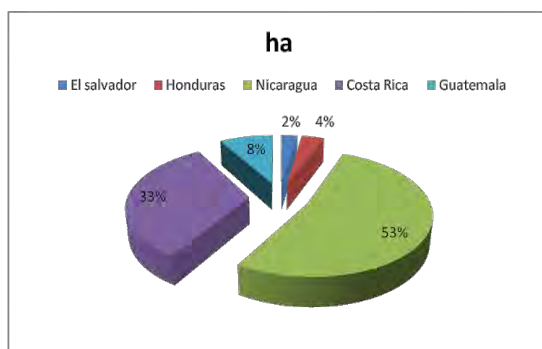


Figura 5 Hectáreas sembradas de arroz a nivel Centroamericano. FAO, 2005.

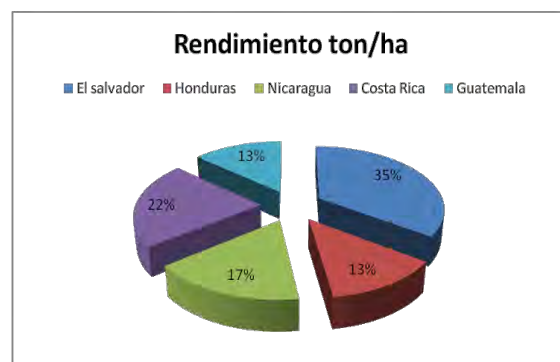


Figura 6 Rendimiento de arroz en C.A. FAO, 2005.

El Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Asociación Nacional de Arroceros (ANAR), trabajan para obtener semillas de primera calidad, invirtiendo en introducir nuevas variedades y cruzarlas con las nativas para que puedan adquirir un más alto nivel de productividad, resistencia al ambiente y enfermedades (END, 2007).

El costo de energía en el 2007, según Fernando Mansel, Presidente de ANAR, para producir una manzana corresponde a US\$ 210 dólares por ciclo, siendo dos ciclos al año, esto equivale a US\$ 296 dólares por ha. Mientras tanto el costo de energía en Costa Rica es de US\$ 36 dólares por hectárea (END, 2007).

Para el 2007 el consumo per cápita de arroz en Nicaragua casi se duplicó en diez años, pasando de 65 libras a 114, parte importante de ella con producción nacional, que de acuerdo con el dirigente arrocero Danilo Cortez alcanza las 200 mil toneladas anualmente, o sea unos cuatro millones de quintales (END, 2007)

Las áreas sembradas esperadas para el ciclo productivo 2010-2011 estimadas en el Plan Nacional de Producción de Alimentos, de 127624 mz corresponden 64690 mz con producción bajo riego (MAGFOR, 2011) (Tabla 9).

Tabla 9 Plan Nacional de Producción de alimentos para el cultivo del arroz

Cultivos	Indicadores	Unidad de Medida	Ciclo Productivo	
			2010-2011	2011-2012
Arroz	Área sembrada	Manzanas	127.624	127.690
	Área cosechada	Manzanas	123.029	127.690
	Producción	Manzanas	5 363.18	5 699.95
Arroz seco	Área sembrada	Manzanas	62.934	63.000
	Área cosechada	Manzanas	58.339	63.000

	Producción	Manzanas	1 962.950	1 142.000
Arroz de Riego	Área sembrada	Manzanas	64.690	64.690
	Área cosechada	Manzanas	64.900	64.690
	Producción	Manzanas	3 400.240	3 557.950

6.5 Técnicas utilizadas en el manejo del agua en el cultivo del arroz

El sistema de riego empleado en los arrozales es diversos, desde sistemas estáticos, de recirculación y de recogida de agua. Teniendo en cuenta las ventajas e inconvenientes de cada sistema y de su impacto potencial en la calidad del agua, permitirá a los arroceros elegir el sistema más adecuado a sus operaciones de cultivo, a continuación se describe cada uno de manera breve y concisa:

Sistema de riego por flujo continuo: Es el convencional, siendo diseñado para autorregularse: el agua fluye de la parte alta del arrozal a la parte baja, regulándose mediante una caja de madera. El vertido se produce desde la última "caja de desagüe", que se usa para mantener el nivel del agua de la tabla. Entre los inconvenientes de este sistema destacan los vertidos de pesticidas a las aguas públicas, el aporte constante de agua fría por la parte alta de la tabla produce el retraso en la fecha de maduración y perjudica los rendimientos en las zonas cercanas a la entrada de agua y la introducción de agua en la fecha de aplicación de herbicidas, da lugar a un menor control de las malas hierbas (Franquet Bernis, 2004).

Sistema de recuperación del agua de desagüe por recirculación: Este sistema facilita la reutilización del agua de salida y permite que no se viertan residuos de pesticidas a los canales públicos. Tiene la ventaja de proporcionar una flexibilidad máxima requiriendo un periodo más corto de retención de agua después de la aplicación de los productos fitosanitarios que los sistemas

convencionales. Consiste en elevar el agua de desagüe de la última tabla hasta la tabla de cota más alta mediante una bomba de poca potencia a través de una tubería o de un canal. Los costos derivados de la construcción y uso de un sistema recirculante dependen de la superficie cubierta por dicho sistema, el desnivel y la irregularidad del terreno (Franquet Bernis, 2004).

Sistema de riego estático: Mantiene las aguas con residuos de pesticidas fuera de los canales públicos y elimina la necesidad de un sistema de bombeo como el empleado en el recirculante, además se controla de forma independiente la entrada de agua a cada tabla, limitándose la pérdida de agua por evapotranspiración y percolación. Este sistema consiste en un canal de drenaje que corre perpendicularmente a los desagües de las tablas. El canal está separado de cada parcela por una serie de válvulas que controlan la profundidad dentro de cada tabla. No es adecuado para suelos salinos y además se reduce el terreno cultivable debido a la construcción del canal de drenaje (Franquet Bernis, 2004).

Sistema de riego mediante recuperación del agua: La recuperación del agua se realiza mediante tuberías, utilizando el flujo debido a la gravedad para llevar el agua de una tabla a otra, evitando el vertido a los canales públicos de aguas con residuos de pesticidas. Este sistema es muy efectivo y presenta costos reducidos, además durante los periodos de retención del agua, permite una gran flexibilidad en el manejo. Aunque cuando están conectadas varias tablas, debido a la gran superficie, se hace difícil en manejo preciso y eficaz; teniendo en cuenta también que los suelos salino-sódicos, la acumulación de sales puede resultar un problema (INFOAGRO).

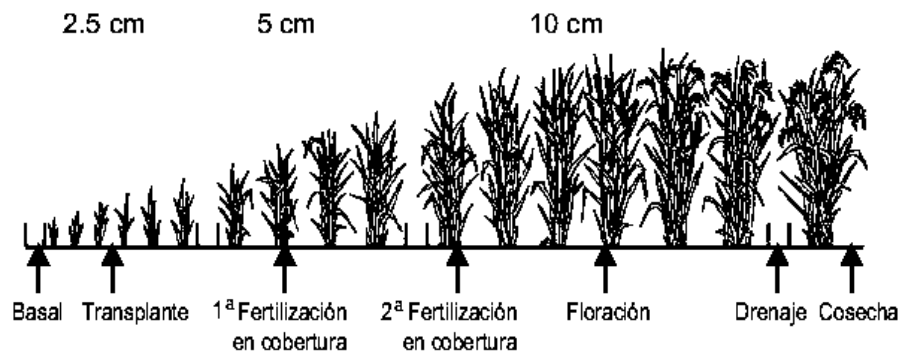


Figura 7 Regímenes hídricos deseables en los arrozales en diferentes etapas de crecimiento en el método tradicional

Método utilizado en Nicaragua: El método utilizado para el manejo del agua en el cultivo del arroz en Nicaragua ha sido el método tradicional de inundación continua durante la mayor parte del ciclo vegetativo. De 20 a 25 días después de la germinación, cuando las plántulas tienen aproximadamente una altura entre 20 a 30 cm se inicia el riego de inundación, manteniendo la lámina de agua a una altura de 10-15 cm. Sin embargo estos niveles se superan en algunos casos hasta 20-30 cm máximo en la etapa de floración, lo que depende en gran medida por los métodos de preparación del terreno que puede incrementarse de nivel de agua. Existen riesgos de contaminación ya que para el mejor aprovechamiento de los fertilizantes aplicados se drenan las aguas, estas aguas son vertidas a través de cauces naturales a cuerpos de aguas (ríos, lagos).

6.5.1 Nuevas técnicas reductoras de agua en el cultivo de Arroz

Durante la década de 1990, el IRRI (Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz) y los investigadores nacionales han probado con éxito varias tecnologías de ahorro de agua como: el cultivo del suelo saturado, saturado del suelo y secado del suelo, y humectación de húmedo y secado (AWD) en los

campos de los agricultores. Estos métodos han sido reportados por aumentar la productividad del agua mediante la reducción de entrada de agua hasta en un 35% en comparación con la inundación continua, pero el rendimiento de grano se ve reducido (Borell et, al 1997, Lu et al 2000, Bouman and Tuong 2001, Tabbal et al 2002). En los ensayos realizados en China y las Filipinas, informó ahorro de agua para la gama de tracción total del 13% al 30%, con una reducción significativa en el rendimiento, Cabangon et al 2001, Belder et al 2002 (tomado de Instituto de Investigación Internacional de arroz, Fox DAPO 7777, Metro Manila, Filipinas).

Para hacer frente a la merma de la producción de arroz en la isla Bohol-Filipinas, la Administración Nacional de Riegos (NIA) iniciaron la implementación de una tecnología dirigida al ahorro de agua denominada Alternancia humectación/secado (AWD), desarrollada por el Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz (IRRI) en cooperación con institutos de investigación nacionales. El visible éxito de la AWD en explotaciones piloto, así como los programas de formación específicos para agricultores, lograron disipar la percepción ampliamente difundida de posibles pérdidas de rendimiento en campos de arroz no anegados. La amplia adopción de la AWD facilitó un uso óptimo del agua de riego, de forma que la intensidad de los cultivos pudo aumentarse del 119 % al 160 % (en relación al máximo de 200% en estos sistemas de doble cosecha). Así mismo, de acuerdo con la metodología revisada por el Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (IPCC), la “aeración múltiple”, a la que corresponde la AWD, reduce las emisiones de metano en un 48%, en comparación con la anegación continuada de los campos de arroz. La AWD ofrece, así, múltiples beneficios relacionados con la reducción de emisiones de metano, la reducción del uso de agua (adaptación allí donde el agua escasea), un aumento de productividad y la contribución a la seguridad alimentaria (FAO, 2010).

Por otro lado, Perú desde que se inició esta técnica se ha incrementado la producción del arroz en un 25 y 30%, y en uso de agua se ha reducido de un 20 y 30% (RPP, 2009).

Cómo implementar AWD o Técnica Húmedo Seco (THS)?

Una forma práctica de aplicar la tecnología THS es monitorear la profundidad del agua estancada en el campo utilizando un "tubo medidor de agua".

Después de cada riego, la profundidad de la lámina de agua disminuirá gradualmente por la transpiración de las plantas y por la evaporación del campo. Cuando el agua estancada se ha reducido a 15 cm por debajo de la superficie del suelo, se debe aplicar un



Dibujo 1 Tubos medidores de agua

nuevo riego para volver a inundar el campo con una lámina de 5 cm de agua. En el periodo de floración (una semana antes y una semana después) se debe mantener una lámina de 5 cm de agua. Después de la floración, durante el llenado del grano a la madurez, el nivel del agua puede bajar de nuevo a 15 cm por debajo de la superficie antes de volver a aplicar un nuevo riego.

Seguro Técnica Húmedo Seco (THS)?

El umbral de 15 cm de profundidad del agua (por debajo de la superficie) antes de aplicar un nuevo riego se llama "Seguro THS" ya que esto no provocará una disminución del rendimiento. El ahorro de agua con THS es por el orden de 15 a 30%. Una vez en que los productores tienen confianza de que la tecnología THS no reduce el rendimiento, ellos podrán experimentar la reducción del nivel del umbral de riego a 20, 25 o 30 cm de profundidad, o incluso más profundo. La reducción del nivel del umbral para el riego aumenta el ahorro de agua, pero

también podría reducir el rendimiento del cultivo. Se puede aceptar una disminución del rendimiento cuando el precio del agua es alto o cuando el agua es muy escasa.

Tubo medidor de agua

El tubo puede ser hecho de plástico o de bambú de 40 cm de largo y de 15 o más cm de diámetro para que el nivel del agua sea fácilmente visible. Perforar el tubo en todo su alrededor con agujeros de medio centímetro de diámetro y realizados a cada dos centímetros entre sí. Enterrar los 20 cm de la parte perforada del tubo y la parte no perforada debe sobresalir de la superficie del suelo. Sacar el suelo o lodo de la parte interior del tubo para que el fondo del tubo sea visible.

Compruebe que el nivel de agua dentro del tubo sea el mismo que en el exterior del mismo. El tubo puede ser colocado en una parte plana del campo cerca de los bordes, de tal forma que sea fácil observar la profundidad del nivel del agua.



Figura 8 Tubo medidor hecho de PVC, en los campos de arroz

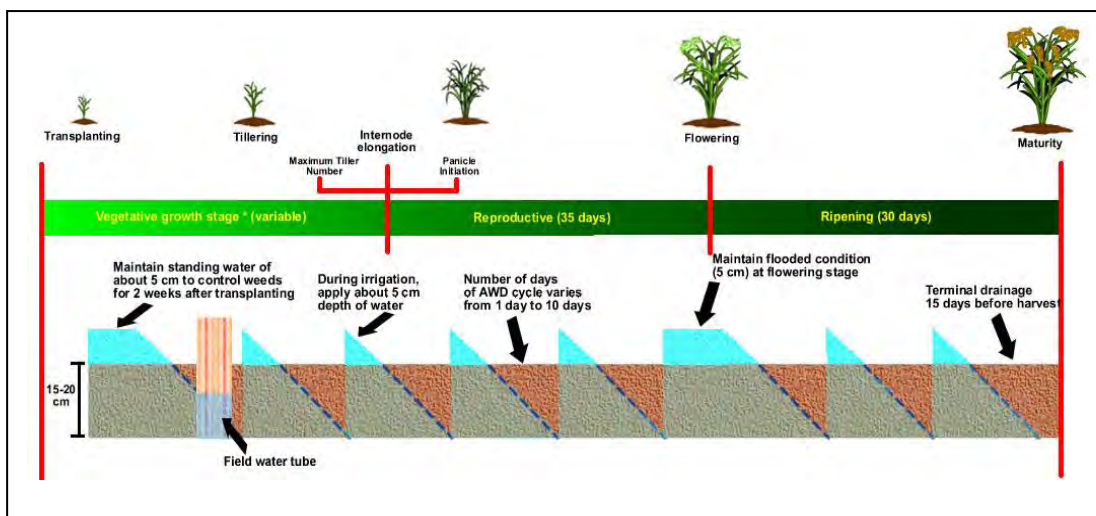


Figura 9 Niveles de agua en las diferentes fases de crecimiento del cultivo.

Tabla 10 Comparación del método tradicional y de reducción de agua (THS)

Técnica	Tradicional	THS
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Control de malezas. • Favorecen una mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo (ya que el pH tiende a volverse neutro en suelos inundados) 	<ul style="list-style-type: none"> • Menos extracción de agua. • Ahorro de energía. • Menor excedente de agua que drene a cuerpos de agua. • Menor riesgo de contaminación del acuífero por lixiviación. • Menor riesgo de contaminación de los cuerpos de agua por avenamiento que contienen residuos de plaguicidas.

Desventajas	<ul style="list-style-type: none">• Alta extracción de agua• Peligro potencial para la contaminación por lixiviación.• Contaminación en cuerpos de agua (ríos, lagos).	<ul style="list-style-type: none">• Aplicación de herbicidas para el control de malezas.• Mayores costos por deshierba.
--------------------	--	--

6.6 Eficiencia económica

Los índices de eficiencia económica permiten conocer cuál es el costo relativo de los recursos utilizados, es decir, con cuánta eficiencia se utilizan. La relación beneficio costo muestra la cantidad de dinero que retorna por cada unidad monetaria invertida (Herrera, Velasco, Denen, & Ricardo, 1994).

La relación costo-beneficio (B/C), también conocida como índice neto de rentabilidad, es un cociente que se obtiene al dividir el Valor Actual de los Ingresos totales netos o beneficios netos (VAI) entre el Valor Actual de los Costos de inversión o costos totales (VAC) de un proyecto (creceNegocios, 2012).

$$B/C = \frac{VAI}{VAC}$$

Según el análisis costo-beneficio, un proyecto o negocio será rentable cuando la relación costo-beneficio es mayor que la unidad (creceNegocios, 2012).

$$B/C > 1 \rightarrow \text{el proyecto es rentable}$$

Para el caso que la relación B/C= 1,69, indica que por cada unidad monetaria en que se incurra en el costo total, se obtienen 1,69 unidades de ingresos total,

lo que implicaría un retorno neto de $(1,69-1,00) \times 100 = 69\%$ para la alternativa, (CATIE, 1985).

En el caso de analizar la factibilidad de tecnologías nuevas a través de un presupuesto parcial, éste índice se puede calcular tomando en cuenta solo los costos variables y no los costos totales (que incluyen los costos fijos) pues la mayoría de las veces son los únicos costos que son afectados por la introducción de la tecnología (Herrera, Velasco, Denen, & Ricardo, 1994).

Para tomar decisión sobre el resultado de criterio se tiene:

B/C = 1; El productor no gana ni pierde al realizar el cambio tecnológico

B/C > 1; Indican ganancias

B/C < 1; Indican pérdidas

La relación beneficio/costo por sí sola no es un criterios determinante para basar una recomendación. Se debe comparar con otras alternativas y además se hace necesario incorporar al análisis otros índices económicos y financieros, (Herrera, Velasco, Denen, & Ricardo, 1994).

VII. DISEÑO METODOLÓGICO

La investigación “Calidad del agua y manejo de sus diferentes niveles para el óptimo rendimiento del cultivo del arroz, en el Valle de Sébaco durante el periodo Julio-Diciembre 2011, se realizó con los siguientes métodos y técnicas, que a continuación se describen.

7.1 Tipo de estudio

El estudio es experimental, debido a que se crean artificialmente las condiciones de campo requeridas para evaluar el efecto de la reducción en los volúmenes y la calidad del agua sobre el rendimiento en el cultivo del arroz. Es prospectivo porque en función del tiempo los resultados experimentales ocurren hacia delante. Por otra parte, también en función del tiempo el estudio es longitudinal porque, en el tiempo, es importante la forma en que ocurren los hechos y específicamente se desarrolló en condiciones de riego en el período Julio-Diciembre, 2011.

7.2 Universo y muestra de estudio

Ubicación

La finca de estudio experimental está ubicada en el Valle de Sébaco en las coordenadas 16591019 E y 1415160 N, a 481 m.s.n.m. en el Centro de Investigación del Arroz Taiwán Nicaragua (TAINIC).

El TAINIC cuenta con un pozo perforado (PP-TAINIC) de 40 m de profundidad, una bomba sumergible que eroga 600 g.p.m, el cual es la única fuente utilizada para el regadío de 14 mz de arroz, así como para el consumo de los trabajadores de campo. Datos de calidad de estas aguas no han sido reportados previamente.

El establecimiento de las parcelas de experimentación se realizó en la época lluviosa (primera quincena del mes de Agosto-2011) (Tabla 11).

Tabla 11 Estacionalidad del cultivo del arroz parcelas experimentales

Arroz	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
								6 Dic.	
Riego de Invierno								Cosecha	
			Siembra						
			6 Agosto 2011						

El diseño utilizado fue un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA), el cual constó de 5 tratamientos (T_0 , T_1 , T_2 , T_3 , T_4), con un área de total de 1434,2 m². La parcela estaba constituida por 286,84 m² con dimensiones de 13,28 m de ancho y 21,6 m de longitud (Figura 10). La variedad del arroz (*Oriza Sativa*) utilizada fue INTA Dorado.

Tratamientos

Los tratamientos en la parcela experimental fueron los siguientes:

T_0 : Secano con agua de lluvia solamente

T_1 : Técnica húmedo seco (THS)

T_2 : Nivel de agua de 1 pulgada

T_3 : Nivel de agua de 2 pulgadas

T_4 : Nivel de agua de 3 pulgadas

Preparación de suelo

Los suelos fueron acondicionados mediante dos pases de roter y un banqueo antes de inundar el terreno cuyo objetivo es erradicar todo tipo de malezas. Posteriormente se realizó la nivelación manual después de la división de las parcelas para asegurar mejor la distribución del agua.



Figura 10. Tratamientos en la parcela experimental en el Centro Experimental del Arroz Taiwán Nicaragua (TAINIC) Agosto, 2011.

7.3 Análisis de agroquímicos en matriz agua-suelo-grano

Para determinar la persistencia de los agroquímicos (organoclorados, organofosforados y piretroides), muestras de agua, suelo y grano fueron colectadas y analizadas en el laboratorio de contaminantes orgánicos del CIRA-UNAN (<http://www.cira-unan.edu.ni>).

En cada uno de los tratamientos de la parcela experimental se aplicaron fertilizantes y agroquímicos de acuerdo a las prácticas culturales del Centro TAINIC y recomendado por el INTA. Los agroquímicos y cantidades utilizadas en el cultivo del arroz durante el ciclo Agosto – Noviembre 2011, fueron los siguientes: 150,9 cc de Cipermetrina, 351,8 cc de Carbendazin, 750 cc Clincher,

264,7 de Clorpirifos, 10 grs de Agrimicyn y 101,8 cc de Fhyton. En la tabla 12 se indican las fechas de aplicación.

Tabla 12 Agroquímicos aplicados durante el ciclo del cultivo del arroz

<i>Fecha de aplicación</i>	<i>Agroquímico</i>	<i>Dosis</i>	<i>dds</i>	<i>Descripción</i>
13-sep-11	Cipermetrina	100 cc	38	Insecticida no sistémico, Piretroide. Chicharrita sogata del arroz (sogatodes oryzicola)
13 sept-11	Carbendazin	250 cc	53	Fungicida sistémico
24-sep-11	Clincher	750 cc	61	Herbicida
28-sep-11	clorpirifos	101,8 cc	54	Organofosforado de contacto. Mosca blanca (<i>Rupella albinella</i>), gusano cortador (<i>Spdoptera frugiperda</i>).
06-oct-11	Carbendazin	101,8 gr	61	Fungicida sistémico
06-oct-11	Cipermetrina	50,91 cc	61	Piretroide no sistémico, de contacto.
13-oct-11	Clorpirifos	101,82 cc	69	Organofosforado de contacto
25-oct-11	Agrimicin	10 grs	80	Sistémico. Organofosforado
26-oct-11	Fhyton	50,91 cc	81	Fungicida sistémico, sulfato de cobre
11-nov-11	Fhyton	50,91 cc	97	Fungicida sistémico, sulfato de cobre
11-nov-11	Clorpirifos	61,09 cc	97	Organofosforado de contacto

Dds: Días después de la siembra

Criterios de selección para los agroquímicos a analizar

Los parámetros que se utilizaron para la selección de los agroquímicos a analizar fueron: número de aplicaciones, persistencia en los compartimentos

agua-suelo-grano, capacidades analíticas locales. El resultado del análisis comparativo se describe en la tabla 13, resumiendo las características de los agroquímicos seleccionados.

Tabla 13 Agroquímicos seleccionados para ser analizados en las muestras de agua, suelo y grano.

Grupo Químico	Organofosforado	Piretroide
Nombre común	Clorpirifos	Cipermetrina
Descripción del producto	Insecticida y acaricida organofosforado de contacto	Insecticida
Modo de acción	Contacto, inhalación e ingestión	No sistémico, no volátil que actúa por contacto e ingestión.
Ingredientes activos	0-0 dietil, 0-3, 5, 6 - tricloro-2-pyridil fosfotioato	Cipermetrina
Categoría toxicológica	Categoría II Moderadamente peligroso	Categoría II Moderadamente peligroso
Persistencia	Efecto residual prolongado	Ligeramente persistente
DT suelos	60 – 120 días hasta 1 año dependiendo el tipo de suelo	8 – 56 días
DT Aguas	3,5 – 20 días	50 días por hidrólisis

7.3.1 Agroquímicos en matriz agua

Para la determinación de agroquímicos en agua, se colectó muestras de agua del pozo perforado TAINIC (PP-TAINIC) y de los tratamientos T₁ y T₄. Los agroquímicos analizados fueron organoclorados al inicio de campaña y al final de campaña organofosforados y Cipermetrina (Tabla 13).

Las muestras de agua fueron colectadas de siguiendo los procedimientos de colecta de muestra de plaguicidas (PNO-AN-Nº 10) según el laboratorio del CIRA/UNAN. Las muestras de agua fueron preservadas con 20 ml de hexano y

colocadas en termos con hielo para ser trasladados al laboratorio para su análisis posterior.

El material de las botellas para la colecta de agua es de vidrio color ámbar ó cubierta por papel aluminio para evitar la degradación por fotólisis con capacidad de 2 litros ya que no puede utilizarse recipientes de plástico, por la posibilidad de contaminar las muestras de ésteres fitalatos y otros contaminantes.



Figura 11 Toma de muestras para plaguicidas en matriz agua, Noviembre, 2011.

Materiales de muestreo

- Botellas de vidrio pirex color ámbar con capacidad de 2 litros.
- Probeta graduada con capacidad de 20 ml, para medir el preservante.
- Hexano grado plaguicida para análisis de residuos orgánicos.
- Termos, hielo.

Para el análisis de las muestras se utilizó el método sugerido por el Programa de Monitoreo Costero del Proyecto GEF-REPCar (PNUMA, 2008), utilizado en laboratorios de cromatografía de gases del laboratorio de contaminantes orgánicos del CIRA.

La extracción líquido-líquido se realizó usando 60 ml de diclorometano y agitación por 3 minutos con un reposo de 10 minutos para la separación de fases. Los extractos orgánicos fueron reconcentrados en un rotaevaporador a una temperatura de 30°C y luego evaporados con un flujo suave de nitrógeno, finalmente los extractos fueron aforados a 2 ml con hexano, se les aplicó

destrucción de azufre, evaporación con flujo suave de nitrógeno y aforo a 1 ml con hexano. El análisis instrumental se realizó inyectando 1 μ l del extracto en un cromatógrafo a gases equipado con columna capilar DB5 y con un detector de captura de electrones ECD. El cromatógrafo de gases utilizado en la identificación y cuantificación de los compuestos organoclorados fue un VARIAN 3400 y para Cipermetrina y Clorpirifos el modelo VARIAN 3000 (Figuras 12 y 13).



Figura 12. Cromatógrafo de gases modelo VARIAN 3000. CIRA/UNAN, 2012.



Figura 13. Cromatógrafo de gases modelo VARIAN 3400. CIRA/UNAN, 2012.

7.3.2 Agroquímicos en matriz suelo

La toma de muestras de suelo se realizó mediante el procedimiento operativo para el aseguramiento y control de la calidad para la colecta de muestras de suelo del CIRA/UNAN, PROC-CO-05 de acuerdo al protocolo de colecta de muestras del laboratorio CIRA/UNAN. Se hizo la colecta en la parte superficial del suelo 0-10 cm de profundidad. Las muestras se realizaron en dos tratamientos T_1 y T_4 , en las cuales se tomaron 4 muestras de suelo por cada tratamiento y luego se homogenizaron. Las muestras fueron refrigeradas en recipientes de vidrio sin preservar hasta la llegada al laboratorio.

Materiales de muestreo

- Botellas de vidrio con capacidad de 1 litro
- Bandeja
- Papel aluminio
- Espátula de madera
- Etiquetas para rotular
- Marcador permanente
- Vasos de vidrio
- Termos, hielo



Figura 14 Toma de muestras para agroquímicos en suelo, Noviembre 2011.

Los análisis se realizaron en laboratorios de contaminantes orgánicos del CIRA-UNAN. La extracción de los agroquímicos se realizó usando 20 ml de hexano, y agitando por 3 minutos en un agitador tipo Vortex (empleado para mezclar líquidos), se zonificó por otros 3 minutos este procedimiento se repitió una vez más, luego se realizó otra extracción usando 20 ml de diclorometano como solvente y se procedió a agitar por 3 minutos en agitador tipo Vortex mas zonificación por otros 3 minutos. Este procedimiento se repitió una vez más. Los extractos orgánicos fueron reconcentrados en un rotaevaporador a una temperatura de 30 °C y luego se evaporaron con un flujo suave de nitrógeno, se aforaron a 2 ml con hexano, se les aplicó destrucción de azufre y purificación por columna usando florisil como adsorbente, aforo a 1 ml con hexano. El análisis instrumental se realizó inyectando 1 µl del extracto en un cromatógrafo a gases equipado con columna capilar DB5 y con un detector de captura de electrones ECD. El método utilizado fue el PNUMA modificado (PNUMA, 2008).

7.3.3 Agroquímicos en grano

Se tomaron 200 grs de arroz oro de los tratamientos T₁ y T₄ para determinar presencia de Cipermetrina y Clorpirifos. Las determinaciones se realizaron en los laboratorios de contaminantes orgánicos del CIRA/UNAN.

Materiales de muestreo

- Bolsas plásticas
- Marcador permanente
- Cinta adhesiva para etiquetar



Figura 15. Muestras de arroz oro producido bajo las condiciones del tratamiento T₁. Diciembre 2011.

En laboratorios, 5 g de muestras fueron usados para la determinación de plaguicidas organofosforados y cipermetrina. La extracción se realizó usando 25 ml de una mezcla hexano-diclorometano (1:1), se agitó por 3 minutos en agitador tipo Vortex y luego se zonificó por otros 3 minutos, este procedimiento se repitió por 3 veces. Los extractos orgánicos se reconcentraron en un rotaevaporador a una temperatura (T) de 30°C y luego evaporado con un flujo suave de nitrógeno y aforado a 2 ml con hexano. Posteriormente se les aplicó destrucción de azufre, evaporación con flujo suave de nitrógeno y aforo a 1 ml con hexano. El análisis instrumental se realizó inyectando 1 µl del extracto en un cromatógrafo a gases modelo VARIAN 3000 equipado con columna capilar DB5 y con un detector de captura de electrones (ECD).

7.4 Análisis físicos y químicos de agua y suelos

7.4.1 Análisis de agua

La colecta de agua para el análisis físico y químico fue realizada según los Protocolos del laboratorio CIRA (PNO-AN-No. 2). El muestreo se realizó en dos momentos: al inicio de campaña en el pozo perforado (PP-IC-TAINIC) y al final

de campaña, distribuidos de la siguiente manera: 1 en el pozo (PP-TAINIC-FC), y 4 por cada tratamiento o parcela experimental, excepto el tratamiento T₀ (secano). Para la colecta del agua en las parcelas se realizaron con anticipación 4 hoyos de aproximadamente 40 cm de profundidad. En cada punto de muestreo se tomaron los datos de parámetros de campo como son: pH, Temperatura (T °C), oxígeno disuelto en mg/l (OD), Porcentaje de saturación (%) Saturación y conductividad eléctrica $\mu\text{s}/\text{cm}$ (CE). Se preservaron las muestras con hielo hasta la recepción en laboratorios.



Figura 17. Toma de muestras de agua del PP-TAINIC para análisis físico-químico. Agosto, 2011.



Figura 16. Toma de muestras de agua en los diferentes tratamientos. Agosto, 2011.

Materiales y equipo

- pH-metro YSI 550A (parámetros de campo).
- Oxigenómetro YSI Waterproof (parámetros de campo).
- Recipientes plásticos con capacidad de 1 gln.
- Termo y hielo.

El análisis de agua de riego para el PP-TAINIC y sus diferentes tratamientos fue realizado en laboratorios de aguas naturales del CIRA/UNAN apegado a la Norma Técnica Nicaragüense (NTN 004001, 2005).

Los parámetros que se analizaron en laboratorios de aguas naturales fueron los que se detallan en la tabla 14.

Tabla 14 Parámetros y métodos utilizados en análisis físico químico de aguas

Parámetros	Método
pH	Electrométrico. 4500-H.B ¹
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Método del laboratorio. (CIRA-UNAN). 2510.B ¹
Sodio	<i>Electrodo de Ion Selectivo de Sodio</i> ²
Potasio	<i>Fotometría de llama. 3500-K.B¹</i>
Calcio	Titrimétrico del Ácido Etilendiamino Tetraacético (EDTA). 3500-Ca.B ¹
Dureza total	Método de cálculo. 2340 C ¹
Magnesio	Método de cálculo. 3500-Mg.B ¹
Cloruro, Nitrato y Fosfato	Cromatografía iónica con supresión química. 4110.B ¹
Nitrito	Colorimétrico. 4500-NO ₂ .B ¹
Hierro total	Colorimétrico de la Fenantrolina. 3500-Fe.B ¹
Sílice	<i>Molibdosilicato. 4500-SiO₂.C¹</i>
Carbonatos y bicarbonatos	<i>Titrimétrico. 2320.B¹</i>
Boro	<i>Espectrofotométrica.</i>

Referencias

¹ American Public Health Association (APHA). 2005 *Standard Methods for the Examination of water and Wastewater 21 st. Edition Washington:APHA.*

² Thermo Orion. (2001). *ROSS Sodium Electrodes Instruction Manual. Model 86-11BN USA: Thermo Orion*

7.4.2 Análisis de suelo y taxonomía

Para estudiar los aspectos nutricionales del suelo, se tomó una muestra de suelo simple alterada, por cada tratamiento, a una profundidad de 30 a 40 cm para cada uno de los tratamientos. Siendo un total de 5 muestras de aproximadamente de 2 a 3 kg



Figura 18 Muestras de suelo para análisis de nutrientes. Diciembre 2011.

de suelo. Las muestras fueron trasladadas y analizadas en Laboratorios Químicos, S.A. (LAQUISA) (<http://www.laquisa.com>).

Materiales utilizados

Tabla Munsell	Lupa	Marcador
Cilindros	Cuchillo,	Bolsa plástica
Cinta métrica	Agua destilada	Hoja de campo
Mazo	Pala	

Para identificar la clase taxonómica del suelo, se construyó una calicata en el área experimental donde se tomaron los datos de humedad, color, textura, estructura, profundidad de raíces y perfil de suelo.

Perfil del suelo

Para describir el perfil del suelo se construyó una calicata a una profundidad de 1,50 m x 1 m de ancho x 1,50 m longitud. La calicata se realizó con la vista del perfil opuesta en la dirección que sale el sol para diferenciar fácilmente los diferentes horizontes utilizando el color, textura, estructura y consistencia.

Con la cinta métrica se midió el espesor de cada uno de los horizontes, el color se determinó con la tabla Munsell en estado seco y húmedo.



Figura 19 Espesor de cada horizonte



Figura 20 Profundidad de raíces

En bolsas plásticas se colectó aproximadamente 2 kg de suelo por perfil para determinar capacidad de campo (CC), límite de marchitez (LM) y densidad aparente (da), en laboratorio de edafología de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-RUPAP) (www.uni.edu.ni/RUPAP.html) (Anexo 5).

7.4.3 Arsénico en agua, suelo y grano

Arsénico en agua

Al inicio de campaña se colectó muestras de agua del PP-TAINIC, utilizado en el riego del cultivo del arroz. La colecta se realizó según procedimiento de campo recomendado por laboratorios de contaminantes metálicos (PON-CM-002) del CIRA-UNAN.



Figura 21 Colecta de agua para analizar As en el PP-TAINIC. Agosto 2011.

Para la colecta de agua se puso en marcha la bomba por 5 minutos y se procedió a endulzar tres veces el recipiente. Para preservarlo se le agregó 2 ml de ácido nítrico (HNO_3) concentrado y fue resguardada en termo con hielo hasta su ingreso al Laboratorio.

Materiales de muestreo

- Envases plásticos con capacidad de 1 lt
- Ácido nítrico
- Gotero graduado con capacidad de 3 ml, para medir el preservante
- Cinta adhesiva para roturar
- Marcadores permanentes

As en suelo

La toma de muestras de As en suelo se realizó en dos momentos. 1) Al inicio de campaña, el cual se realizó colecta completa de 2 kg de suelo, y 2) Al final de campaña, se hizo la colecta en la parte superficial del suelo 0-10 cm de profundidad. Las muestras se realizaron en dos tratamientos T₁ y T₄, en las cuales se tomaron 4 muestras de suelo por cada tratamiento y luego se homogenizaron. Estas se guardaron en recipientes de vidrio sin preservar y se refrigeran hasta la llegada al laboratorio.

Materiales de muestreo

- Bandeja plástica
- Agua destilada
- Espátula
- Guantes de latex
- Marcadores indelebles
- Cinta adhesiva para roturar

El análisis de As en agua y suelo se realizó en el laboratorio de contaminantes metálicos del laboratorio del CIRA/UNAN. El instrumental de análisis utilizado fue un Espectrómetro de Absorción Atómica VARIAN SpectrAA-240FS con generador de hidruro VGA-77.

As en grano de arroz

Se tomó una muestra de arroz oro por cada tratamiento (T₁ y T₄) para determinar de concentraciones totales de arsénico en arroz. El análisis fue

llevado a cabo en el Laboratorio de Contaminantes Metálicos del CIRA/UNAN. Esta determinación fue realizada por medio de digestión ácida en caliente y posteriormente cuantificadas a través de Espectrometría de Absorción Atómica con la técnica de generación de hidruros.

El instrumental de análisis utilizado fue un Espectrómetro de Absorción Atómica VARIAN SpectrAA-240FS con generador de hidruro VGA-77, cuyo límite de detección es de 0,002 µg/g.



Figura 22 Espectrómetro de absorción atómica modelo VARIAN SpectrAA-240FS. CIRA/UNAN, 2012.

A continuación se especifica el momento de realización del muestreo en los diferentes compartimentos.

Tabla 15 Momentos que se realizaron los muestreos en los diferentes compartimentos

Tipo	Identificación	Fecha muestreo	Matriz	Número de muestras colectadas	Análisis realizados
Físico - Químico	PP-TAINIC	09-ago-11	Agua	1	Turbidez, pH, conductividad a 22,3 °C, sólidos totales disueltos, color verdadero, calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruros, nitratos, sulfatos carbonatos, bicarbonatos, dureza
	PP-TAINIC	25-nov-11		1	total como CaCO ₃ ,
	T ₁			4	alcalinidad total como
	T ₂			4	CaCO ₃ , alcalinidad a la

Calidad de agua y manejo de sus diferentes niveles para el óptimo rendimiento del cultivo del arroz en el Valle de Sébaco, durante el ciclo Julio-Diciembre 2011

	T ₃			4	fenolftaleína, sílice disuelta, nitritos, hierro total, fluoruros
	T ₄			4	
	Parcela	01-ago-11	Suelo	1	pH, Materia orgánica, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso, Boro, Azufre, Capacidad de Intercambio Catiónico
	T ₀	01-dic-11		1	
	T ₁			1	
	T ₂			1	
	T ₃			1	
	T ₄			1	
Arsénico	PP-TAINIC			11-ago-11	
	Parcela	25-nov-11	Suelo	1	
	T ₁			1	
	T ₄	10-ene-12	Grano	1	
	T ₁			1	
	T ₄			1	

Continúa página siguiente

Continuación de tabla 15

Tipo	Identificación	Fecha muestreo	Matriz	Número de muestras colectadas	Análisis realizados
Organoclorados	PP-TAINIC	20-ago-11	Agua	1	Alfa-HCH, Beta-HCH, Delta-HCH, Gamma-HCH (Lindano), pp - DDE, pp-DDD, pp-DDT, Heptacoloro, Heptacoloro-Epóxido, Aldrín, Dieldrín, Endrín, Endosulfan I, Endosulfan II, Toxafeno.
Organofosforados	PP-TANIC	25-nov-11	Agua	1	Clorpirifos, Co-Ral (coumafos), DEF (Tribufos), diazinón, Etil-paration, Etion, Fention, Forate, Gution (Azinfos Metil), Malation,
	T ₁			1	
	T ₄			1	
	T ₁		Suelo	1	

	T ₄			1	Metil-paration, Mocap (Profos), Terbufos, Zolone (Fosalone)
	T ₁		Grano	1	
	T ₄	10-ene-12		1	
Piretroide	PP-TAINIC	25-nov-11	Agua	1	Cipermetrina
	T ₁			1	
	T ₄			1	
	T ₁		Suelo	1	
	T ₄	1			
	T ₁	10-ene-12	Grano	1	
	T ₄			1	

7.5 Niveles de agua y rendimiento

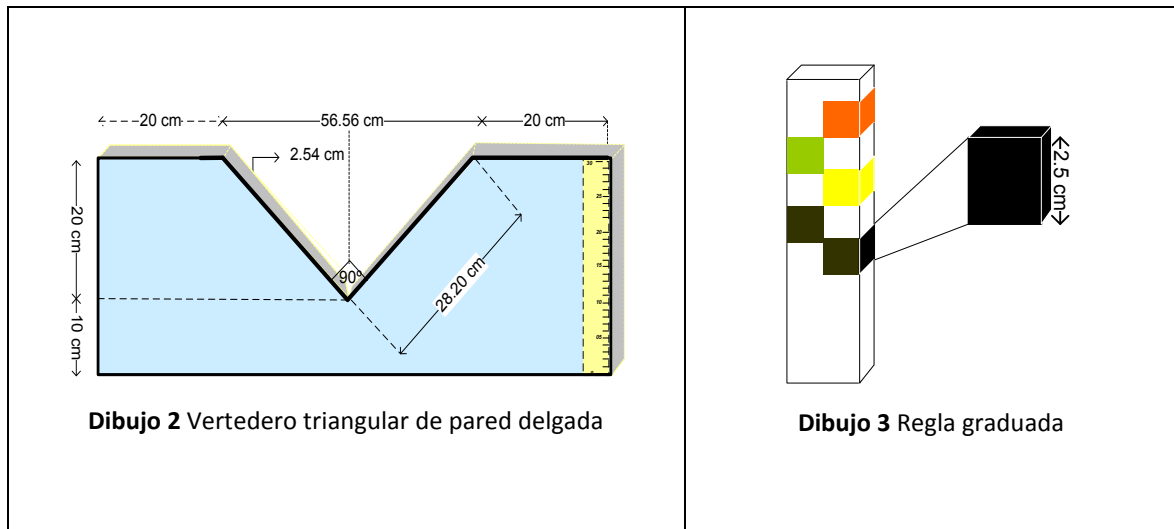
7.5.1 Vertederos

Para determinar el volumen de agua alimentada a cada parcela experimental se construyeron 8 vertederos de pared delgada triangulares con ángulo de 90°, utilizado para gastos (Q) de 0 - 30 l/s (Dibujo 2). Los vertederos se instalaron en la entrada y salida de drenaje del agua (Dibujo 4). El control del agua ingresado a la parcela era anotado en el formato de lectura en campo.

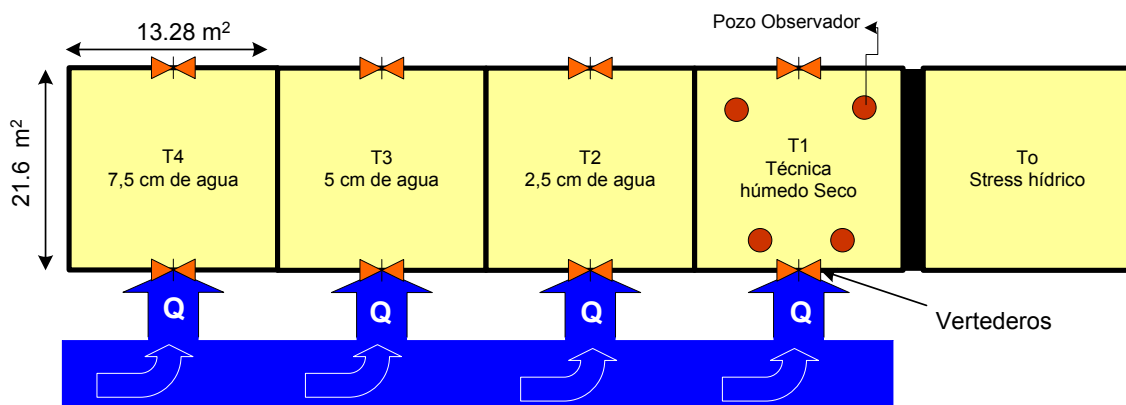
En el cálculo del gasto (Q) del vertedor triangular se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q = 0,0138H^{5/2}$$

Donde: H altura en cm

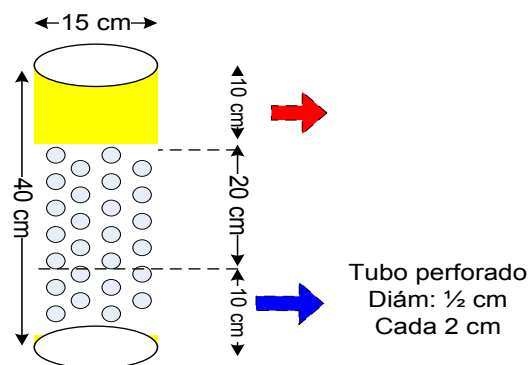


Para complementar las mediciones del gasto, fueron instaladas en distintos sitios de cada una de las parcelas, reglas graduadas a fin de visualizar los niveles de agua (Dibujo 3).



7.5.2 Pozos de observación

En el tratamiento T₁ se instalaron 4 tubos de P.V.C, con dimensiones de 15 cm de diámetro y 40 cm de longitud, dejando ciego 10 cm en parte superior del tubo a como se muestra en el dibujo 5, con diámetros de 0,5 cm a una distancia de 2 cm entre sí.



Dibujo 5 Diseño del tubo observador ubicado en el tratamiento T1

Este método consistió en poder manejar el agua y mantener el suelo a capacidad de campo, de manera que cuando el nivel bajaba a 15 cm de la superficie se introducía agua a la parcela hasta anegar a 5 cm sobre la superficie del terreno.

7.5.3 Pluviómetro

Para el control de precipitaciones ocurridas en el ciclo del cultivo de arroz, se instaló en el Centro Experimental del Arroz TAINIC un pluviómetro modelo RG-207 (Figura 24). Para el control de datos se elaboró formato y las lecturas se realizaron todos los días a las 6 a.m. Las precipitaciones registradas durante el período 29 de Julio al 6 de Noviembre 2011 fueron un total de 65 datos. (Anexo 6)



Figura 23 Pluviómetro ubicado en el sitio de estudio -TAINIC

7.5.4 Calidad de agua

7.5.4.1 Tipo Hidroquímico del agua

La clasificación hidroquímica del agua, se calculó a través del uso de las concentraciones de los aniones y cationes dominante (Calcio, Magnesio, Sodio, Bicarbonato, carbonato, sulfato, cloruro) determinadas en el laboratorio, y el programa Aquachem versión 3.7 (www.softonic.com/s/aqua-chem-3.7).

7.5.4.2 Calidad del agua para riego

Para determinar el tipo y clasificación de agua del PP-TAINIC, se calculó el valor de SAR (Relación de Absorción de Sodio) ajustado por la FAO (Organización para la Alimentación y la Agricultura) y el valor de CE_w (Conductividad Eléctrica) utilizando el monograma de Riverside. Así mismo se realizó para los resultados de análisis de agua en los cuatro tratamientos por cuatro repeticiones (Anexo 7).

$$Adj.SAR = \frac{CNa}{\sqrt{\frac{CMg^{2+} + CCa^{2+}}{2}}} \times 10^{(4 - pHc)}$$

El valor de pHc es la resultante de la suma de

(pk'2 - pk'c) se obtiene de la suma de Ca + Mg + Na en meq/l

p(Ca + Mg), se obtiene de la suma de Ca + Mg en meq/l

p (Alk), se obtiene de la suma de CO₃ + CO₃H en meq/l

} Obtenidos del análisis del agua

$$pHc = (pk'2 - pk'c) + p(Ca + Mg) + p(Alk)$$

7.6 Rendimiento del cultivo del arroz

7.6.1 Parcela experimental (P.E)

El área de muestreo fue de 10 plantas al azar por Tratamiento.

En la parcela donde se realizó la experimentación en el cultivo del arroz, se manejó un cuaderno de campo diseñado por el INTA (Anexo 8), en donde se registró la fecha de siembra, altura de planta. Además, se recolectaron las variables necesarias para el rendimiento del grano.

En la cosecha, se levantó el dato de rendimiento por cada tratamiento obteniendo el peso de grano limpio en kilogramo cosechado entre 17-20% de humedad midiendo el Porcentaje de humedad: En cada tratamiento hubo 10 repeticiones al azar, de cada muestra se determinó la humedad del grano, utilizando higrómetro AFS-79028 FARMEX MT-PRO.



Figura 24 Toma de humedad y peso del grano de arroz en granza. Diciembre 2011.

7.6.2 Componente de rendimiento

7.6.2.1 Altura de planta (Ht)

La altura de planta se midió en centímetros desde la superficie del suelo, hasta la punta de la panícula más alta, excluyendo las aristas. El tiempo de evaluación se realizó durante los estados fenológicos (01-09).

7.6.2.2 Longitud de panícula (PnL)

La longitud de panícula se determinó tomando 10 panículas y se midió desde el nudo ciliar hasta el último grano en centímetros.

7.6.2.3 Número de grano por panícula

El número de granos por panícula se tomó de cada tratamiento 10 panículas al azar y se contó el número total de granos en cada panícula para obtener los promedios de lo seleccionado. Además se contabilizó grano bueno y grano vano. Este se tomó en el estado fenológico 09.

7.6.2.4 Peso de 1000 granos (P_{1000G})

Se tomaron 10 panículas de cada tratamiento y se contaron 1000 granos y se obtuvo su peso en gramos. Este se tomó en el estado fenológico 09.

7.6.2.5 Rendimiento de arroz en granza o Paddy (R_{endPy})

El rendimiento se determina en arroz cáscara y se expresa en $kg \cdot ha^{-1}$ al 14 % de humedad, el grano utilizado para esta medida fue debidamente cosechado en la parcela previamente limpia y seca. Este se tomó en el estado fenológico 09.

7.6.3 Componente de Calidad industrial

7.6.3.1 Calidad industrial del grano

Las muestras utilizadas en la calidad industrial fueron las obtenidas en el rendimiento Paddy las que se homogenizaron por tratamiento y con grados de humedad de 10-12% de humedad.

7.6.3.2 Rendimiento de pilada

Para determinar la calidad de grano industrial se pesó 200 grs de arroz en granza o paddy por cada tratamiento y se procedió a determinar el **rendimiento de pilada** el que se obtuvo de la relación del peso de arroz integral (PAI) entre el peso neto del arroz en granza en grs (PN) (Anexo 9).

7.6.3.3 Índice de pilada

Además se determinó el índice de pilada en porcentaje, se tomaron 100 grs por cada tratamiento. El índice de pilada se calcula a partir de la relación del peso del arroz entero (PAE) entre el peso del arroz oro (PAO) medidos en grs.

7.6.3.4 Análisis físico

Se homogenizó una muestra de grano oro por cada tratamiento y se tomaron 25 grs, se clasificaron según la presencia de daños: Yesoso, hongos, insectos, recalentado y arroz rojo.

7.6.4 Análisis estadístico

Se realizó ANOVA (análisis de varianza), para las variables alturas de plantas, longitud de panícula, peso de 1000 granos, número de granos por panículas, % de granos buenos, rendimiento paddy o de granza y c/u de los parámetros físico-químicos del agua de riego, aplicándose la prueba de rangos múltiples de Duncan. El MANOVA fue utilizado para la comparación de los tratamientos, en relación a los cationes que intervienen en determinar la calidad del agua de riego. Los procedimientos estadísticos fueron utilizados según Pedroza, 2006.

Para comparar los niveles de agua y establecer su influencia sobre el rendimiento en el cultivo de arroz, en relación con la técnica anaerobia y tradicional, se aplicaron los contrastes ortogonales correspondientes. Para ver las interrelaciones entre los diferentes tratamientos y los parámetros de calidad del agua para riego, se realizó el análisis de componentes principales.

Todo el procesamiento estadístico de los datos, fue realizado mediante el uso del software INFOSTAT, 2010, versión Bicentenario (www.infostat.org.org). (Anexo 10).

7.7 Costo Beneficio

7.7.1 Definición de costos por tratamiento

1. Se identificó los costos fijos de manejo agronómico los cuales son igual a todas las parcelas.
2. Se identificó el costo variable invertido en la aplicación de agua de cada tratamiento, obteniendo un costo por metro cúbico de agua el cual está compuesto por: Costo de energía para bombeo + amortización del sistema (pozo y bomba) + Costo de mantenimiento.
3. El costo total se obtuvo mediante la suma de los costos para cada tratamiento.

$$C_{Trat} = CA \times C_r$$

Donde:

$$CA = \sum CP_s + C_s + CMA + C_c ; \quad C_r = \sum C_e + CA_{p-b} + C_m$$

CA : Costo Agronómico por cada tratamiento

C_r : Costo de riego

CP_s : Costos por preparación de suelos

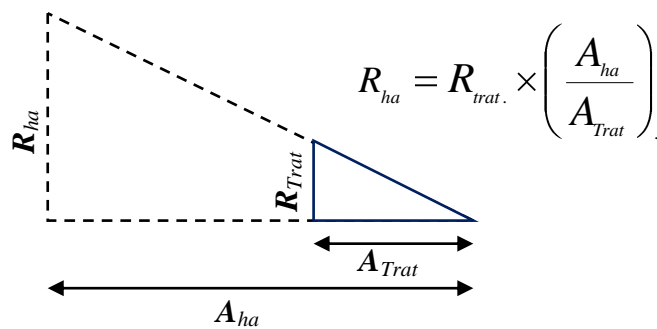
C_s : Costos de siembra

CMA : Costos de manejo agronómico

- C_c : Costos de Cosecha
- C_e : Costos de energía por bombeo
- CA_{p-b} : Costos de amortización del pozo y bomba
- C_m : Costos de mantenimiento

7.7.2 Determinación de los beneficios por tratamiento

1. Se identificó el precio por quintal para el arroz en granza.
2. Se calculó el rendimiento en quintales/ha obtenidos por tratamiento.



Donde:

- R_{ha} : Rendimiento (qq/ha)
- $R_{trat.}$: Rendimiento para cada tratamiento en quintales (qq)
- $A_{trat.}$: Área de la parcela útil (10 m²) por tratamiento
- $A_{ha.}$: Área correspondiente a una hectárea

3. Se determinó el monto total de beneficios por tratamiento.

$$C_t = R_{ha} \times C_{qq}$$

- C_t : Costo total en dólares
- R_{ha} : Rendimiento por hectárea por cada tratamiento
- C_{qq} : Costo del arroz en granza

7.7.3 Determinación de la relación Costo / Beneficio

1. Con los datos de costos y beneficios obtenidos por tratamiento, se procede a calcular la razón beneficio costo.

$$B/C$$

2. Se comparó las relaciones beneficio-costo de los diferentes tratamientos para obtener el tratamiento que tiene mayor utilidad.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Agroquímicos en matriz agua-suelo-grano

8.1.1 Organoclorados (OCI) en agua

Los análisis de OCI en las aguas del pozo PP-TAINIC indicaron la ausencia de estas sustancias activas en las aguas subterráneas y/o probablemente la presencia de las mismas pero en concentraciones inferiores a los límites de detección (Tabla 16). Las posibles causas de la ausencia de estos compuestos se debe a que en el 2003 se forma el Centro Experimental del Arroz TAINIC y coincide con la prohibición de los OCL en Nicaragua por resolución de la dirección general del Ministerio de Agricultura Ganadería MAGFOR (DGTA-MAG, 1990), por lo que se presume no fueron utilizados en el cultivo del arroz.

Tabla 16. Resultados de análisis de Organoclorados en pozo perforado (PP-TAINIC) del Centro de Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), Valle de Sébaco, Matagalpa, Agosto 2011.

Parámetros	Límite de detección ng.l ⁻¹	Concentración ng.l ⁻¹
Alfa - HCH	0,23	nd
Beta - HCH	0,67	nd
Delta - HCH	0,29	nd
Gamma-HCH (Lindano)	0,36	nd
pp -DDE	0,19	nd
pp - DDD	0,26	nd
pp -DDT	0,82	nd
Heptacloro	0,14	nd
Heptacloro - Epóxido	0,11	nd
Aldrín	0,32	nd
Dieldrín	0,16	nd
Endrín	0,28	nd
Endosulfan I	0,25	nd
Endosulfan II	0,11	nd
Toxafeno	8,70	nd

nd: No detectado

8.1.2 Organofosforados (OP)

8.1.2.1 Organofosforados en Agua

Los OP son moléculas menos persistentes y más móviles que los OCI (Auge, M. 2006). En las aguas del pozo PP-TAINIC no se detectó la presencia de estos compuestos incluyendo otros como la Cipermetrina y el Clorpirifos que también fueron objeto de estudio. En caso de que estas sustancias hayan sido aplicadas en el cultivo de arroz, su ausencia en las aguas subterráneas del área estudiada se puede atribuir a su baja persistencia y/o a las cantidades y frecuencia de aplicación.

En las aguas de los tratamientos T₁ y T₄ no se detectaron concentraciones de Cipermetrina. La solubilidad de este compuesto es de 0,01 mg/l y su vida media varía en el agua entre 20 a 29 días bajo condiciones ácidas o neutras (FAO, 2000) lo cual justifica su ausencia en los tratamientos, ya que el muestreo se realizó 50 días después de su última aplicación.

En el caso del Clorpirifos, las mayores concentraciones fueron detectadas en las aguas del tratamiento T₁ (Figura 26). La presencia del Clorpirifos en el agua puede explicarse a que las muestras fueron analizadas 14 días después de su última aplicación, siendo la volatilización su principal mecanismo de disipación en el agua y su vida media en esta matriz varía de 3,5 – 20 días, (INE, 2007). La ligera diferencia de concentración entre los tratamientos (Figura 26) puede atribuirse a su baja solubilidad (2 mg/l) (FAO, 2000), debido a esto las moléculas de Clorpirifos se precipitan quedando fuertemente adheridas en el sedimento teniendo un K_{oc} elevado (K_{oc}=6070), este coeficiente con valor alto indica que el plaguicida orgánico se fija con firmeza en la materia orgánica del suelo (INE, 2007).



Figura 25 Concentraciones de organofosforados en matriz agua de los tratamientos T1 y T4 Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), Valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2012.

Un hallazgo muy importante es la presencia del Diazinón en las aguas del tratamiento T₁ (Figura 26). Este compuesto que no se encontraba entre los agroquímicos aplicados en las parcelas, sin embargo su presencia fue detectada únicamente en la matriz agua. El Diazinón es un insecticida acaricida de aplicación en el macollaje, se clasifica en toxicidad clase II ó III (EXTOXNET, 1996), dependiendo de la formulación y tiene una baja persistencia en el suelo, ya que su vida media es de 2 a 4 semanas y raramente migra por debajo de la media pulgada superior del suelo, pero en algunos casos puede contaminar el agua subterránea (EXTOXNET, 1996).

La presencia del Diazinón puede atribuirse a la ocurrencia de evento extremos como la “tormenta tropical 12-E”, la cual provocó el desbordamiento del Río Grande de Matagalpa y consecuentemente la inundación de las parcelas por un período de 19 horas a una altura de 1,20 m, lo que se presume que el Diazinón fuese arrastrado desde otras fuentes y depositado posteriormente en las parcelas. La degradación química del Diazinón depende de la acidez del medio, siendo más estable en medios alcalinos y pH neutro. En estas condiciones la semi desintegración por hidrólisis de este compuesto tiene una duración aproximada de 185 días. Estas mismas condiciones se presentaron en el

tratamiento T1, lo cual sugiere que esta sea la misma razón de la presencia del Diazinón.

8.1.2.2 Organofosforados en suelo - arroz

En el suelo (Figura 27), las concentraciones de Cipermetrina y Clorpirifos son mayores en las concentraciones en el tratamiento T1 que en el tratamiento T4.

La presencia de la Cipermetrina en el suelo se debe a que este compuesto es moderadamente persistente ya que su tiempo de vida media es de 56 días, y posee una fuerte adsorción ($K_{oc} 10\ 000$ l/mg) considerándose a este compuesto como inmóvil. Debido a su poca solubilidad en el agua (0,01 mg/l) y baja presión de vapor (0,0002 mPa), la Cipermetrina (Tabla 17), tiende a precipitar al sedimento donde son fuertemente retenidos. Desde los sedimentos las moléculas de Cipermetrina son absorbidas por las raíces y a través del tallo llegan al grano. La vida media por hidrólisis de la Cipermetrina es de 179 días por lo que es considerada persistente (PPDB, 2011), por tanto en el tratamiento T4 se puede deducir que este compuesto tarda más en degradarse permitiendo asimilar más el compuesto por la planta y por su alto valor K_{ow} de 6,6, cuyo valor mientras más alto su valor indica que más se acumula en el grano, lo cual explica que las concentraciones del grano en los tratamientos T₁ y T₄ sean casi 10 y 26 veces respectivamente del valor contenido en el suelo.

Al contrario de la Cipermetrina, las concentraciones de Clorpirifos en el suelo son las más altas. Estos resultados obedecen a que este compuesto es eficientemente retenido por el suelo, ya que su coeficiente de adsorción suelo-agua (K_{oc}) es de 6 070 l/mg. Este valor de K_{oc} es alto e indica que el Clorpirifos puede ser fijado por la materia orgánica del suelo e incorporado a la biota. Además el hecho que tenga también baja polaridad (valores altos de K_{ow}) hace que este compuesto con un valor de K_{ow} igual a 50 000 (Tabla 17)

se acumule en sustratos con alto contenido graso, por esta razón es que este compuesto se detectó además en el grano de arroz (Figura 27).

Estos compuestos (Cipermetrina y Clorpirifos) pueden ser degradados a corto plazo (días) por diferentes mecanismos como fotólisis e hidrólisis, así como por procesos bióticos, sin embargo sus presencias tanto en el suelo como en el grano de arroz, en los tratamientos T₁ y T₄, obedece a que estos fueron monitoreados semanas después de ser aplicados. Por ejemplo el Clorpirifos tiene una vida media por hidrólisis de un poco menos de un mes por lo que es de esperarse que este aún permanezca en los suelos semanas después de su aplicación.

En ambos tratamientos, los valores de concentración de plaguicidas encontrados en el grano son menores que el límite máximo residual (LMR) en el grano de arroz según CODEX Alimentarios (Normas internacionales de los alimentos) que corresponde a 2 mg/kg (2×10^{-6} ng/g) para Cipermetrina y 0,5 mg/kg ($0,5 \times 10^{-6}$ ng/g) en Clorpirifos (CODEX, 1995).

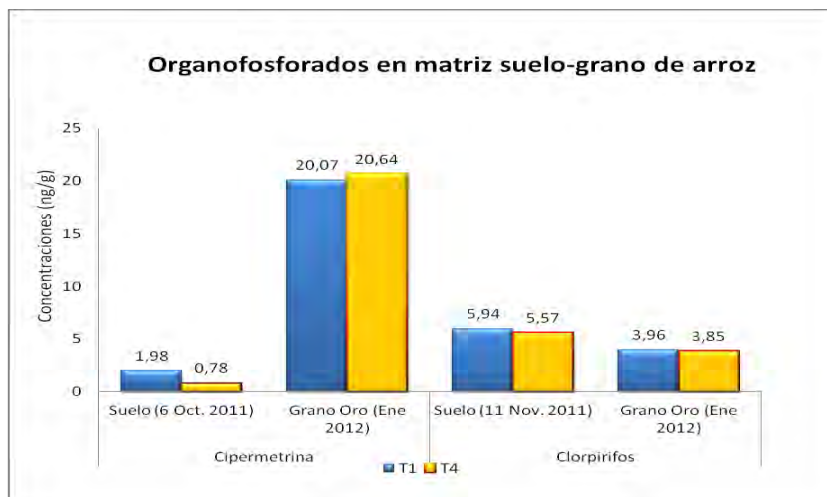


Figura 26 Presencia de Cipermetrina y Clorpirifos en matriz suelo y grano de arroz de los tratamientos T1 y T4 Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), Valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011

Tabla 17 Propiedades físicas y químicas de agroquímicos (FAO, 2000)

Propiedades	Clorpirifos	Cipermetrina	Diazinón
Solubilidad en agua (mg/l) a 25 °C	2	0.01	60
Presión de Vapor (mPa) a 25 °C	2,5	0,0002	11,97
Koc (ml/g)	6070	100000	609
Log Kow	4,699	6,69	3,69
Vida media	60 – 120 días en suelo, Agua de 3,5 – 20 días**, Vegetación 10-14 días	8-56 días (suelo), 50 días en agua*	2-4 semanas en suelo, 5 a 15 días y 6 meses en pH neutros en agua.
DT50 (días) en 20 °C en Agua	25,5 días *** (Moderadamente rápido)	179 días (persistente)	138 días (Persistente)
DT50 (días) en 20 °C en suelo	21-50 días	69	9,1-18,4 (No persistente)
LMR en el arroz ¹	0,5 mg/kg	2 mg/kg	No disponible
CAS	2921-88-2	523115-07-08	333-41-5

Koc: Coeficiente de adsorción

Kow: Coeficiente de partición + octanol-agua

DT50: Vida media o tiempo requerido (en días) para degradar al plaguicida o convertirlo el 50% en otra sustancia

LMR: Límite máximo residual

CAS : Identificación numérica única para más de 23 millones de compuestos. Números asignados por el **Chemical Abstract Service**, que pertenece a la American Chemical Society (Sociedad Química Americana).

Fuente: www.miliarium.com, ¹CODEX Alimentarius FAO/OMS, año de adopción, 1995.

*Es rápidamente hidrolizable bajo condiciones básicas (pH=9) pero bajo condiciones ácidas y neutras la vida media puede ser de 10 a 29 días.

**http://www2.ine.gob.mx/sistemas/plaguicidas/pdf/clorpirifos_etil.pdf

*** <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/Reports/154.htm>. Lista de plaguicidas

8.2 Nutrientes y metales pesados en suelo y agua

8.2.1 Físico químico en agua

8.2.1.1 Cationes

Análisis de varianza (Prueba de Duncan) para aniones y cationes

Tabla 18 Concentraciones promedias de los principales cationes en las aguas de los diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), Valle de Sébaco-Matagalpa, Noviembre 2011.

Tratamientos	Concentraciones medias de cationes (mg/l)							
	Na		Ca		Mg		K	
T1	51,69	A	67,69	A	15,48	A	7,41	A
T2	50,43	A B	66,11	A	14,76	A B	7,36	A
T3	49,08	B	65,33	A	13,12	A B	7,66	A
T4	50,05	B	65,73	A	13,85	B	7,58	A
ANDEVA	*		NS		*		NS	
CV (%)	2,00		7,49		8,28		6,38	
<i>Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), de acuerdo a la prueba de Duncan</i>								

SODIO (Na)

El análisis de varianza para las concentraciones promedias de Na, indica que existen diferencias significativas entre las mismas de acuerdo a la prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$). Las aguas del tratamiento T₁ con la técnica húmedo seco tiene la concentración más alta de Na, (Tabla 18) seguidas por las del tratamiento T₂. Las menores concentraciones de Na fueron observadas en las aguas de los tratamientos T₃ y T₄. Para estos últimos tratamientos, el análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas.

Las aguas con concentraciones elevadas en sodio son nocivas a las plantas ya que reducen la permeabilidad del suelo; son especialmente nocivas si las concentraciones de Ca y Mg son bajas (Custodio & Llamas, 2001). Las concentraciones de Na en los diferentes tratamientos son menores que 3 meq/l (69 mg/l) indicando que no hay problemas de

sodificación por lo que no representan peligro para las plantas (Ayers & Westcot, 1984).

CALCIO (Ca)

El análisis de varianza para las concentraciones promedio de Ca (mg/l) nos indica que no hay diferencias significativas en ninguno de los tratamientos. Los valores de concentración observadas son similares a los recomendables, debido a que las aguas ricas en calcio pueden desplazar al Na entre las partículas del suelo. Sin embargo un agua con mucho calcio es dura (Cánovas Cuenca, 1986). Las concentraciones de calcio en el agua dulce varían de 10 a 250 ppm, pudiendo llegar hasta 600 ppm en terrenos yesíferos y en salmueras de Ca_2Cl , hasta 50 000 ppm (Custodio & Llamas, 2001).

MAGNESIO (Mg)

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas en las concentraciones promedio de Mg para los diferentes tratamientos. En relación a la prueba de DUCAN realizada con un $\alpha = 0,05$, se obtuvo los siguientes resultados: El T₁ contiene mayores concentraciones que el resto de tratamientos.

Las concentraciones de Mg observadas en las aguas de los diferentes tratamientos son aceptables ya que no superan los 60 mg/l (Mass, 1984). Concentraciones superiores a este valor pueden representar peligro para los suelos y afectar a las plantas. Concentraciones deseables de Mg en aguas para riego deben ser inferior a los 24 mg/l, (Bojórquez, 2008)

POTASIO (K)

Al igual que el Calcio, el análisis de varianza con un $\alpha = 0.05$ (Tabla 18) para las concentraciones promedio de K indicó que no existen diferencias significativas entre tratamientos los resultados indican estadísticamente que el que obtiene mayor concentración de K es el tratamiento T₃, seguido de los tratamientos T₄ y T₁. En todos los tratamientos, las concentraciones acuosa de K están entre los rangos de concentraciones de aguas dulces de 0,1 y 10 mg/l (Custodio & Llamas, 2001). El K es un elemento clave para la nutrición de las plantas, sin embargo puede existir una sustitución radicular del ion K por el Na. Las concentraciones de K en las aguas de riego no debe exceder de 78 mg/l (Ayers & Wescot, 1994) siendo los rangos deseados para una buena nutrición de 10 mg/l (Bojórquez, 2008).

8.2.1.2 Aniones

Tabla 19 Concentraciones promedio de los principales aniones en las aguas de los diferentes tratamientos de los diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), Valle de Sébaco-Matagalpa, Noviembre 2011.

Tratamientos	Concentraciones medias de aniones (mg/l)							
	Cl ⁻		SO ₄ ²⁺		HCO ₃ ⁻		NO ₃	
T1	21,98	A	72,63	A	284,11	A	7,49	A
T2	22,14	A	73,45	A	278,57	A	7,10	A
T3	21,39	A	66,63	A	271,54	A	6,91	A
T4	21,37	A	65,92	A	266,05	A	6,15	A
ANDEVA	NS		NS		NS		NS	
CV (%)	8,60		14,4		3,98		12,16	

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), de acuerdo a la prueba de Duncan

Elaboración propia

CLORURO (Cl)

El resultado del análisis de varianza y la prueba de Duncan con un $\alpha = 0,05$ indican que no hay diferencias significativas para las concentraciones promedio de Cl en las aguas de los diferentes tratamientos. Las mayores concentraciones de Cl corresponde al tratamiento T₂ y las menores concentraciones corresponden al tratamiento T₄, el cual se manejó con mayores volúmenes con respecto a los demás tratamientos. Las concentraciones de Cl⁻ se encuentran dentro de los valores permisibles de 4 meq/l (142 mg/l) que no son tóxicos para las plantas (Ayers & Westcot, 1984), en agua dulce las concentraciones de Cl pueden encontrarse entre 10 y 250 mg/l (Custodio & Llamas, 2001).

SULFATO (SO₄²⁺)

Al igual que los iones cloruros, el análisis de varianza para las concentraciones promedio de SO₄²⁺ indicó que no hay diferencias significativas en los diferentes tratamientos. El sulfato puede encontrarse en aguas dulces en concentraciones de 2 hasta 150 mg/l (Custodio & Llamas, 2001). El ión sulfato junto con el Na, Ca, Mg y Cl, contribuyen a la salinidad de las aguas utilizadas para riego. Todos los tratamientos en estudio, así como agua de pozo se encuentran por debajo de los rangos normales de concentraciones utilizadas para riego de 4 meq/l (288 mg/l) (Ayers & Westcot, 1994).

BICARBONATO (HCO₃⁻)

En el análisis de varianza con un $\alpha = 0,05$ indica que para los tratamientos en estudio no hay diferencias significativas en los tratamientos. Las concentraciones de HCO₃⁻ se encuentran dentro de los rangos de 10 meq/l (610 mg/l) según normas de la FAO (Ayers & Westcot, 1994), por tanto no resulta dañino para el suelo. Pueden ser perjudiciales las aguas bicarbonadas sódicas para riego, debido a la fijación del Na en el terreno (Custodio & Llamas, 2001). El ión HCO₃⁻, se

encuentra en aguas dulces en rangos de 50 y 350 mg/l/ pudiendo llegar hasta 800 mg/l.

NITRATOS (NO₃)

De acuerdo al análisis estadístico de los datos de concentraciones promedio de NO₃ no existen diferencias significativas para los tratamientos en estudio y estas concentraciones se encuentran entre los rangos normales para las aguas de riego (10 mg/l) (Ayers & Wescot, 1994). La fuente principal de nitratos en los diferentes tratamientos es proveniente de la aplicación de fertilizantes. El nitrato es soluble y sólo puede ser retenido por la fase sólida del suelo. Puede ser lixiviada en dependencia de la permanencia, distancia, estratigrafía y permeabilidad. La mayoría de los valores altos de nitratos (> 45 mg/l) ocurren en áreas con suelos arenosos cultivados intensamente (Pacheco & Cabrera, 2003) por lo que no representarían peligros de contaminación de las aguas subterráneas ya que los suelos de las parcelas experimentales son de tipo vertisol con una densidad aparente alto (1,52 mg/cm³) siendo poco probable la lixiviación y polución a las aguas subterráneas. Los niveles de iones encontrados en el agua de las diferentes parcelas benefician al cultivo debido a que el arroz generalmente requiere de fertilizantes en forma de nitratos para una mayor producción.

Concentraciones de Fe, SiO₂, NO₂ y B

Tabla 20 Concentraciones de Fe SiO₂, NO₂ y B de los diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), Valle de Sébaco-Matagalpa, Noviembre 2011.

Tratamientos	Concentraciones medias (mg/l)							
	Fe ⁽¹⁾		SiO ₂		NO ₂		B	
T1	3,66	A	80,07	A	0,02	A	0,13	A
T2	0,96	AB	81,58	A B	0,02	A	0,11	A
T3	0,91	B	82,54	B	0,01	A	0,13	A
T4	3,42	B	83,62	C	0,02	A	0,11	A
ANDEVA	NS		*		NS		NS	
CV (%)	39,80		1,20				27,70	

Letras distintas indican diferencias significativas (p<=0.05), de acuerdo a la prueba de Duncan

Elaboración propia

⁽¹⁾ Se realizó el ANDEVA con datos que fueron transformados a la raíz X, a fin de obtener un CV (coeficiente de variación de menor magnitud).

HIERRO (Fe)

Los resultados del análisis estadístico para el ión Fe, indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos. Concentraciones mayores de 5 mg/l (Ayers & Westcot, 1984) resultan ser nocivas para las plantas, por tanto las concentraciones de hierro en los diferentes tratamientos no representan peligro.

SILICE (SiO₂)

El resultado de la prueba de Duncan con un $\alpha=0,05$ indica que existen diferencias significativas entre las concentraciones de SiO₂ en el agua para todos los tratamientos. Siendo el tratamiento T₄ quien tiene los mayores valores y el T₁ el de menor valor entre los tratamientos en estudio. Las concentraciones de SiO₂ observadas (Tabla 20) son normales en aguas bicarbonatadas sódicas, los valores normales en aguas dulces pueden llegar a concentraciones de hasta 100 mg/l (Custodio & Llamas, 2001).

NO₂ y Boro

El análisis estadístico de las concentraciones promedio tanto de NO₂ como del B indican que no existen diferencias significativas en los diferentes tratamientos. Las concentraciones para NO₂ oscilan entre 0,01–0,02 mg/l, en aguas normales tienen menos de 5 mg/l (Ayers & Westcot, 1984) cuya fuente se origina de la fertilización nitrogenada a base de nitrato y que en medios reductores pasan a nitritos.

Las concentraciones de B en los diferentes tratamientos se encuentran entre 0,11 y 0,13 mg/l. Este elemento es esencial para el desarrollo de las plantas pero se requiere de cantidades pequeñas. En rangos menores de 0,7 mg/l no representan peligro de toxicidad a los cultivos según rangos recomendados por la FAO (Ayers & Westcot, 1984).

8.2.1.2.1 Comparación de la composición iónica del agua del Pozo perforado (PP-TAINIC) con respecto a las aguas de los tratamientos T1, T2, T3 y T4

En este capítulo trata de determinar si existe cambios en la calidad del agua en el pozo perforado y en los diferentes tratamientos de estudio y se estima la posible influencia del río Grande de Matagalpa en algunos iones los cuales pudieron haber sido aportados o disminuidos por el evento extremo “Tormenta tropical 12” ocurrido en el mes de Octubre del 2011, cuyo fenómeno provocó el desbordamiento del río Grande de Matagalpa quien se ubica a 250 m de las parcelas experimentales. Este evento, además de anegar toda la zona, mantuvo el nivel del agua a 1,20 m sobre la superficie del sitio donde se realizó la presente investigación durante un tiempo de 19 horas, contaminando el pozo.

Sodio (Na²⁺)

Los análisis de agua para uso de riego (PP-TAINIC) corresponde a dos momentos, al inicio y final de campaña. Se encontró una pequeña disminución no significativa de 0,04 mg/l de concentración de Na al final de campaña (Figura 28), provocado posiblemente por dilución ya que coincide con la época de lluvia. La importancia del Na en las aguas para irrigación es primordial ya que altos niveles de sodio provocan inestabilidad en la estructura del suelo afectando la permeabilidad (Ayers & Westcot, 1984) y pueden surgir problemas de en la germinación del cultivo, aireación del suelo, enfermedades y lucha contra las malas hierbas. Estos valores de Na, según FAO no representan ningún riesgo para su uso en riego superficial ya que se encuentra en valores menores de 3 meq/l igual a 69 mg/l, indicando que son aptas para riego.

La calidad del agua en contacto con el suelo es diferente en los tratamientos de estudio. Se pudo observar el aumento de Na en el tratamiento T₁ y se debe la acumulación de sales que están siendo retenidas por los coloides del suelo, ya que las cantidades de agua que son suministradas en este tratamiento no logran disolver el Na por lo que el agua se evapora o es absorbida por el cultivo. Las sales pueden acumularse reduciendo así la disponibilidad del agua del suelo con que cuentan los cultivos, por lo que para lograr disolverse deberá de aplicarse cantidades de agua que pueda permitir la infiltración (Ayers & Westcot, 1984). Esto explica que en el T₃ como en T₄ cuyos tratamientos no hay diferencias significativas (Tabla 18) se reducen las concentraciones de Na debido a que en estas parcelas se les aplicaba mas agua, por tanto son diluidas por el agua.

Las concentraciones del Na en las diferentes parcelas siempre son mayores que el PP-TAINIC debido a que en el suelo van acumulándose concentraciones de Na en los coloides del suelo no logrando disolverse con el volumen aplicado a las parcelas.

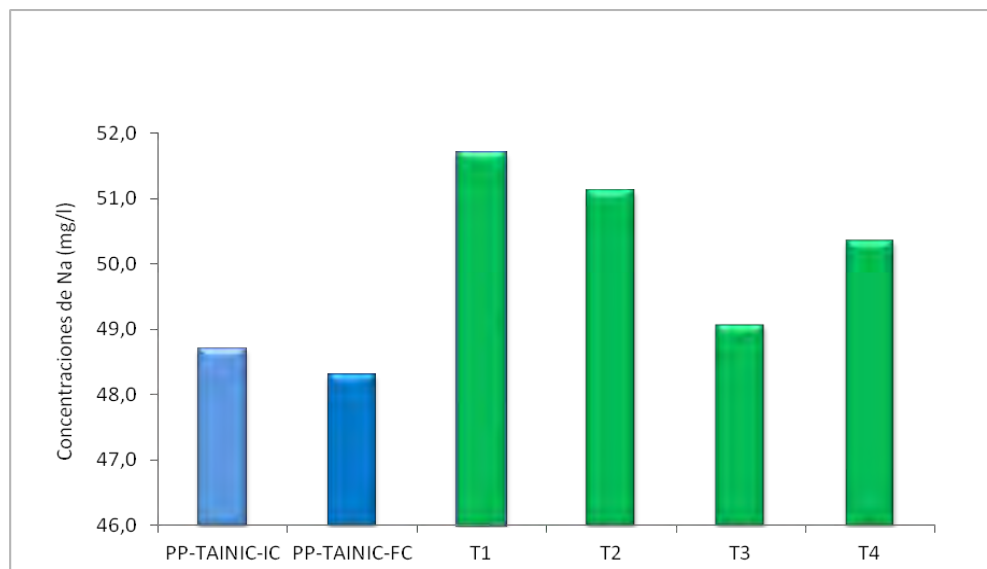


Figura 27 Concentración de Na en PP-TAINIC y sus diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011

CALCIO (Ca²⁺)

Las concentraciones de Ca en el pozo perforado aumentaron en 6,6 mg/l al final de campaña, esta diferencia puede ser debido a la contribución de sales que fueron arrastradas por el evento extremo. La presencia de Ca en las aguas subterráneas se da por la disolución de las rocas ígneas aunque estos valores no representan peligro. En los suelos arcillosos de baja permeabilidad el Calcio puede incrementarse debido al intercambio iónico principalmente con el Na (Custodio & Llamas, 2001).

Se observan mayores concentraciones en los diferentes tratamientos con respecto al PP-TAINIC (Figura 29) debido a que por cada riego que se aplica en las parcelas, van quedando acumuladas las concentraciones de Ca en el suelo afectando la calidad del agua.

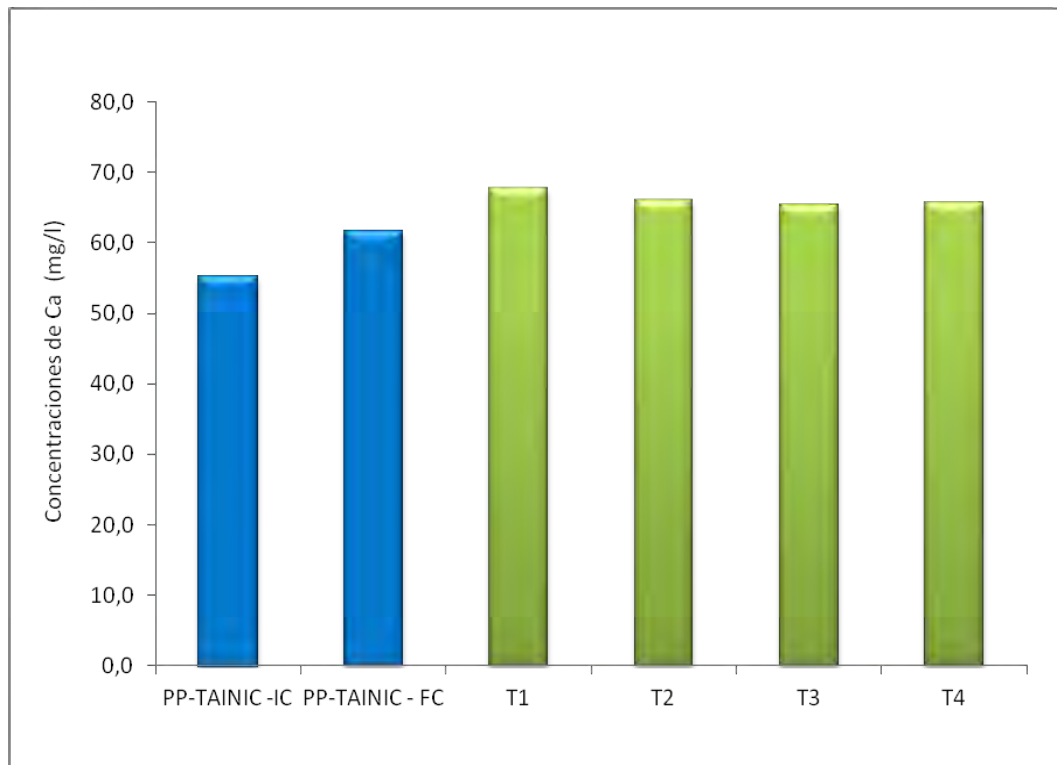


Figura 28 Concentraciones de Ca en PP-TAINIC y diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011

MAGNESIO (Mg)

Las concentraciones de Mg en el pozo perforado TAINIC al final de campaña (PP-TAINIC-FC) presentaron mayores concentraciones con respecto a los resultados obtenidos de las muestras tomadas del pozo perforado al inicio de campaña (PP-TAINIC-IC), pudiendo ser debido a la infiltración de sales por efecto del evento extremo, aunque en estudio presentado por González R. (2004), en 11 pozos perforados en el valle de Sébaco, las concentraciones de Mg se registraron entre 6,2 y 20,37 mg/l, los cuales coinciden con los rangos obtenidos en el presente estudio. Se observa (Figura 30) que se incrementa las concentraciones de Mg en los tratamientos con respecto a las concentraciones del pozo perforado el cual puede ser atribuido a fuentes

externas como la fertilización siendo también que concentraciones de Mg no logran disolverse las sales por las mismas causas como el caso del Na y Ca.

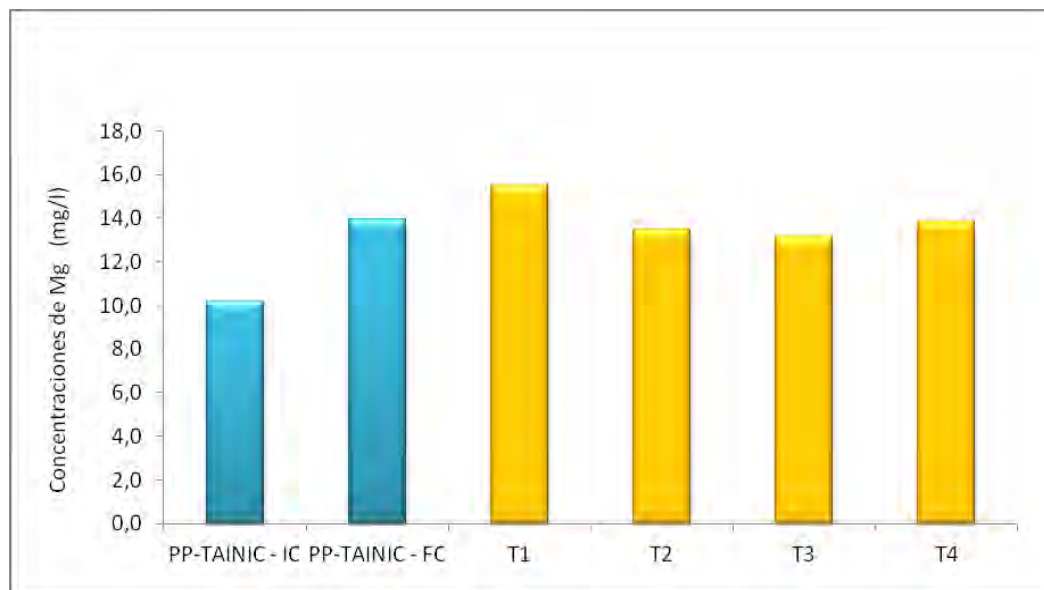


Figura 29 Concentraciones de Mg en PP-TAINIC y diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011

POTASIO (K)

Las concentraciones de K encontradas al inicio y final de campaña en las aguas del PP-TAINIC, no muestran diferencias significativas (Figura 31) debido a que el K se encuentra fuertemente absorbido por arcillas montmorillonitas (Kass, 2007). Por otra parte, en los diferentes tratamientos, las concentraciones de K variaron de 7,2 a 7,6 mg/l y no presentaron diferencias entre sí, a diferencia del PP-TAINIC, las concentraciones en los diferentes tratamientos aumentan debido a la carga de fertilizantes que se aplican en el cultivo.

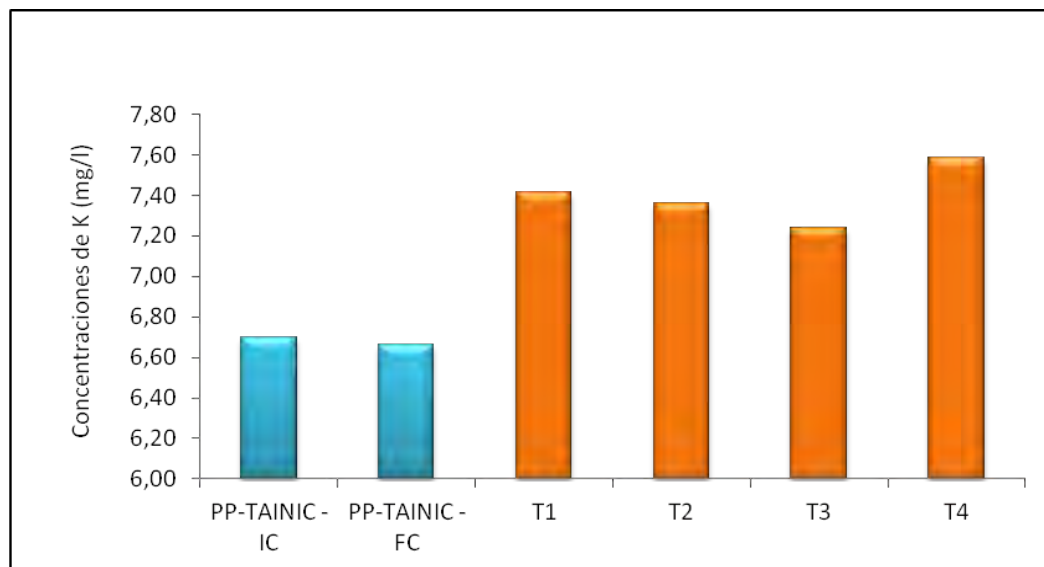


Figura 30 Concentraciones de K en PP-TAINIC y diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.

CLORURO (Cl⁻)

Las concentraciones de Cl⁻ en las aguas del pozo perforado al inicio y final campaña no presentan diferencias entre sus valores, los cuales se encuentran por debajo de 140 mg/l para riego superficial según las normas establecidas por la FAO (2004), bajo el criterio de que no existe problemas para el uso de agua de riego. Entre tanto, se puede observar aumento de las concentraciones de Cl⁻ en todos los tratamientos en estudio debido a que el agua se pierde por evaporación y transpiración, por tanto las concentraciones de las sales solubles aumentan (Ayers & Westcot, 1984). También se puede observar (Figura 32) la tendencia de disminución de concentraciones de Cl⁻ en el T₄ con un valor de 21,37 mg/l, cuya disminución está relacionada con el mayor volumen de agua manejado en la parcela, lo que permite que haya mayor dilución de Cl en el agua y sea absorbido por el cultivo ya que por sus propiedades no es retenido por el suelo, lo que hace que se mueva fácilmente con el agua del suelo (Ayers &

Westcot, 1994). Tanto los resultados del pozo perforado y el de todos los tratamientos no representan peligro de toxicidad para las plantas.

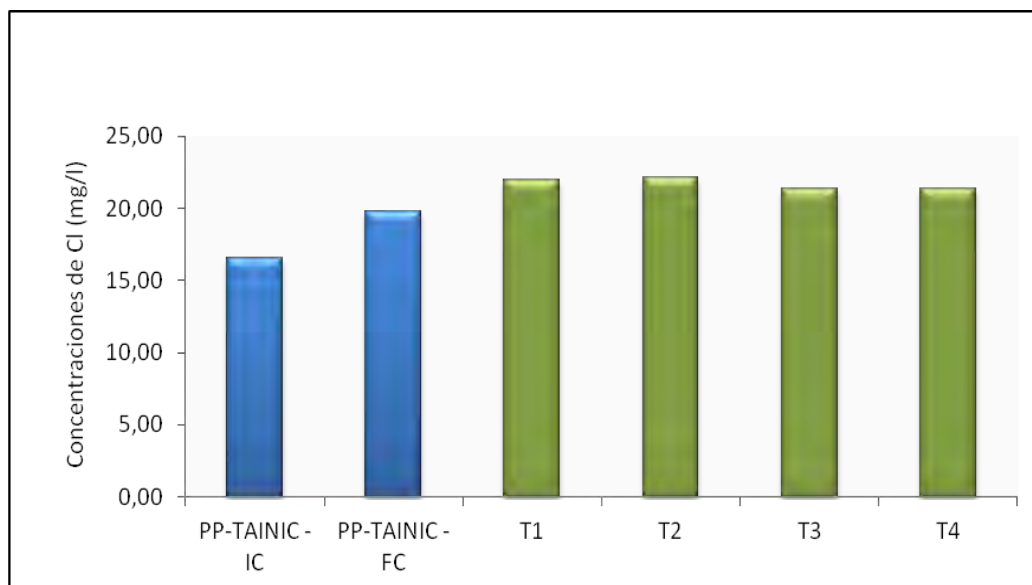


Figura 31 Concentraciones de Cl⁻ en PP-TAINIC y tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.

SULFATOS (SO₄²⁻) en PP-TAINIC

Las mayores concentraciones de SO₄²⁻ en el pozo perforado corresponde a los resultados obtenidos al final de campaña (PP-TAINIC-FC) con 61,5 mg/l. El incremento de SO₄²⁻ se puede atribuir a varios aspectos como es el retorno de riego cargados de fertilizantes (Instituto geológico y minero de España, 2007). Esto también explica el incremento de SO₄²⁻ en los diferentes tratamientos en estudio, debido a la fertilización en los cultivos. No obstante, el sulfato no se toma en cuenta para la determinación de la calidad del agua, puede contribuir al aumento de la conductividad eléctrica y aumento de las sales en el suelo. En todos los casos, las concentraciones se encuentran por debajo del límite establecido por la FAO para uso de riego que corresponde a 20 meq/l

(960,6 mg/l) (Ayers & Wescot, 1994), indicando que no existen problemas.

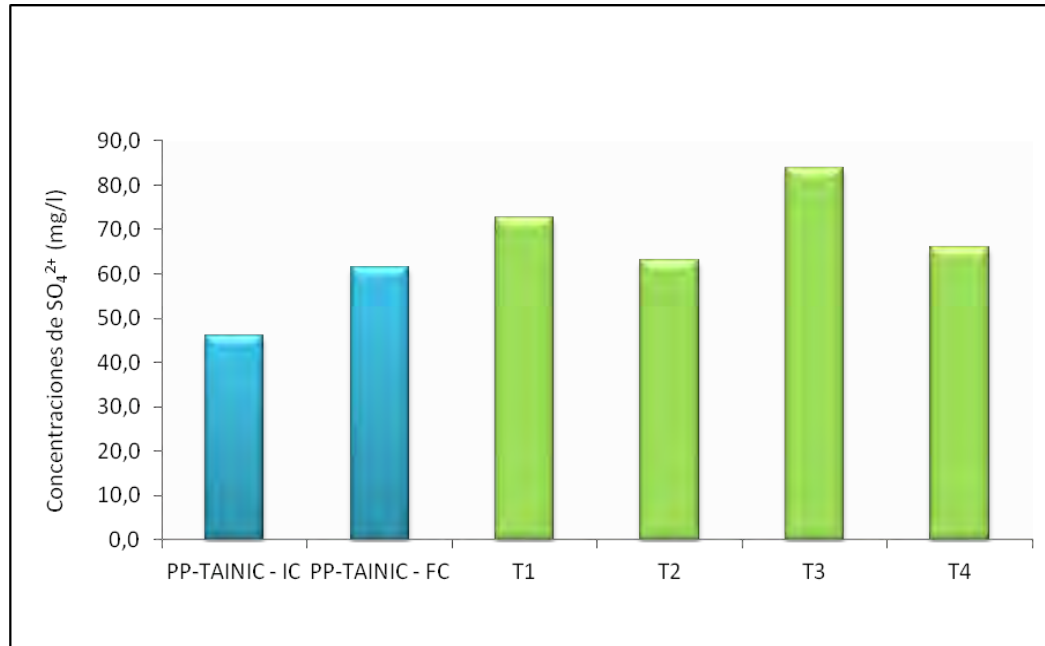


Figura 32 Concentraciones de Sulfato en PP-TAINIC y diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.

BICARBONATOS (CHO₃)

Los resultados de análisis para el CHO₃ indican que el PP-TAINIC FC tiene mayor concentración con respecto al PP-TAINIC IC, este aumento está relacionado con los aportes de sales en las aguas de lluvia ocasionados por el evento extremo, que es la fuente primaria de recarga del acuífero (Custodio & Llamas, 2001) siendo el bicarbonato el que más prevalece en la zona de estudio de acuerdo a la composición hidroquímica del agua. Estos concentraciones se encuentran dentro de los rangos de concentraciones de CHO₃ en pozos del valle Sébaco (González, 2004), donde 8 de 11 pozos estudiados en el valle de Sébaco están entre los rangos de 120,15 a 297,53 mg/l de CHO₃. También se puede observar que el comportamiento de las

concentraciones de CHO_3^- es inversamente proporcional a los niveles de pH. Por tanto está relacionado con el efecto de dilución de pH, que al aumentar la relación suelo agua habrá una tendencia de aumento del pH (Fassbender, 1984). Eso explica que las menores concentraciones de CHO_3^- se encuentren en el tratamiento T_4 ya que es posible que puedan disolverse las sales por efecto del agua. Estos valores se encuentran por debajo de 20 meq/l (1220,4 mg/l) (Ayers & Westcot, 1984), cuyas concentraciones no representan problemas que afecten a los cultivos y al suelo.

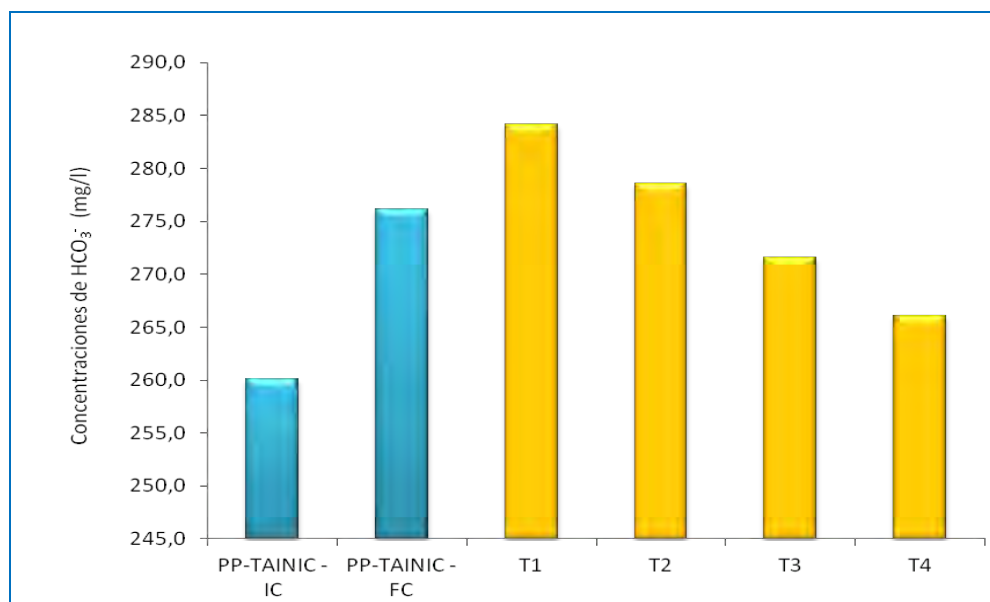


Figura 33 Concentraciones de CHO_3^- en PP-TAINIC y diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.

HIERRO (Fe^{2+})

Los resultados del análisis de concentraciones de Fe^{2+} para el PP-TAINIC al inicio (PP-TAINIC-IC) y final de campaña (PP-TAINIC-FC) se encuentran por debajo de los límites de detección (0,02 mg/l), cuyo valor es apto para consumo humano (Normas CAPRE, 1995). La presencia del Fe^{2+} en las

aguas subterráneas ocurre de manera natural y se da por disolución de rocas ferrosas (Custodio & Llamas, 2001).

La presencia del Fe^{2+} en los diferentes tratamientos se explica por la aplicación de fertilizantes en el cultivo, cuyos resultados del análisis de varianza para las concentraciones de Fe^{2+} indican que no hay diferencias significativas en los diferentes tratamientos. Sin embargo se muestra un pequeño aumento de concentraciones de Fe^{2+} en los tratamientos T_1 y T_4 .

Los resultados obtenidos en T_1 que corresponden a condiciones aeróbicas experimentales establecidas no coinciden con lo establecido por el CIAT-IRRI, (1992) quien dice el que “estado aeróbico del suelo es desfavorable para el crecimiento del arroz, puesto que hay deficiencias de hierro en todos los suelos oxidados”. Probablemente explique esta diferencia debido al evento extremo lo cual alteró parcialmente las condiciones experimentales establecidas como aeróbicas.

El resultado de concentraciones de Fe^{2+} en el T_4 es similar al T_1 , a diferencia que el Tratamiento T_4 sus condiciones de campo son anaeróbicas. Roca, Pazos, & Bech (2007) explican que en suelos con pH mayor que 7 ocasiona la retención de este ion, fijándolo en formas no disponibles para las plantas. Pudiera ser entonces que debido al pH 7,77 en el T_4 está disponible el Fe^{2+} pero que no logra ser absorbido por las plantas pero, esta situación no se puede confirmar ya que no es objeto del presente estudio.

En todo caso las concentraciones de hierro para todos los tratamientos en estudio se encuentran por debajo de las concentraciones máximas recomendada para agua para riego que corresponden a 5 mg/l según valores establecidos (FAO, 1984), el cual no representa afectación a las plantas ni al suelo.

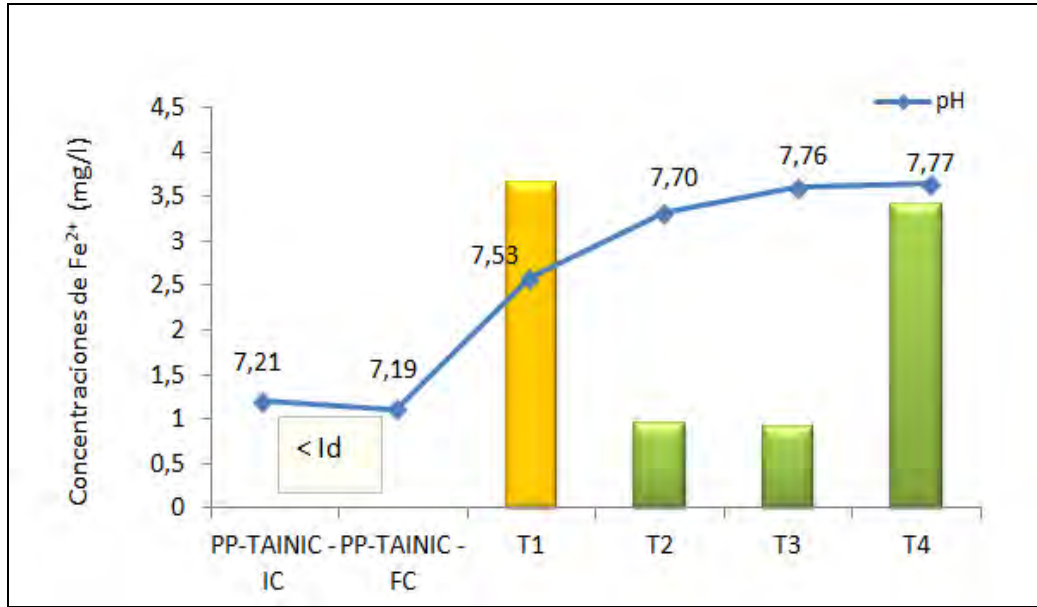


Figura 34 Concentraciones de Fe²⁺ en PP-TAINIC y sus diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.

SILICE (SiO₂)

Los resultados del Silice disuelto para el PP-TAINIC indica que hay mayores concentraciones al inicio de campaña respecto al final de campaña. Esta pequeña diferencia sea por el aporte de bicarbonatos dados por infiltración al final de campaña, limitando así la solubilidad del Silice en las aguas subterráneas (Figura 36). Estas concentraciones se encuentran dentro de los rangos normales de las aguas naturales (1 – 40 mg/l) y puede llegar hasta 100 mg/l en aguas bicarbonatadas sódicas (Custodio y Llamas 2001). Se puede observar el comportamiento de las concentraciones de SiO₂ en los tratamientos de estudio aumenta con el incremento del pH. Por lo que se puede deducir que el tratamiento T₄ hay más disponibilidad de SiO₂ favoreciendo las condiciones anaeróbicas. Según CIAT la concentración de Si disponible se incrementa con la inundación, cuyo elemento es muy importante en el

cultivo del arroz ya que protege a las plantas de las toxicidades de hierro y manganeso producidas por el suelo inundado (IPNI, 2000).

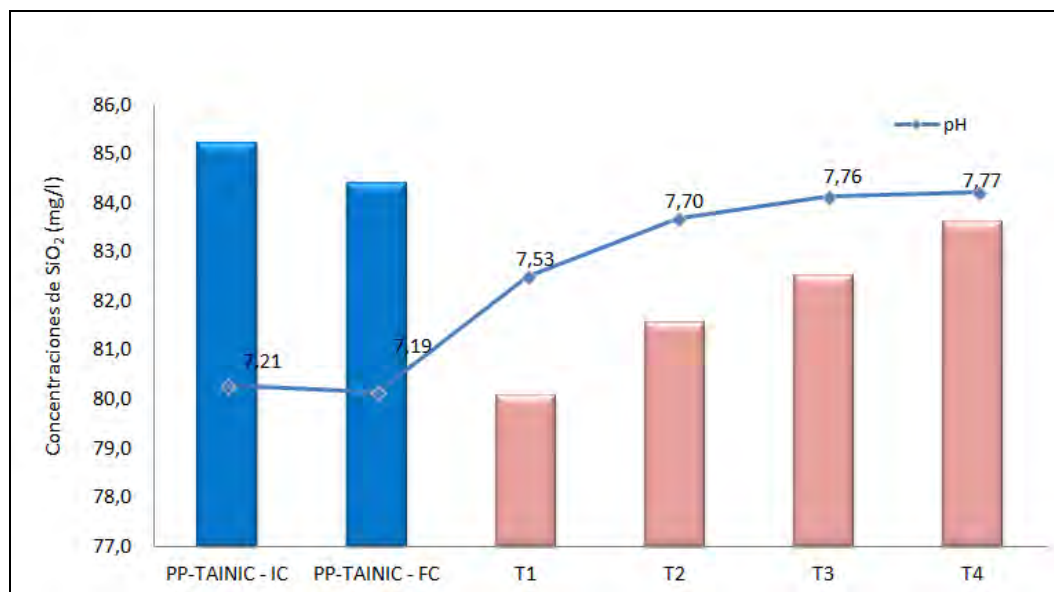


Figura 35 Concentraciones de SiO₂ en PP-TAINIC y sus diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.

NITRATO (NO₃)

Las concentraciones de NO₃ en PP-TAINIC son mayores al final de campaña (PP-TAINIC-FC) con un valor de 7,74 mg/l, este incremento se le puede atribuir al evento extremo ocurrido en la zona, ya que el nitrato es soluble en el agua y solo es retenido por la fase sólida del suelo, de manera que este anión puede lixiviarse fácilmente y alcanzar las aguas subterráneas, pudiendo permanecer allí por décadas (Nolan, 1999, tomado de C. Perdomo, Casanova O. y V Ciganda, 2001).

Una de las causas principales de la presencia del Nitrato en las aguas, es la agricultura que contribuye a la contaminación a través de la fertilización nitrogenada. Sin embargo, la mayoría de las aguas subterráneas tienen entre 0 y 5 mg/l de NO₃, López J.A, 2009. La

presencia de NO_3^- en el pozo PP-TAINIC mayor que estos rangos puede indicar que existe un peligro potencial de contaminación por nitrato en las aguas subterráneas y que el tipo de suelo existente ha impedido que los niveles de concentración sean mayores, ya que el espesor y permeabilidad de la zona subsaturada condicionan la velocidad y el tiempo de tránsito hasta la saturada, favoreciendo la disminución en su concentración (Auge, 2006).

Estas concentraciones de NO_3^- en el PP-TAINIC, se encuentran por debajo de los valores máximos recomendados por la OMS que corresponde a 50 mg/l (OMS, 2006).

Por otra parte, las concentraciones de NO_3^- se ven ligeramente reducidas en los diferentes tratamientos debido a que es absorbido por el cultivo. Esto se debe al efecto de dilución, ya que al aumentar la solución del agua en el suelo existe una tendencia de aumento del pH, el cual propicia una mejor absorción de nitrato por las plantas (Fassbender, 1984).

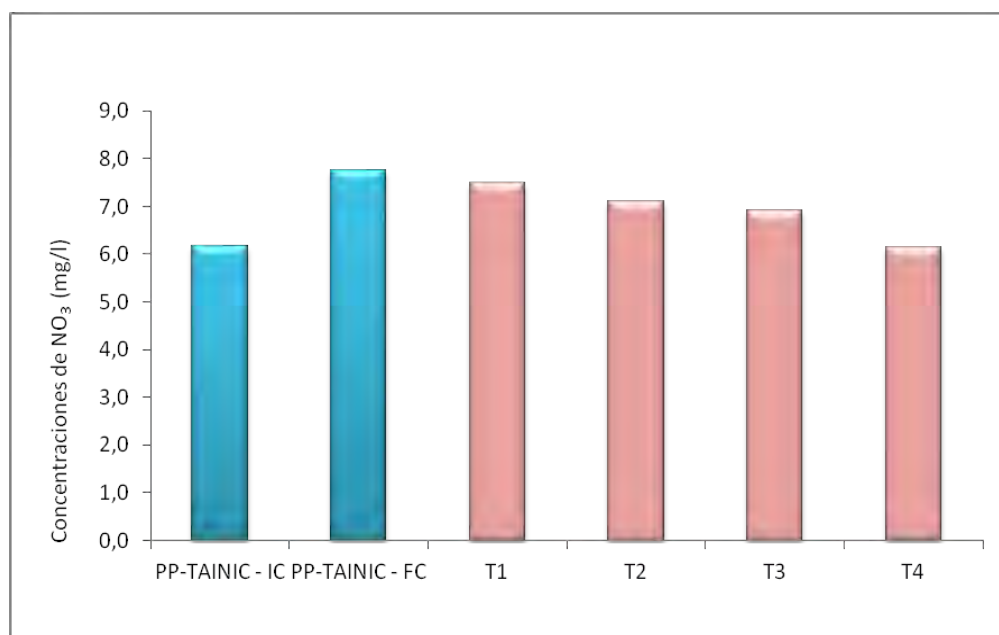


Figura 36 Concentraciones de NO_3 en PP-TAINIC y en los diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.

NITRITOS (NO_2)

La concentración de nitritos en las aguas del PP-TAINIC al inicio de campaña (PP-TAINIC-IC) correspondió a 0,003 mg/l y al final de la campaña los nitritos no fueron detectados. El nitrito es menos soluble en agua y menos estable que el nitrato (García et al. 1994) y se hace presente en condiciones reducidas (Custodio, 2001).

Las concentraciones en PP-TAINIC según normas CAPRE se encuentran dentro de los rangos admisibles para consumo humano que corresponden 0,1 – 3,0 mg/l por lo cual el PP-TAINIC no representa peligro para su consumo.

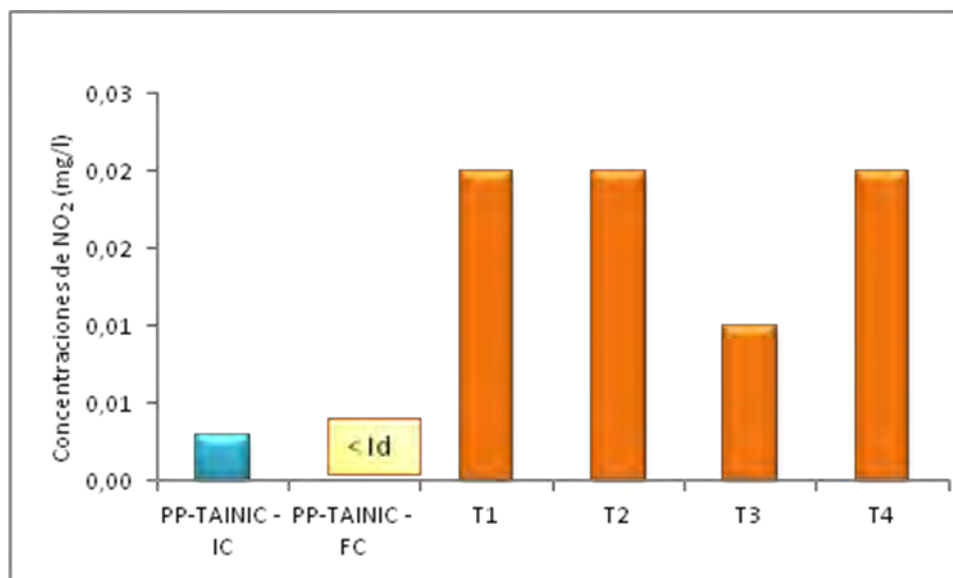


Figura 37 Concentraciones de NO_2 en PP-TAINIC y en los diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.

BORO (B)

Las concentraciones de Boro en el PP-TAINIC al final de campaña corresponden a 0,13 mg/l y el comportamiento en las concentraciones en los diferentes tratamientos oscila entre 0,13 y 0,11 como valores promedios lo cual no se presentan diferencias significativas entre el PP-TAINIC con respecto a los tratamientos en estudio. Estos valores se encuentran por debajo de los valores límites admisibles para calidad de agua de riego de 0,7 mg/l (FAO, 1984) indicando que no representa ningún tipo de restricción para su uso.

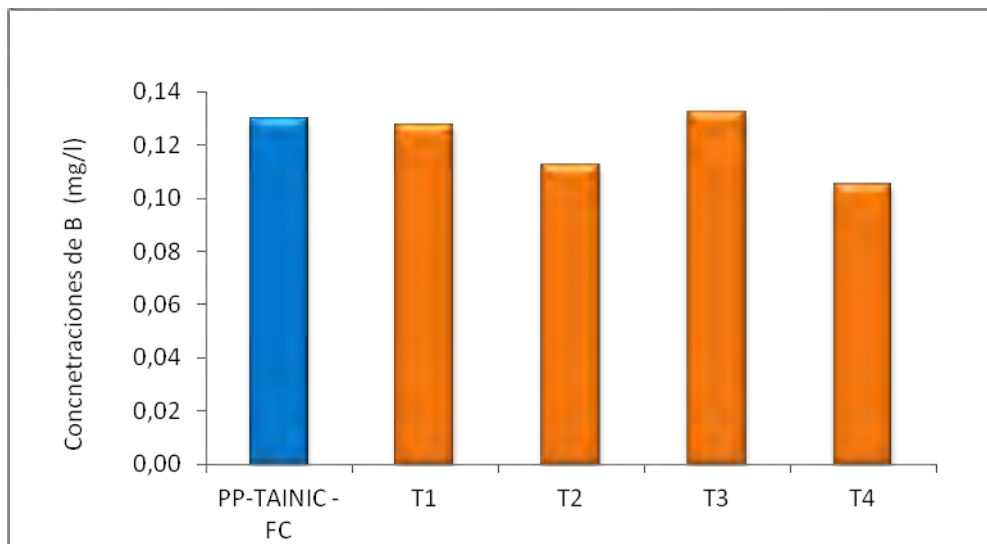


Figura 38 Concentraciones de B en PP-TAINIC y en los diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.

A fin de explorar los iones que podrían influenciar las respuestas a los diferentes tratamientos, se realizó el análisis multivariado descriptivo del Análisis de Componentes Principales ACP (Figura 40). La figura 40 muestra que existe mayor correlación de los cationes Na, Ca, Mg y Fe para el tratamiento T₁ que para el resto de tratamientos. Para el tratamiento T₂ los iones con más correlación fueron el Cl⁻, SO₄⁻, HCO₃⁻ y NO₃⁻, en el tratamiento

T₃ está más asociado el K⁺ y finalmente en el T₄ hay más correlación con los elementos SiO₂⁺ y NO₂⁻.

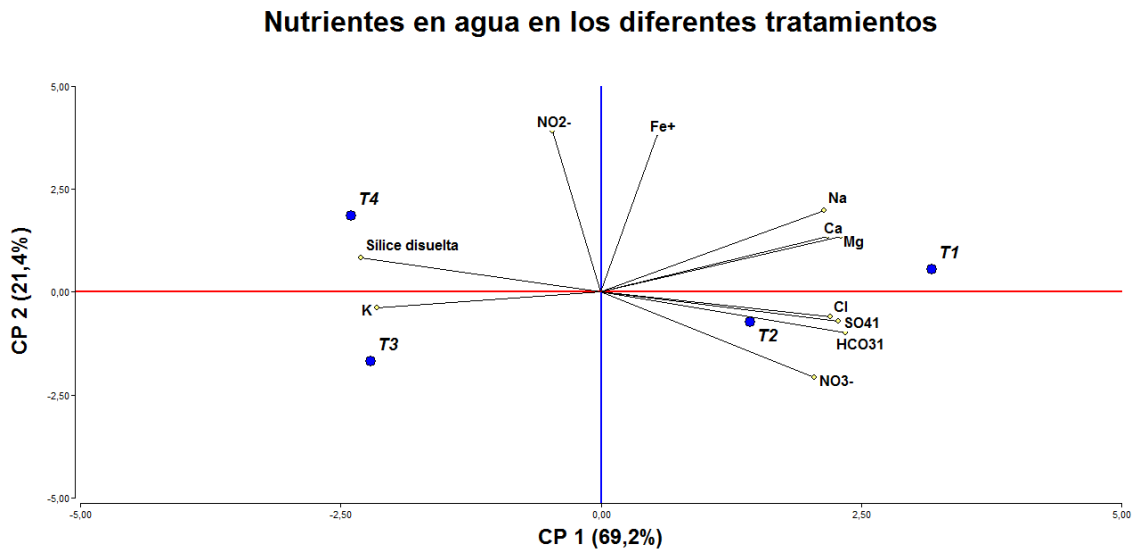


Figura 39 Análisis de Componentes Principales (ACP) para los nutrientes en agua. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), Valle de Sébaco, Matagalpa, Noviembre 2011.

De acuerdo a los resultados del análisis de Varianza multivariado (MANOVA), realizado para verificar si existen diferencias significativas o no de los tratamientos en estudio en relación a las concentraciones de aniones y cationes (Tabla 21), utilizando las concentraciones de todos los elementos estudiados en agua para cada tratamiento, indican que no tienen diferencias significativas según la prueba Hotelling con un $\alpha=0,05$, por tanto no habría cambios en la calidad del agua en todos los tratamientos, análisis realizado para observar la influencia de todos los elementos contenidos en el agua.

Esto significa que el comportamiento de la calidad del agua no muestra diferencias debido a las concentraciones de los aniones y cationes bajo las condiciones que fueron estudiados y esos valores se encuentran por debajo de las concentraciones contaminantes establecidas por las normas FAO (Ayers & Westcot, 1984).

Tabla 21 Composición iónica (mg/l) de las aguas de los diferentes tratamientos

Prueba Hotelling Alfa = 0,05												
<i>Error: Matriz de covarianza común gl: 12</i>												
Trat.	Na	Ca	Mg	K	Cl	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Fe ²⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	SO ₄ ⁻	n
T4	50,05	65,73	13,85	7,58	21,37	65,92	266,05	3,42	6,15	0,02	83,62	4 A
T3	49,08	65,33	13,12	7,66	21,39	66,63	271,54	0,91	6,91	0,01	82,54	4 A
T2	50,43	66,11	14,76	7,36	22,14	73,45	278,57	0,96	7,10	0,02	81,58	4 A
T1	51,69	67,69	15,48	7,41	21,98	72,63	284,11	3,66	7,49	0,02	80,07	4 A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

8.2.1.3 Calidad de agua

Los resultados del análisis del agua de riego corresponden al pozo perforado TAINIC (PP-TAINIC) que suministra agua a las parcelas de experimentación, con las siguientes características:

Parámetros de campo

	Inicio de campaña	Final de campaña
pH	7,21	7,19
Conductividad eléctrica CE (µS/cm)	522	540
Temperatura °C	29,03	27,3
Oxígeno disuelto mg l ⁻¹	1,07	2,11
Saturación de oxígeno %	15,2	31,8

Salinidad

La conductividad eléctrica del agua (C.E), es un parámetro que permite evaluar el contenido de sales en el suelo que resulten perjudiciales para los cultivos. Los valores de conductividad (522, 540 µS/cm) del agua en el PP-TAINIC no representan ningún problema según criterio de FAO, 1984 ya que se encuentran por debajo de 0,7 mmhos/cm equivalente 700 µS/cm.

Sodicidad

Relación de Adsorción de Sodio (RAS) Ajustado

$$Adj.SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Mg^{2+}] + [Ca^{2+}]}{2}}} \times [1 + 6,4 - pHc]$$

Expresando los cationes en meq/l

Donde;

$[Na^+]$ = Concentraciones de Sodio

$[Mg^{2+}]$ = Concentraciones de Magnesio

$[Ca^{2+}]$ = Concentraciones de Calcio

$$pHc = (pk'2 - pk'c) + p(Ca + Mg) + p(Alk)$$

Para el agua del riego se tiene lo siguiente:

$Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+$ = 5,7 meq/l, siendo $(pk'2 - pk'c) = 2,2$

$Ca^{2+} + Mg^{2+}$ = 3,6 meq/l, siendo $p(Ca + Mg) = 2,8$

$CO_3 + CO_3H$ = 4,26 meq/l, siendo $p(Alk) = 2,4$

$$pHc = 7,4$$

$$SAR = 1,58$$

$$Adj.SAR = 1,58 \times [1 + 6,4 - pHc] = 3,162$$

El valor de PHc menor que 8,4 indica que existe tendencia a precipitar las sales contenidas en el agua aplicada.

	Inicio de Campaña	Final de Campaña
--	--------------------------	-------------------------

Ras Ajust	3,162	2,890
-----------	-------	-------

Clasificación del agua de riego de PP-TAINIC

A partir de los datos de CE y RAS se establece la clasificación del agua según las normas Riverside (U.S. Soild Salinity Laboratory, 1976), siendo las aguas del PP-TAINIC clasificada como C₂S₁.

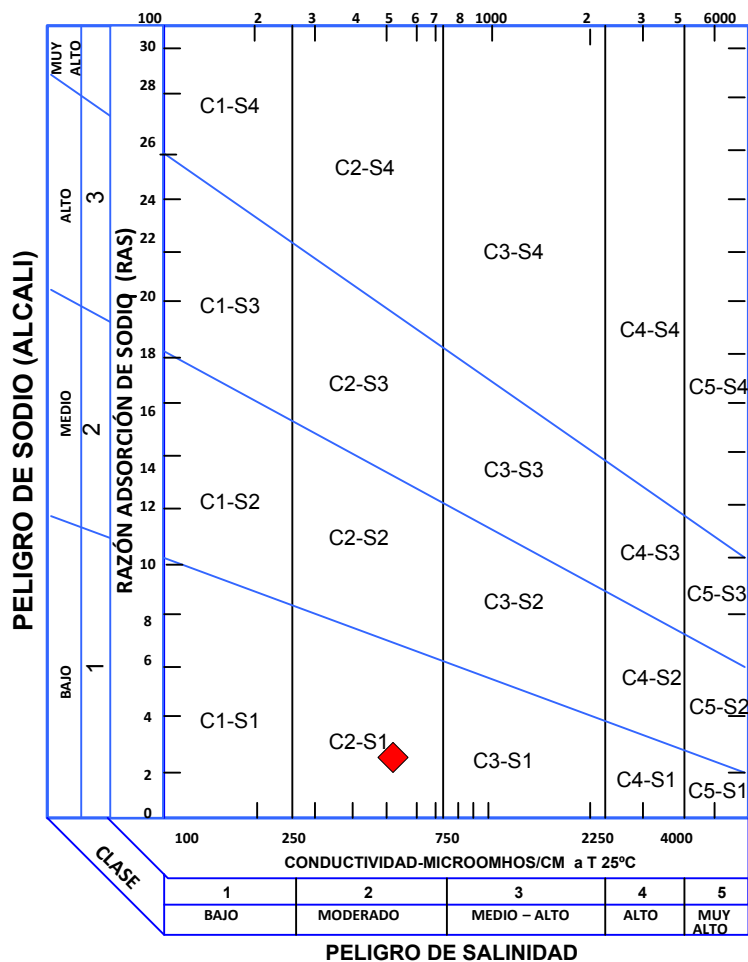


Figura 40 Clasificación de las aguas del PP-TAINIC según normas Riverside para evaluar la calidad de las agua por Ayers y Westcot - FAO

Estos valores indican que es agua de baja salinidad y apta para el riego en todos los casos pero que pueden existir problemas en cuyos suelos sean de muy baja permeabilidad, además es agua con bajo contenido de sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en

suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario. (U.S. Soil Salinity Laboratory, 1976).

Comportamiento del agua de riego en los diferentes tratamientos

No solamente es importante conocer la calidad del agua con que se riega sino también conocer la respuesta del agua en contacto con el suelo. Si el resultado de la calidad del agua es C_2S_1 , pero advierte que para suelos arcillosos existe un potencial riesgo de salinización en suelos de baja permeabilidad, es conveniente conocer entonces cual manejo de agua en los diferentes tratamientos corre más riesgos. Aunque, todos los resultados ANDEVA y ACP supone ser el T1. Para confirmar este supuesto se realizó un Análisis Multivariado en los tratamientos en estudio de los elementos principales que intervienen en salinización Na, Mg, Ca y HCO_3^- . Los resultados de MANOVA para sales que se encuentran en contacto con el suelo en los diferentes tratamientos (Na, Ca, Mg y HCO_3^-) indican que hay diferencias significativas (Tabla 22). Esto implica que puede existir un potencial riesgo de salinización en el suelo en el tratamiento T1 por concentrarse más las sales. El problema de la salinidad del agua y por tanto los daños y efectos que originan surgen como consecuencia de la evolución que experimenta el agua de riego en el suelo; es decir, del comportamiento seguido por el agua una vez aplicada en el terreno (Vidal, M. 1991)

Tabla 22 Comportamiento de Na, Ca, Mg, HCO_3^- en los diferentes tratamientos

Prueba Hotelling Alfa = 0,05					
<i>Error: Matriz de covarianza común gl: 12</i>					
Trat.	Na	Ca	Mg	HCO_3^-	n
T4	50,05	65,73	13,85	266,05	4 A B
T3	49,08	65,33	13,12	271,54	4 A C
T2	50,43	66,11	14,76	278,57	4 B
T1	51,69	67,69	15,48	284,11	4 C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Finalmente, se riega con una calidad de agua, que es la misma para todos los tratamientos pero el comportamiento de sus propiedades cambiaran para cada tratamiento. Así que la prueba de Hotelling para Na, Ca, Mg, HCO₃ (Tabla 22) nos muestra que existe una relación proporcional con los niveles de agua con respecto al contenido de sales. A mayor cantidad de agua o disponibilidad de agua se reducen los efectos osmóticos. Lo que es decir, para estas condiciones de suelo y necesidades hídricas del cultivo con los diferentes manejos de volúmenes de agua el T₁ existe una tendencia a salinizar el suelo con respecto al resto de tratamientos.

8.2.1.3.1 Tipo Hidroquímico

La calidad del agua de riego utilizada en las parcelas de estudio por su composición físico químico es clasificada como $\text{CO}_3\text{H}^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+$, dato obtenido a través del Software AquaChem 3,70.

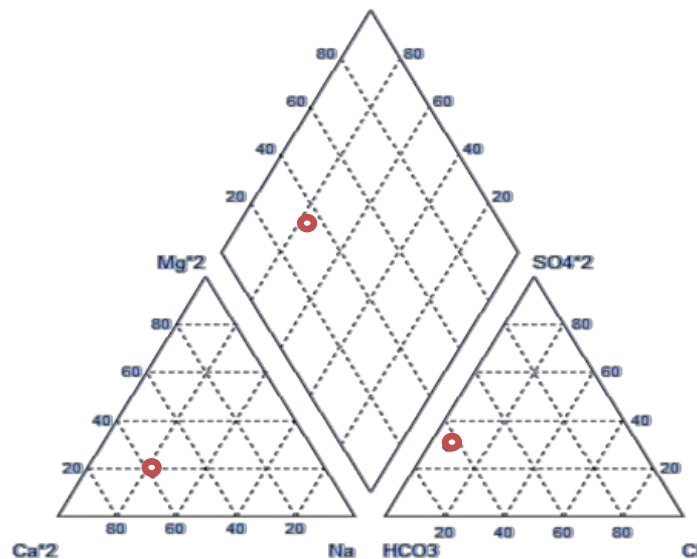


Figura 41 Clasificación del agua del tipo hidroquímico para en el PP -TAINIC (Diagrama de Piper)

8.2.1.3.2 Dureza

Para consumo humano

El valor de CaCO_3 corresponde a 179,44 mg/l en el PP-TAINIC, encontrándose dentro del rango de clasificación dura para consumo humano, según OMS. Esto implica que deben tomarse medidas de filtrado antes que los trabajadores de campo y personal del TAINIC ingieran ésta agua.

Tabla 23 Clasificación del agua según su dureza para en el PP-TAINIC

Ubicación	Fuente	Tipo Hidroquímico	CaCO_3	Clasificación según su Dureza				Apta para consumo	
				B	MD	D	MD	Sí	No
TAINIC	PP-TAINIC	$\text{CO}_3\text{H}^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+$	179,44			x			x

PP-TAINIC: Pozo perforado-TAINIC

B: Blanda, MD: Moderadamente dura, D: Dura, MD: Muy dura

Clasificación para uso de riego

La dureza del agua de riego en función de los Grados Higrométricos Franceses (GHF) (Tabla 24) evidencia que el agua utilizada para el riego es medianamente dulce y cambia levemente la calidad a medianamente dura al entrar en contacto en las parcelas T_1 y T_2 , esto puede ser por la concentración de sales presentes (Na, HCO_3 , Ca, Mg) en los tratamientos. Sin embargo el análisis de varianza indica que no hay diferencias entre los tratamientos (Tabla 25), lo que no es contradictorio ya que los rangos para su clasificación se encuentran más cercanos a su límite inferior. Por lo que si hubiera avenamiento no significarían peligro para los cuerpos de agua receptores de esta calidad de agua.

Tabla 24 Resultados de la clasificación de dureza expresada en grados higrométricos Franceses (GHF) en pozo y en los diferentes tratamientos

Identificación	Valor medido (GHF)	Grados Higrométricos Franceses	Tipo de agua
PP-TAINIC-IC	17,98	Entre 14 - 22	Medianamente dulce
PP-TAINIC-FC	21,17	Entre 14 - 22	Medianamente dulce
T1	23,30	Entre 22 - 32	Medianamente dura
T2	22,61	Entre 22 - 32	Medianamente dura
T3	21,74	Entre 14 - 22	Medianamente dulce
T4	22,14	Entre 14 - 22	Medianamente dulce

Tabla 25 ANDEVA en CaCO₃ (mg/l) en los diferentes tratamientos

Test Duncan Alfa 0.05				
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T ₁	23,30	4	0,80	A
T ₂	22,61	4	0,80	A
T ₄	22,14	4	0,80	A
T ₃	21,74	4	0,80	A

Letras iguales indican diferencias significativas p<0,05

8.2.2 Nutrientes de suelo

8.2.2.1 Elementos pesados (Fe, Mg, Zn, Cu)

Los resultados de los análisis de nutrientes en el suelo en los diferentes tratamientos en estudio se muestran en la tabla 26.

Tabla 26 Concentraciones de nutrientes en suelo y valores recomendados

Tratamientos	Niveles	*Valores
--------------	---------	----------

Nutrientes	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄		
P ppm	17,7	29,3	16,8	0,6	3,5	20 - 50	> 50
Fe ppm	117,4	207,3	110,7	152,7	47,0	50 - 100	>100
Cu ppm	12,7	15,0	11,9	13,9	12,0	10 - 20	> 20
Zn ppm	1,1	1,9	1,1	1,4	1,6	10 - 15	> 15
Mn ppm	20,0	48,6	20,4	20,5	23,4	10 - 50	> 50
B ppm	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5 - 1	> 1
S ppm	4,7	3,0	2,5	2,9	12,7	20 - 50	> 50
CIC meq/100 g	38,2	38	39,4	38,8	38,4	>20	

*Fuente: (Tecnología de Suelos. Murillos A. et al. 2010. Zaragoza, Lérida. Ediciones de la Universidad de Lleida. 2010)

HIERRO (Fe)

Entre los elementos pesados (Fe, Mn, Zn, Cu) presentes en el suelo, por lo general el contenido de Fe es relativamente más alto en comparación con el resto de elementos y le sigue el Mn (Fassbender, 1984). Es común que en el cultivo del arroz, en condiciones sumergidas haya deficiencia de hierro como ocurre en suelos con pH alto (>7,5). La deficiencia de hierro ocurre en suelos neutros a alcalinos (FAO, 2000). Como puede verse en la figura 43 la concentración más alta de hierro, correspondiente al tratamiento T₁, está asociada a los valores más bajo de pH. Contrario a este tratamiento, la concentración de hierro más baja, la cual corresponde al Tratamiento T₄, presenta los valores de pH más altos. Para el T₄ a diferencia del T₁, le favorece el volumen de agua debido a que le da condiciones óptimas de disponibilidad de Hierro a las plantas.

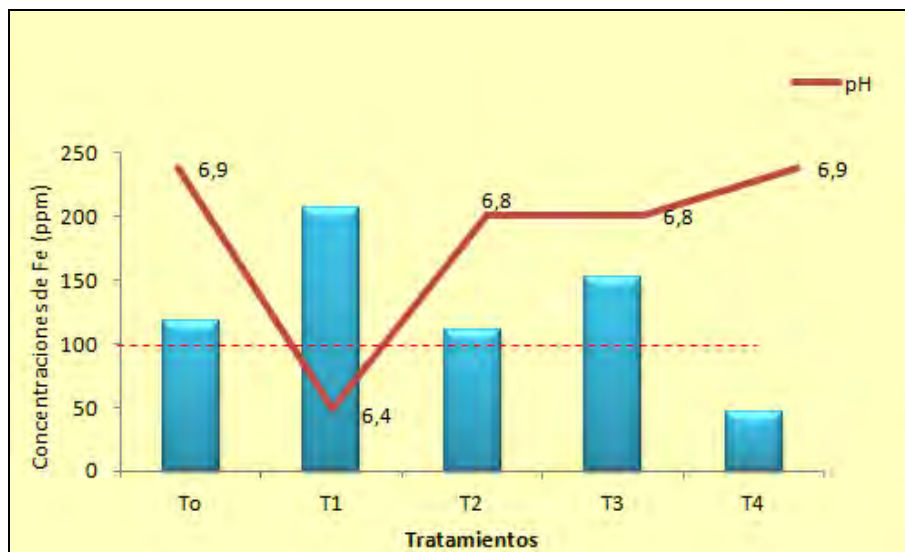


Figura 42 Concentraciones de Fe en el suelo para los diferentes tratamientos. Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Diciembre 2011

Manganeso (Mn)

Las concentraciones de Mn en los diferentes tratamientos, se mantuvieron dentro de los niveles recomendables de 10 – 50 ppm. Sin embargo las concentraciones de Mn en el suelo del tratamiento T₁ se encuentran cercanas al nivel crítico. El Mn en condición de acidez aumenta su concentración tal como se muestra en la figura 44 , situación por la cual estas concentraciones podrían ser un peligro de toxicidad para el cultivo.

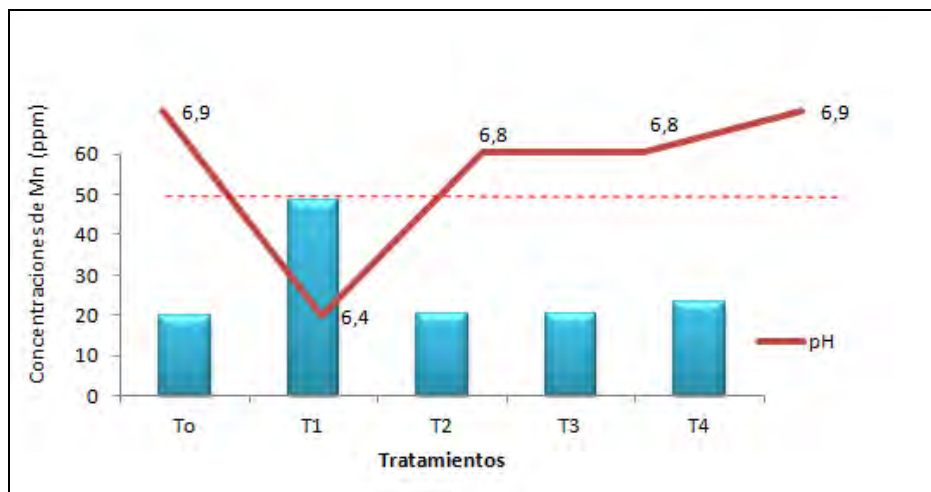


Figura 43 Concentraciones de Mn en los suelos de los diferentes tratamientos, Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Diciembre 2011

Cobre (Cu)

Las concentraciones de Cu se encuentran dentro de los rangos disponibles para las plantas según los valores guías a (Figura 45). Por lo que se puede decir que no es afectado por los niveles de agua para los diferentes tratamientos. La mayor concentración se presenta en el tratamiento T₁ con 15 ppm y la menor concentración de 12 ppm que corresponde para el tratamiento T₄.

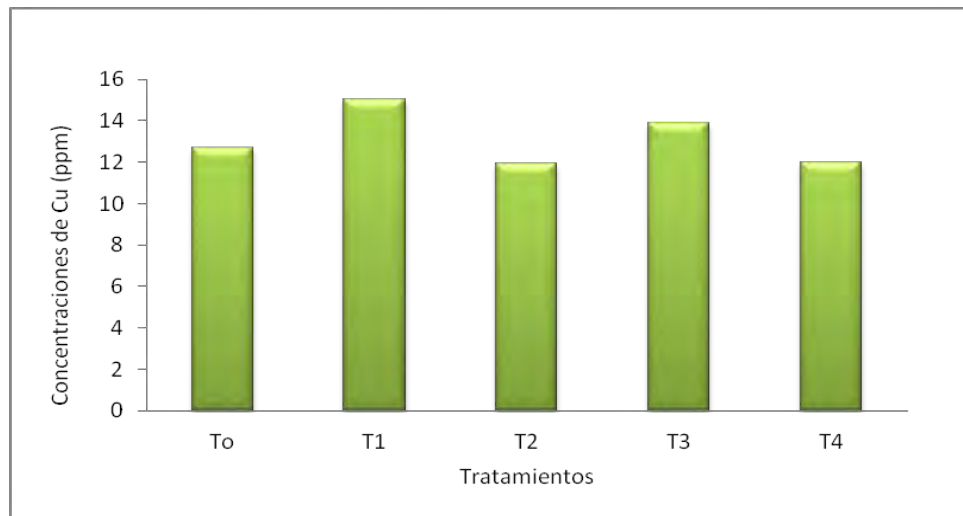


Figura 44 Concentraciones de Cu en los suelos de los diferentes tratamientos, Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Diciembre 2011

Fósforo (P)

Los resultados de los análisis en los diferentes tratamientos realizados después de cosecha, reflejan que en los suelos de los tratamientos T₃ y T₄ hay deficiencias de P con valores de 0,6 y 3,5 ppm respectivamente. Según estos resultados, se puede aseverar que el Fe este siendo absorbido por las plantas, ya que según SAG (2003), la absorción de los nutrientes es mayor por la oxigenación y circulación del agua, condición que favorecieron al tratamiento T₄. También se puede observar (Figura 46) que si bien es cierto hay más disponibilidad en el tratamiento T₁, el cual mantiene un pH por debajo 6,5 y podría estar limitando la absorción de las plantas.

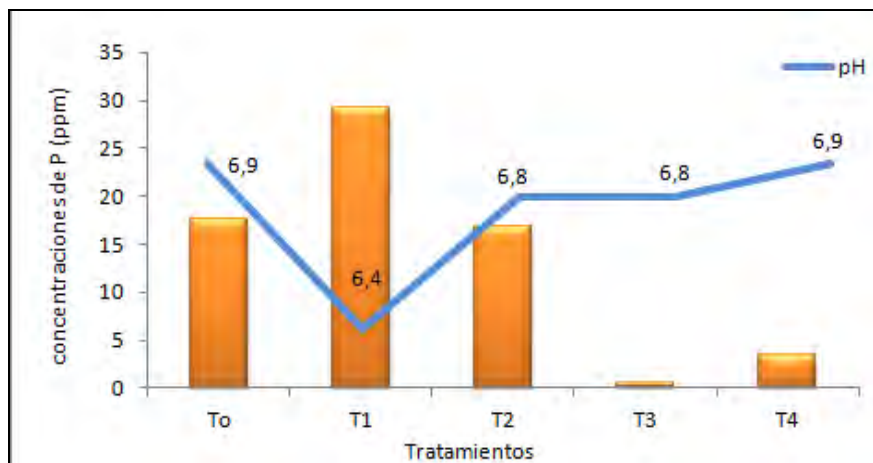


Figura 45 Concentraciones de P para los diferentes tratamientos, Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Diciembre 2011

8.2.2.2 Cationes en el suelo

Los resultados de análisis de nutrientes en el suelo en los diferentes tratamientos y las relaciones catiónicas recomendadas se muestran en la tabla 27.

Tabla 27 Concentración de nutrientes en el suelo y rangos de relaciones catiónicas recomendadas

Tratamiento	<i>k</i> meq/100 g	<i>Ca</i> meq/100 g	<i>Mg</i> meq/100 g	Rangos de Relaciones * Catiónicas
T ₀	1,1	28,4	8,0	Ca/Mg 2 – 5
T ₁	1,1	28,9	7,4	Ca/K 5 – 25
T ₂	1,2	29,2	8,3	Mg/K 2,5 – 15
T ₃	1,1	29,4	7,6	(Ca+Mg)/K 10 - 40
T ₄	1,1	28,7	7,9	

*Fuente: (Tecnología de Suelos. Murillos A. et al. 2010. Zaragoza, Lérida. Ediciones de la Universidad de Lleida. 2010)

Cationes Ca, Mg y K

Los resultados de las concentraciones de los principales cationes Ca, Mg y K realizados en el suelo (Tabla 27) en los diferentes tratamientos muestran una buena correlación al final de campaña (Tabla 28). Los resultados al inicio de campaña indican que la relación Ca/Mg se encuentran dentro de los rangos considerados como apropiado, sin embargo la relación Ca/K, Mg/K y (Ca+Mg)/K se encuentran por encima del rango recomendado, indicando que hay deficiencias en el catión K. Al final de campaña, según los resultados obtenidos fueron superados la deficiencia de K ya que las relaciones antes mencionadas se encuentran dentro de los rangos establecidos como apropiados. Esto supone que el cultivo no tuvo deficiencias en este elemento.

Tabla 28 Relaciones catiónicas de bases intercambiables en los suelos de los diferentes tratamientos

Identificación	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
<i>Inicio campaña *</i>	2,80	41,0	14,6	55,6
<i>Final de Campaña</i>				
T ₀	3,6	25,8	7,3	33,1
T ₁	3,9	26,3	6,7	33,0
T ₂	3,5	24,3	6,9	31,3
T ₃	3,9	26,7	6,9	33,6
T ₄	3,6	26,1	7,2	33,3

* *Análisis de suelo antes de dividir las parcelas.*

Nitrógeno

Los resultados del N (%) en suelo nos indican que para los tratamientos T₁, T₂ y T₃ su comportamiento es igual, para el tratamiento T₀ hay una reducción de N con respecto al tratamiento T₄, hay una baja respuesta a los volúmenes de agua, debido a que el tratamiento T₄ mantuvo una lámina de 3 pulgadas logra descomponer más rápido la materia orgánica por ende libera N que puede ser

asimilado por las plantas en forma de NO_3 , que se refleja en la apariencia del color de las hojas en la planta.

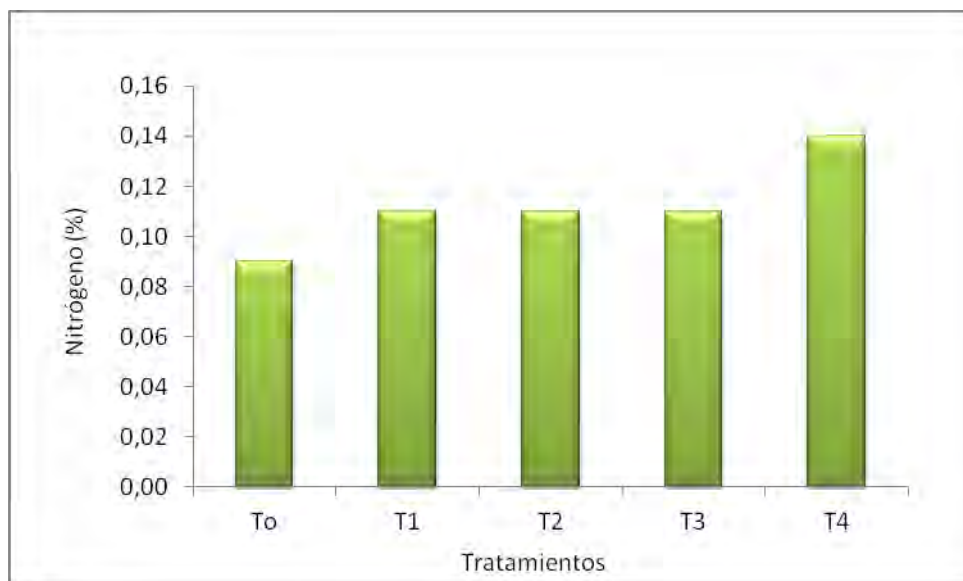


Figura 46 Concentraciones de Nitrógeno en los suelos de los diferentes tratamientos, Centro Experimental del Arroz Taiwán-Nicaragua (TAINIC), valle de Sébaco, Matagalpa, Diciembre 2011

Aunque en los suelos alcalinos pueden presentarse pérdidas de nitrógeno en forma de NH_3 (Solís N, 1998), a altos valores de pH el NH_4 se transforma en amoníaco libre NH_3 , el cual es tóxico para las plantas o se pierde en forma gaseosa, no se corresponde con los resultados en los tratamientos ya que no se observa correspondencia con el pH como se muestra en la figura 47 para los tratamientos T_0 y T_4 los valores de pH son iguales y el comportamiento del N son diferentes.

La clasificación del suelo al momento del muestreo y de acuerdo al pH (6 – 6,9) según Scheffer y Schachtschabel corresponde a un suelo ligeramente ácido (Fassbender, 1984) ya que se encuentra dentro estos rangos.

El mismo autor dice que se ha podido demostrar que variando el pH de las soluciones entre 4 y 9 no se tiene influencia marcada sobre la absorción de

iones y que sólo a pH menores de 4 se producen trastornos en el desarrollo radical y a pH mayores que 9 se produce una absorción deficiente de los fosfatos. De esto resulta que el efecto del pH sobre el desarrollo vegetal es mas bien asociado con la influencia que ejerce sobre todas las propiedades del suelo anteriormente presentadas. Así que para el cultivo del arroz el pH optimo se encuentra entre los rangos de pH 5 a 6,5 (Ignatieff y Page, pag, 186) de manera que no se desarrolla bien en suelos alcalinos.

8.2.3 Arsénico (As) en Agua-suelo-grano

8.2.3.1 As en agua

La concentración de Arsénico total en las aguas del PP-TAINIC ($2,99 \mu\text{g.l}^{-1}$) se encuentra por debajo de los límites admisibles por OMS ($10 \mu\text{g.l}^{-1}$). Estas normas varían según los países. Estados Unidos y Rusia consideran el agua perjudicial para la salud cuando contiene concentraciones mayores de $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$ ($50 \mu\text{g.l}^{-1}$), Unión Europea cuando supera $0,01 \text{ mg.l}^{-1}$ ($10 \mu\text{g.l}^{-1}$) para tomar. Por el contenido de OD ($1,07 \text{ mg.l}^{-1}$) la especie del As es en forma de Arsenito, según Postma et al., 2008 que bajo condiciones ambientales reductoras en algunas aguas subterráneas el arsenito puede ser la especie dominante. La presencia del As en las aguas subterráneas en el valle de Sébaco está relacionada a las soluciones hidrotermales o aguas profundas enriquecidas por As a través de fallas (fracturas, grietas, etc) que hacen contacto con el fondo del acuífero de la cuenca de Sébaco, explicando de esta manera tanto las anomalías de temperatura como los diferentes rangos de concentraciones en las aguas subterráneas (Estrada, F. 2003), de manera que no se puede asumir que sea producto de agroquímicos utilizados en la agricultura como la fuente de contaminación.

8.2.3.2 Arsénico (As) en suelo y grano

La presencia de As se observó en el suelo al IC (Inicio de la campaña) sin embargo, las concentraciones al FC (Final de la campaña) tanto en los tratamientos T1 y T4 se encuentran por debajo del límite de detección ($Id = 0,01 \mu\text{g.g}^{-1}$) (Tabla 29). Siendo los límites máximos admisibles recomendados por la Unión Europea de $20 \mu\text{g.g}^{-1}$ en suelos agrícolas (CODEX, 2011). La reducción del As en el suelo puede deberse al contenido de compuestos (óxidos e hidróxidos) de Fe y Mn presentes. El arsénico inorgánico puede ser absorbido por óxidos de hierro, manganeso y aluminio (FAO, 2006).

El contenido de As en el grano de arroz pulido es mayor en el tratamiento T₄ que en el T₁. Esto podría explicarse debido al contenido de agua en los diferentes tratamientos. Por ejemplo, al tratamiento T₄ se le aplicaron mayores volúmenes de agua en comparación al tratamiento T₁ facilitando así la movilización del arsénico a las raíces del arroz y en consecuencia al grano. Por lo que puede decirse que la acumulación de As en el arroz puede disminuirse con métodos aeróbicos. Estudios realizados en Bengala Occidental demuestran que el suelo de los arrozales se contamina a través del agua para riego y así propicia la acumulación de arsénico en las plantas de arroz (FAO, 2006). También demuestra en el mismo estudio que el contenido de arsénico en el arroz se relaciona con el grado de contaminación en el agua de riego y el suelo, y que la acumulación de arsénico es en el siguiente orden: raíces > paja > cáscara > grano.

Las concentraciones encontradas en el grano de arroz en los diferentes tratamientos (Tabla 29) se encuentran por debajo de los límites permisibles para el consumo que norman algunos países como China ($0,2 \mu\text{g.g}^{-1}$), Australia ($1 \mu\text{g.g}^{-1}$), India ($1,1 \mu\text{g.g}^{-1}$), Alemania ($5 \mu\text{g.g}^{-1}$), Inglaterra y Gales ($1 \mu\text{g.g}^{-1}$) y Malasia ($1 \mu\text{g.g}^{-1}$).

El consumo per cápita anual de arroz en Nicaragua pasó a ser para el 2007 de 114 libras (Cortéz D, 2007. END). De manera que si proyectamos los resultados de las concentraciones de As obtenidos para los tratamientos T₁ y T₄, se

requerirá consumir durante 2 años 228 lbs de arroz para obtener concentraciones de 1,17 mg de As con el tratamiento T₁ y 6 meses que equivale 57 lbs de arroz con las concentraciones del tratamiento T₄.

Bajo estos rangos establecidos, los resultados de residuos de As en el grano en los tratamientos T₁ y T₄ no representarían peligro para su consumo.

Tabla 29 Resultados de As en Suelo y grano de arroz en los tratamientos T₁ y T₄

Tratamientos	As Suelo µg.g ⁻¹		As grano µg.g ⁻¹
	Inicio Campaña	Final Campaña	
Parcelas	0,47		
T₁		<ld	0,01
T₄		<ld	0,04

8.3 Niveles de agua y rendimiento de arroz

8.3.1 Niveles de agua

8.3.1.1 Volúmenes de agua

Los resultados de volúmenes de agua manejados en los diferentes tratamientos en estudio, medidos por la ecuación $Q = 0,0138 H^{5/2}$ (l/s) para un vertedero triangular de bajos caudales, fueron los que se describen en la tabla 30.

Tabla 30 Volúmenes de agua en los diferentes tratamientos

Tratamientos	Vertedero m ³ /parcela
T₀	
T₁	561,87
T₂	582,39

T₃	637,47
T₄	725,49

8.3.1.2 Pluviómetro

Se registraron en el Centro de Experimental del Arroz TAINIC un total de 486,6 mm durante el ciclo Agosto – Diciembre 2011 (Anexo 6).

Tomando en cuenta las condiciones climáticas durante el ciclo y la extracción del agua para el riego del cultivo del arroz en las diferentes parcelas, puede estimarse con: Precipitaciones + volúmenes de agua para 1 ha (Tabla 31). Estos resultados indican que el tratamiento T₄ se le aplicó un total de 725,49 m³ de agua lo que implicaría 30 154,65 m³/ha de agua durante el ciclo y el que menos se le aplicó agua corresponde al T₁ con 561,87 m³, siendo un total de 24 457,79 m³ de volumen de agua por hectárea. Es muy conocido que los productores en Nicaragua, no tienen una norma definida de volumen de agua para el cultivo, por lo que tradicionalmente utilizan un nivel de agua de 12-15 y hasta 20 cm de agua, lo que indica que su norma sería de unos 48 000 – 55 000 m³/ha aproximadamente durante el ciclo. De manera que el tratamiento T₄ reduciría un 37 – 45 % con respecto a la forma tradicional de producción del cultivo del arroz.

Tabla 31 Proyección de volúmenes de agua en los diferentes tratamientos

Tratamientos	Vertedero m³/ha	Prec. m³/ha	Total m³/ha	Diferencias de volúmenes entre tratamientos
T₁	19 591,79	4 866	24 457,79	
T₂	20 304,30	4 866	25 170,30	712,51
T₃	22 225,56	4 866	27 091,56	921,26
T₄	25 288,65	4 866	30 154,65	3 063,08

8.3.2 Rendimiento en el cultivo del arroz

Tabla 32 Valores de componentes de rendimiento para los diferentes tratamientos

Tratamientos	Ht cm	PnL cm	NG PnL	% gB	P ₁₀₀₀ G	R _{end} Py
T ₀	83	24,78	147	71,79	24,85	70,30
T ₁	96,90	24,55	132,50	73,45	27,05	173,19
T ₂	96,20	25,15	137,33	78,82	27,52	184,94
T ₃	103,30	25,28	133,83	75,31	27,56	204,61
T ₄	111,90	26,05	124,33	75,45	29,79	326,31

Ht (Altura de planta), L PnL (Longitud de panícula), NG PnL (Número de granos por panícula), P₁₀₀₀G (Peso de mil granos (grs), R_{end} Py (Rendimiento en granza o Paddy)

8.3.2.1 Componente de Rendimiento

8.3.2.1.1 Altura de planta (Ht)

Los resultados de altura de plantas indican que el tratamiento que alcanzó mayores alturas corresponde al tratamiento T₄ con promedios de 111,90 cm y el de menor estatura corresponde al tratamiento T₀, con 83 cm. Entre el resto de tratamientos no existen estadísticamente diferencias significativas. El desarrollo de las plantas presente en el tratamiento T₄ obedece al mayor volumen de agua manejado durante el ciclo (Figura 48). La altura promedio de la variedad INTA Dorado es de 92 cm por lo que solamente el T₀ no cumple con ésta condición, en otros estudios la altura de planta de la variedad INTA Dorado alcanzó un promedio de 114,1 cm (Ortega Molina, 2002), 92 cm (Lira R & Ruíz E, 2005). Alturas de planta hasta 1 m son consideradas como enanas y semi enanas hasta 1,3 m (CIAT, 1980). Siendo la altura baja y dureza del tallo cualidades esenciales en variedades de altos rendimientos ya que minimiza el volcamiento, como también es un criterio importante para reducir el ataque de barrenadores, el efecto de enfermedades virales y el daño de roedores (CIAT, 1980).

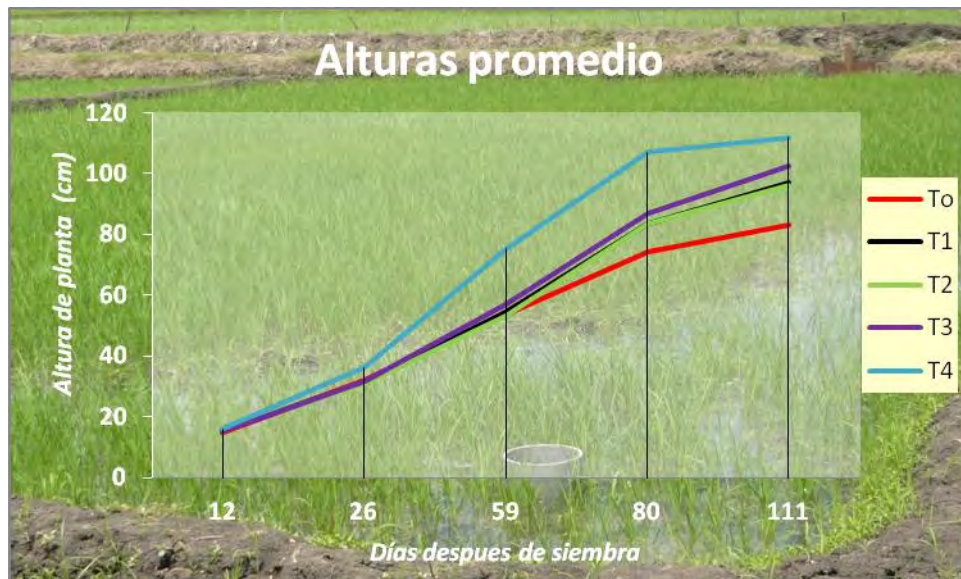


Figura 47 Comportamiento de alturas de plantas en los diferentes tratamientos, Centro de Experimentación del Arroz TAINIC.

8.3.2.1.2 Longitud de panícula (PnL)

En el análisis ANDEVA realizado indica que no hubo diferencias significativas en los tratamientos en estudio, siendo el tratamiento T₄ el que presenta mayor longitud de panícula con 26,05 cm y el tratamiento que obtuvo la menor longitud corresponde al T₂ con 24,15 cm. Los tratamientos T₀, T₁ y T₃ son estadísticamente iguales entre sí (Figura 49). Siendo la longitud de panícula el primer factor determinante en el rendimiento (León, 2000).

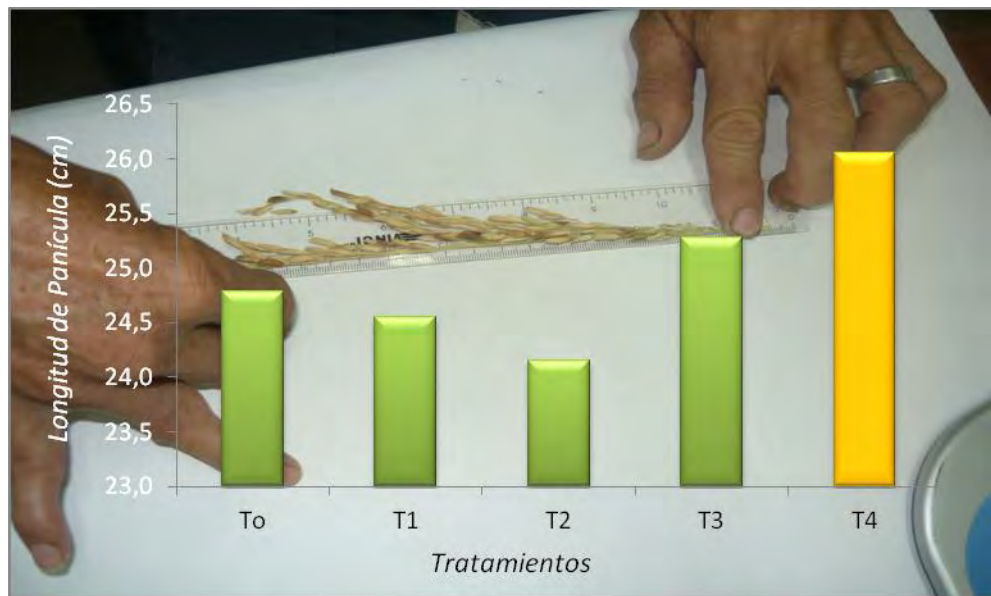


Figura 48 Longitud de panícula (LPnL) para los diferentes tratamientos. Diciembre, 2011

Según las características agronómicas de la variedad INTA Dorado, la longitud de panícula es de 23,6 cm, por lo que se puede inferir que en todos los tratamientos bajo las condiciones de estudio superan el valor de esta variedad. Soto (1991), tomado de Oviedo y Treminio 1998, afirma que la longitud de la panícula varía entre 10 y 40 cm respectivamente, aunque la mayoría de las variedades comerciales están entre 20 y 24 cm de largo respectivamente, los mismos autores remiten a Chavarría, 2000.

8.3.2.1.3 Número de granos por panícula

Los resultados del análisis de Varianza indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos, siendo tratamiento T₀ el de mayor número de granos por PnL con 147 granos y el de menor número de granos corresponde al tratamiento T₄ con una media de 124,33 granos (Tabla 33). Los tratamientos T₂, T₃ y T₁ se encuentran entre los promedios de 137,33, 133,83 y 132,50 respectivamente, siendo para Variedad INTA Dorado según sus características agronómicas de 135 granos por panícula. El número de granos

está directamente relacionado con la absorción del nitrógeno en su forma de N nítrico ya que se incrementa el número de granos por panículas (INIA, 2007).

Tabla 33 Análisis estadísticos para la variable número de granos por PnL

Test Duncan Alfa 0.05				
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
To	147,00	12	8,23	A
T2	137,33	12	8,23	B
T3	133,83	12	8,23	B
T1	132,50	12	8,23	B
T4	124,33	12	8,23	C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

8.3.2.1.4 Porcentaje de granos buenos

Los resultados del análisis estadístico para % de granos buenos indican que todos los tratamientos se comportaron de igual manera según los volúmenes de agua. Este comportamiento puede atribuirse al potencial genético de la variedad del INTA. El mayor porcentaje lo obtuvo el T2 con 78,82 % y el de menor valor el To con 71,49 % de granos buenos.

Tabla 34 Resultados de análisis para la variable % de granos buenos

Test Duncan Alfa 0.05				
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T2	78,82	10	2,38	A
T4	75,45	10	2,38	A
T3	75,31	10	2,38	A
T1	73,45	10	2,38	A
T0	71,49	10	2,38	A

8.3.2.1.5 Peso de 1000 granos en grs (P_{1000G})

El tratamiento T₄ presentó mayor peso en los 1000 granos con un promedio de 29,28 grs, T₃ con 19,59 grs, T₀ con 19,01 grs, T₂ con 18,56 grs y el de menor peso corresponde a T₁ con 18,56 grs. El peso promedio de esta variedad equivale a 25 grs (INTA, 2009) y en otros estudios se ha reportado un peso de 28,8 grs (Lira R & Ruíz E, 2005), de manera que solamente el tratamiento T₄ cumple con el peso. Se puede atribuir el peso del grano a la disponibilidad de los nutrientes de K y P.

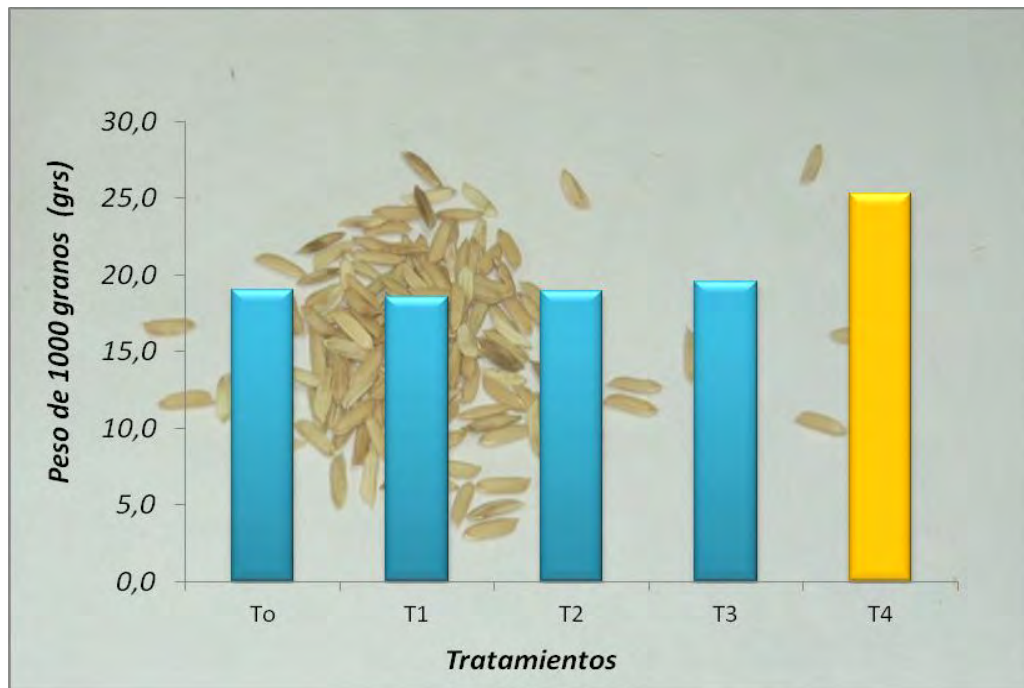


Figura 49 Peso de 1000 granos en grs para los diferentes tratamientos, Diciembre 2011.

8.3.2.1.6 Rendimiento de arroz en granza o Paddy

Los resultados del análisis de Duncan con un $\alpha=0,05$ indican que existe diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 35). El tratamiento T₄ obtiene el mayor rendimiento con un promedio 3263,10 kg.ha⁻¹ y el de menor el valor corresponde al tratamiento T₀ 702,97 kg.ha⁻¹. Los tratamientos T₃, T₂ y T₁ con valores promedios de 2046,1 kg.ha⁻¹, 1849,4 kg.ha⁻¹ y 1731,9 kg.ha⁻¹ con valores estadísticamente iguales entre sí. En estudios anteriores el INTA

Dorado obtuvo un rendimiento de $3506 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, (Lira R & Ruíz E, 2005) y $4504,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Oviedo R & Treminio H, 2008). El promedio nacional para el ciclo 2011-2012 en arroz bajo riego según MAGFOR fue de $3130,45 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (MAGFOR, 2011), siendo solamente el tratamiento T_4 el tratamiento dentro de los parámetros de rendimiento admisibles a pesar de los factores climáticos que provocó pérdidas en otras parcelas entre el 30 y 80%.

Se le atribuye el mejor rendimiento al tratamiento T_4 debido a que bajo estas condiciones, el cultivo puede absorber mejor los nutrientes por lo que se desarrollaron mejor las plantas y por tanto hubo mayor peso en el grano.

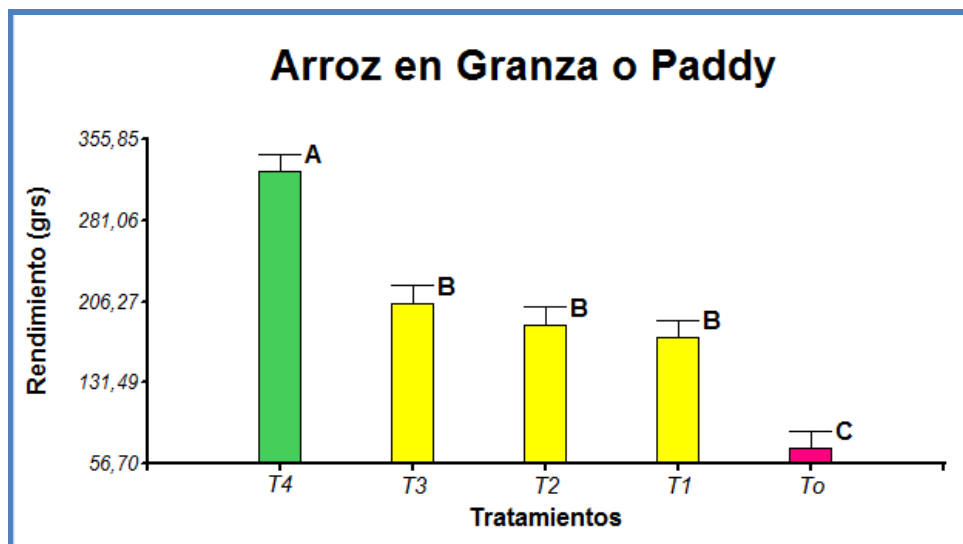


Figura 50 Rendimiento en granza o Paddy en los diferentes tratamientos, Diciembre 2011.

Tal como se demuestra mediante los contrastes ortogonales realizados (Tabla 36), el contraste ortogonal realizado entre el testigo (T_0) y T_1 (THS) y el T_2 (1 pulgada de agua) no se encuentran diferencias significativas entre ellos. Por otra parte el contraste ortogonal realizado entre el testigo y T_3 (2 pulgadas de agua) y el T_4 (3 pulgadas de agua) se encontraron diferencias significativas, lo cual demuestra que existe un mayor rendimiento por influencia del tratamiento T_3 y T_4 .

Tabla 35 Significancia estadística de componentes de rendimiento en los diferentes tratamientos aplicando prueba de Duncan

	Altura	Long. PnL	No. grano x PnL	% granos buenos	Rendimiento Kg/ha
Tratamientos	*	NS	NS	NS	**

NS: No significancia

* Significancia

** Altamente significativo

Tabla 36 Contrastes ortogonales para la variable rendimiento en los diferentes tratamientos de estudio

Contrastes						
Tratamiento	SC	gl	CM	F	p-valor	
(1) To vs T1	689,96	1	689,96	0,27	0,6048	NS
(2) To vs T2	4 934,87	1	4 934,87	1,49	0,1702	NS
(3) To vs T3	117 227,99	1	117 227,99	46,16	<0,0001	*
(4) To vs T4	52 935,55	1	52 935,55	20,84	<0,0001	*
Total	334 144,72	4	334 144,72	32,89	<0,0001	*

8.3.3 Componente de Calidad Industrial

La calidad industrial es el conjunto de atributos físicos, químicas y biológicas en el grano que identifican al grano (Ospina M, 2002), como el color, forma, temperatura, humedad peso de la cascarilla, contenido de impurezas, granos dañados, dureza, entre otros. Los resultados de rendimiento de pilada, (entendiéndose como el arroz entero y quebrado) con respecto a la muestra de laboratorios sin impurezas, indican que para el tratamiento T₄ fue quien obtuvo el mayor porcentaje con 79,37 % y el de menor valor lo obtuvo el T₁ con 72,22 % (Tabla 37). Comparando con análisis de PAI % realizados variedad INTA Dorado fue del 80,39 % (Lira R & Ruíz E, 2005), indica que se encuentra dentro de los parámetros establecidos en campo. El tratamiento que obtuvo el mayor peso en arroz oro o masa blanca fue el tratamiento T₄ y el de menor valor fue el tratamiento T₁. Finalmente el tratamiento que obtuvo mayor calidad

de grano entero/quebrado fue el T₀ con 86/14 seguido de T₁ y T₄ con una calidad de 82/18.

Tabla 37 Calidad industrial en los diferentes tratamientos

Tratamientos	Rendimiento de Pilada				Índice de Pilada			Calidad E/Q
	M (gr)	PN (grs)	PAI (grs)	%	PAO	PAE	%	
T ₀	100	92,44	73,03	79,00	63,58	52,86	83,14	86/14
T ₁	100	96,75	74,71	77,22	67,00	53,48	79,82	82/18
T ₂	100	95,83	74,44	77,68	65,70	49,11	74,75	78/22
T ₃	100	96,24	75,34	78,28	67,07	55,24	82,36	85/15
T ₄	100	98,50	78,18	79,37	71,32	57,31	80,36	82/18

M (Muestra, peso bruto en granza), **PN** (Peso neto en granza), **PAI** Peso de Arroz integral, **PAE** Peso de Arroz entero, **PAO** Peso del arroz oro, **Calidad E/Q** Calidad de enteros / Quebrados (% de grano entero obtenido después de la elaboración del arroz)

Análisis físico

El tratamiento que obtuvo mayor presencia de daños en el grano fue el T₀ principalmente por arroz yesoso, sin embargo de acuerdo a los mecanismos de valoración para los factores de calidad para el arroz pilado tipo largo según normas establecidas por CONARROZ (Anexo 11), los resultados obtenidos para todos los tratamientos se encuentran por debajo de los porcentajes máximos permisibles para ser objetados (Tabla 38).

Tabla 38 Análisis físicos realizados al arroz granza para los diferentes tratamientos en estudio

Tratamientos	Arroz Rojo	Arroz Yesoso	Daños x Recalentado	Daños x Insectos	Daños x Hongos	Daños Total
T ₀	0	2,84	0,24	0	0,44	0,68
T ₁	0	2,2	0	0,4 ⁽¹⁾	0	0,4
T ₂	0	2,16	0,32	0,8 ⁽²⁾	0	1,12

T₃	0	1,56	0	0	s/p	0
T₄	0	2,08	0	0	0,44	0,44

⁽¹⁾: Presencia de tres daños; yeso, hongos, recalentado. Todos están bajo los límites permisibles

⁽²⁾: Payana dañada por insecto CHINCHE

s/p: 4 granos con daños, sin peso en la báscula (0,01 gr de precisión)

8.4 Beneficio – Costo

8.4.1 Costos de manejo agronómico

Los costos para el manejo de una manzana en el cultivo del arroz corresponden a US\$ 1208,88 dólares lo que equivale a US\$ 1704,52 por hectárea. Estos costos incluyen las actividades de mano de obra e insumos (Tabla 39), (Anexo 12)

Tabla 39 Costos de producción por mz del cultivo del arroz - INTA Dorado

ACTIVIDAD	TOTAL US\$	ACUMULADO US\$
Preparación de suelo	316	316
Siembra	210,43	579,04
Manejo Agronómico	540,79	1 119,8
Cosecha	89,05	1 208,88

8.4.2 Costos por aplicación de agua

La determinación se realizó por metro cúbico de agua, de modo que luego se pueda multiplicar por los metros cúbicos llevados a cada parcela.

Costos de energía para el bombeo de 1 m³

Se registraron (medición en campo) 12 kw –hora para bombear 92.86 m³ de agua. Considerando las pérdidas por eficiencia del sistema de 40%, corresponde a un total de 130 m³ de agua en un tiempo de 1,41 horas. De manera que el volumen extraído en una hora es 92,19 m³/h.

De lo anterior se deduce que por cada Kw/h de energía, es posible bombear 7,68 m³ de agua.

Si la tarifa para el riego en este momento está definida en: C\$ 2,38 el Kw/h. El costo de energía para bombear 1m³ es de: C\$ 0,309, equivalente a **US\$ 0,0013**

Amortización del sistema pozo bomba para 1 m³

Costo del sistema pozo bomba se estima en US\$ 43478,26

Amortización anual para 25 años de vida útil es: US\$ 1739,13

Se realizan dos campañas anuales de riego: US\$ 869,56

Se riegan 20 ha riegos en cada campaña: US\$ 43,48

Tomando el promedio de volúmenes por ha incluyendo pérdidas por el sistema: 30593,6 m³

La amortización del sistema Pozo-bomba es equivalente a US\$ 0,0014 por cada metro cúbico.

Componente del mantenimiento del sistema por 1 m³

El costo anual de mantenimiento del sistema es de: 434,78

En dos campañas anuales: US\$ 217,39

Entre las 20 ha: US\$ 10,86

Entre el promedio de aplicación de agua de 30593,6 m³ equivale a US\$ 0,00035 dólares es el costo por cada metro cúbico.

El costo de llevar 1 m³ de agua a la parcela es: US \$0,0014

Los costos de los componentes de amortización y mantenimiento del sistema del equipo de bombeo para el cultivo del arroz, son generalmente costos ocultos. Los costos de cada tratamiento de estudio (Tabla 40), muestran que el T4 obtiene el mayor costo con 2058 US\$ por ha, superando a T3 en 43,29 US\$, a T2 69,84 US\$ y finalmente con respecto al T1 US\$ 79,85 que fueron los tratamientos que requirieron de aplicación de agua.

Tabla 40 Costos por cada tratamiento en dólares

Parámetro	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
a) No. de Riegos	0	27	27	27	27
b) Vol. de agua por riego en m ³	0	20,81	21,57	23,61	26,87
c) Aplicación total m ³ (a*b)	0	561,87	582,39	637,47	725,49
d) Costo-Traslado del agua 0,014 US\$ (0,014*c)	0	7,30	7,57	8,29	9,43
e) Proyectado a una ha (34,86*d)	0	274,22	284,23	311,11	354,07
f) Costo de manejo Agronómico	1 704,52	1 704,52	1 704,5	1 704,5	1 704,52
g) Suma de Costos US\$	0	1 978,74	1 988,75	2 015,63	2 058,59

8.4.3 Cálculo de beneficio

Tabla 41 Beneficios

Tratamientos	Precio x qq arroz en granza US\$	Precio x qq arroz oro US\$	Proyección Arroz granza qq/ha	Precio arroz granza US\$	Precio arroz oro US\$
To	17,39	34,78	15,50	269,55	4177,95
T1	17,39	34,78	38,19	664,12	25 362,90
T2	17,39	34,78	55,24	960,62	53 064,85

T3	17,39	34,78	40,78	709,16	28 919,72
T4	17,39	34,78	71,95	1 251,21	90 024,60

8.4.4 Beneficio – Costo en parcelas en arroz

Tabla 42 Relación beneficio - costos por tratamientos para 1 ha

	T₀	T₁	T₂	T₃	T₄
Beneficio Arroz Paddy	303,26	747,20	1080,78	797,87	1407,72
Costo	1 704,52	1 978,74	1 988,75	2 015,63	2 058,59
B/C	0,17	0,37	0,54	0,39	0,68
Utilidades	-1401,26	-1231,54	-907,97	-1217,76	-650,87

El resultado costo beneficio es menor que 1, en todos los tratamientos lo que significa que los egresos (costos) son mayores a los ingresos (beneficios) en consecuencia bajo estas condiciones de producción no es rentable producir arroz, siempre y cuando se tomen en cuenta los componentes de amortización y mantenimiento del sistema de riego. Sin embargo es importante destacar que la producción se dio en un ambiente en que las parcelas se infestaron con hongos y bacterias debido a la inundación que el Centro de Investigación TAINIC. En esta campaña el Centro de Investigación TAINIC, tuvo una pérdida entre el 50 y 80% de la producción (INTA 2011) debido a la presencia del evento extremo Tormenta E-12 ocurrido a los 69 días después de siembra.

IX.- CONCLUSIONES

1. Las aguas subterráneas en la zona de estudio, más específicamente en el área experimental del TAINIC (Centro Experimental del arroz Taiwán Nicaragua) se encuentran libres de agroquímicos. Cuando este recurso ha sido utilizado para riego, su calidad puede ser alterada por el manejo de agroquímicos inherentes al proceso productivo que representan un peligro a los cuerpos de agua donde son descargados, cuyo peligro se incrementa ante mayores volúmenes de agua.
2. De los diferentes volúmenes de agua manejados en las parcelas experimentales, el manejo de menores volúmenes de agua en el cultivo del arroz (T_1), propicia mayores concentraciones de compuestos como Clorpirifos y Cipermetrina en el agua, suelo y consecuentemente en el grano. Sin embargo las concentraciones observadas en el grano de estos compuestos están por debajo de las normas establecidas por CODEX Alimentarios.
3. La calidad del agua (composición química) del agua en las parcelas experimentales no varía y es independiente del volumen manejado en las diferentes parcelas. Todas las concentraciones se encuentran por debajo de los límites permisibles para riego normados por la FAO los cuales no representan riesgo para el cultivo.
4. Los volúmenes de agua provocan diferentes comportamientos en los minerales al contacto con el suelo. A menores volúmenes de agua existe un potencial peligro de salinización.
5. A pesar que la concentración de As observada en el agua utilizada para el riego del cultivo del arroz es baja ($< 3,0 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$), puede ser utilizada para el

riego del cultivo del arroz. Se comprobó que este elemento es absorbido por la planta y acumulado en el grano cuyas concentraciones se encuentran por debajo de las normas establecidas por diferentes países como: China ($0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$), Alemania (5 mg.kg^{-1}) y Malasia (1 mg.kg^{-1}), Australia (1 mg.kg^{-1}) lo cual indica que no son letales para el consumo humano.

6. El comportamiento en los diferentes tratamientos en cuanto a las relaciones catiónicas de bases intercambiables no presentaron deficiencias de estos elementos en los suelos de siembra del cultivo del arroz.
7. El estudio demuestra que la aplicación de 3 pulgadas de agua es una norma adecuada para el cultivo del arroz en el valle de Sébaco respecto a la norma usada mayores de 8 pulgada.
8. Con una reducción de agua del 35 – 45% con respecto a las formas tradicionales de producción del cultivo del arroz, se puede incrementar el rendimiento hasta un 5,9%, superando del promedio nacional de 67,68 qq/ha durante el ciclo 2011-2012.

RECOMENDACIONES

1. Dar a conocer los resultados de este estudio al sector productor de arroz, universidades e instituciones estatales vinculadas al manejo del agua y producción de alimentos, para sensibilizar sobre las buenas prácticas de riego en el rubro del arroz en Nicaragua y estimular el desarrollo de nuevas investigaciones en este campo.
2. Se recomienda a la Autoridad Nacional del Agua (ANA), vigilar los volúmenes y calidad del agua utilizada en el cultivo de arroz, ya que la

calidad de este recurso puede ser alterada por las prácticas agrícolas en el cultivo del arroz. En este escenario las aguas drenadas desde las áreas cultivadas con arroz podrían estar generando un impacto ecológico en el cuerpo de agua receptor.

3. Se recomienda a instituciones como MIFIC, MINSA, MAGFOR y otras, vigilar la inocuidad del grano de arroz asociada a la presencia de agroquímicos y al Arsénico en aquellas zonas del país en donde los niveles de concentración de este metaloide sean altos en las aguas utilizadas para el cultivo del arroz.
4. Realizar validación tecnológica del nivel de agua de 3 pulgadas, en fincas de productores de arroz, a fin que se promueva reducción de la demanda de agua en el cultivo del arroz.
5. Promover la adopción de una nueva cultura de producción de cultivos, haciendo énfasis en el uso de productos biológicos e incorporar buenas prácticas productivas donde se apliquen correctamente los agroquímicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirano Espinoza, M. (2005). *Distribución de la contaminación natural por arsénico en las aguas subterráneas de la subcuenca suroeste del Valle de Sébaco, Matagalpa-Nicaragua*. Nicaragua: Trabajo de Tesis de Maestría en Calidad de Agua, CIRA-UNAN.
- Auge, M. P. (2006). *Agua subterránea, deterioro de calidad y reserva*. Argentina: Facultad de ciencias exactas y naturales.
- Ayers, R. S., & Wescot, D. W. (1994). *Water quality for agriculture*. Obtenido de FAO: Riego y Drenaje:
<http://www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E00.HTM>
- Ayers, R., & Westcot, D. (1994). *La calidad del agua para la agricultura* (Vols. FAO: Riego y Drenaje, No. 29). Roma: FAO.
- Ayers, R., & Westcot, R. (1984). *Calidad del agua para la agricultura*. FAO, 29. Roma.
- Barragne Bigot, P. (2004). *Contribución al estudio de cinco zonas contaminadas naturalmente por arsénico en Nicaragua*. (O. Moraga, Ed.) Managua, Nicaragua: Publicación realizada por Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF).
- Blanco Sandoval, J. O. (2003). *Manejo integral de suelos con énfasis en el cultivo del arroz*. Proyecto PRONATTA "Capacitación Tecnológica Integral dirigida a los pequeños productores y asistentes técnicos del sistema de producción arroz del Departamento Norte de Santander. Colombia: Impresión y encuadernación Offset La Opinión, S.A.
- Bojórquez, F. (2008). *Parámetros de agua de riego*. Obtenido de Hortalizas:
<http://www.hortalizas.com/articulo/21824>
- Bravo Duran, V. (20 de Julio de 2012). *Evaluación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas por uso de plaguicidas en la Península de Nicoya, con énfasis en 2,4-D*. Obtenido de <http://www.posgrado.una.ac>.
- Camacho Ferre, F. (2003). *Técnicas de producción en cultivos perotejidos*. Almeria - España: Caja Rural Intermediterránea (Cajamar).

- Cánovas Cuenca, J. (1986). *Calidad agronómica de las aguas de riego* (3era. Edición ed.). Madrid: SEA.
- Carbonell Barrachina, A. A., Burló Carbonell, F. M., & Mantaix Beneyto, J. J. (1995). *Arsénico en el sistema suelo-planta; Significado ambiental*. Gráficas Vidal Leuka, S.A.
- CATIE. (1985). *Conceptos metodológicos sobre investigación y desarrollo de tecnología para sistemas de producción de cultivos* (Vol. Volumen III). Costa Rica.
- Chandler, R. F. (1984). *Arroz en los trópicos: Guía para el desarrollo de programas nacionales*. San José, Costa Rica: IICA/Serie investigación y desarrollo. No. 12.
- Chaudhary, R., Nanda, R., & Tran, D. (2003). *Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz*. (FAO, Ed.) Roma: Departamento de Agricultura.
- CIAT. (1980). *Crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz*. (M. L. C. de Posada, Ed.) Cali, Colombia: Editorial XYZ.
- CIAT. (1983). *Metodología para obtener semillas de calidad. Arroz, Frijol, Maiz, Sorgo*. (F. Motta, Ed.) Cali, Colombia: Editorial X Y Z.
- CIAT. (1983). *Sistema de evaluación estándar para arroz* (Segunda ed.). (M. Rosero, Trad.) Calí, Colombia: Artes gráficas, CIAT.
- CIAT. (2010). *Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina* (Vol. I). (V. Degiovanni B, C. Martínez R, & F. Motta O, Edits.) Calí, Colombia: Publicación CIAT No. 370.
- CIAT-IRRI. (1992). *Arroz en América Latina: Mejoramiento, Manejo y Comercialización*. (F. Cuevas Pérez, Ed.) Cali, Colombia: Publicación CIAT No. 23.
- CODEX . (2011). *Documento de debate sobre el Arsénico en el arroz*. Comisión del CODEX ALIMENTARIOS, FAO/OMS, Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. Comité del CODEX sobre contaminantes de los alimentos, Roma Italia.

- creceNegocios. (18 de Abril de 2012). <http://www.crecenegocios.com/>. Obtenido de www.crecenegocios.com/el-analisis-costo-beneficio/
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (2001). *Hidrología Subterránea* (2da. Edición ed., Vol. I). Omega.
- Díaz-Báez, M. C., Bustos López, M. C., & Espinosa Ramírez, A. J. (2004). *Pruebas de toxicidad acuática; fundamentos y métodos*. (Primera edición. ed.). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Unibiblos.
- Domènech, X., & Peral, J. (2006.). *Química Ambiental de sistemas terrestres*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
- EFE. (2007). *Altos niveles de arsénico en cultivos de arroz perjudican la salud*. Obtenido de Comunidad virtual de la sociedad cubana de bioingeniería: <http://portalinfomed.sld.cu/socbio>
- END. (30 de Julio de 2007). El arroz nicaragüense. (E. Sanchez, Ed.) *Economía. El Nuevo Diario*.
- END. (15 de Diciembre de 2007). Sube consumo percapita del arroz en Nicaragua. *El Nuevo Diario*.
- Estrada, F. L. (2003). *Estudio preliminar de la incidencia del arsénico en aguas subterráneas con relación al medio físico natural en la región noroeste y sureste de Nicaragua. Período 2001-2002*. Nicaragua: Trabajo de tesis. UNI- PIDMA.
- EXTOXNET. (1996). *El diazinón*. Recuperado el Marzo de 2011
- FAO - MIFIC. (2002). *Estado actual de la legislación alimentaria nacional y su comparación con las normas del CODEX Alimentarius*. Nicaragua.
- FAO. (1997). *Codex Alimentarius. Joint FAO/WHO Food Standards Programme*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/W5975S/W5975S00.htm>
- FAO. (2000). *Evaluación de la contaminación del suelo: Manual de referencia*. Roma: <http://www.fao.org/docrep/005/x2570s/X2570S00.htm#TOC>. Obtenido de Documento de la FAO: <http://www.fao.org/docrep/005/x2570s/X2570S00.htm#TOC>

- FAO. (16 de Octubre de 2002). *Agua y Cultivos*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/005/Y3918S/y3918s00.htm#TopOfPage>
- FAO. (2003). *Descubrir el potencial del agua para la agricultura*. Obtenido de Depósito de documentos de la FAO: <http://www.fao.org/DOCREP/006/Y4525S/Y4525S00.HTM>
- FAO. (2003). *Guía para identificar las limitaciones de campo en el cultivo de arroz*.
- FAO. (2010). *Agricultura Climáticamente Inteligente. Políticas, prácticas para la financiación de la seguridad alimentaria, adaptación y mitigación*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia: División de comunicación FAO.
- FAO. (2010). *FAOWATER*. Obtenido de http://www.unwater.org/wwd10/downloads/WWD2010_FAQS_ES.pdf
- FAO. (Marzo de 2012). *Boletín de la Seguridad Alimentaria y Nutricional*. Obtenido de <http://www.rlc.fao.org/es/temas/lucha-contra-hambre/hambre-y-precios-de-los-alimentos/boletin-trimestral/2012-01/>
- Fassbender, H. W. (1984). *Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Costa Rica: Trejos.
- Flores, Y. (2004). *Criterios hidrogeológicos para la formulación del plan de gestión en el acuífero del valle de Sébaco*.
- Franquet Bernis, J. M. (2004). *Variedades y mejora del arroz (Oriza sativa, L)* (Primera Edición ed.). Cataluña: Imprime CopyRapid, Tortosa.
- González Tapia, R. (2004). *Estudios sobre la calidad del agua y peligro de contaminación de los pozos de abastecimiento público, ríos Viejo y Grande de Matagalpa en el valle de Sébaco, Matagalpa, 2002*.
- González, R. (2004). *Estudio sobre la calidad del agua y peligro de contaminación de los pozos de abastecimiento público, ríos Viejo y Grande de Matagalpa en el valle de Sébaco, Matagalpa, 2002*. Nicaragua: Tesis para optar grado de Master en Ciencias del Agua.

- Heinkens, A. (2006). *Arsenic contamination of irrigation water, soil and crops in Bangladesh; Risk implications for sustainable agriculture and food safety in Asia*. Bangkok: PUBLICACIÓN RAP 2006/20.
- Herrera, F., Velasco, C., Denen, H., & Ricardo, R. (1994). *Fundamentos de Análisis Económico. Guía para la Investigación y Extensión Rural*. informe Técnico No 232, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE, Turrialba-Costa Rica.
- HISPAGUA. (2007). Sistema español de información sobre el agua.
- Illa, F. SDTA. Recuperado el 2011, de sitio Web: <http://www.ivia.es/pdf/revista/tecnologia/19tema41.pdf>.
- INE. (2007). *Datos generales - Clorpirifos*. Obtenido de http://www2.ine.gob.mx/sistemas/plaguicidas/pdf/clorpirifos_etil.pdf
- INETER, NORAD. (1997). *Plan de Ordenamiento territorial de los departamentos de Jinotega y Matagalpa*. Nicaragua.
- INFOJARDIN. (s.f.). *INFOJARDIN*. Recuperado el Febrero de 2011, de <http://articulos.infojardin.com/articulos/Nutrientes.htm>
- INIA. (2000). *Técnicas de diagnóstico de fertilidad del suelo, fertilización de praderas, cultivos y mejoramiento de praderas*. (R. Bernier, & G. Bartolameolli, Edits.) Centro Regional de Investigacion Remehue.
- INIA. (2007). Arroz, Manejo Tecnológico. En R. J. Alvarado A, & R. Hernaiz, *Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA No 162* (pág. 180). Chillán, Chile: Trama Impresores S.A.
- INIFOM. (2011). *Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal*.
- Instituto geológico y minero de España. (2007). *Hidrología y Aguas subterráneas* (Vol. I). (A. Pulido Bosch, J. López-Geta, & G. Ramos González, Edits.) Madrid-España: Publicaciones del Instituto minero de España.
- INTA. (2005). *Validación de cuatro genotipos promisorios de arros de alto rendimiento y calidad industrial en los valles de: Sébaco, Pantasma y Jalapa*. Técnico, INTA-FUNICA, Nicaragua.
- INTA. (2009). *Guía Tecnológica*. Nicaragua: INTA.

- Kass, D. C. (2007). *Fertilidad de Suelos* (2da reimpresión de la 1era ed.). Costa Rica: EUNED.
- Lira R, E. J., & Ruíz E, L. E. (2005). *Prueba avanzada de rendimiento de nueve líneas y una variedad comercial de arroz (Oriza Sativa L.), bajo condiciones de riego en San Isidro, Matagalpa. Epoca lluviosa, 2005*. Nicaragua: Trabajo de Tesis para optar a Ingeniero Agrónomo.
- López Piñeiro, A. (13 de Julio de 2011). *SINC*. Obtenido de Ciencias Naturales: Ciencias Agrarias: <http://www.agenciasinc.es/Noticias/Investigadores-de-Extremadura-proponen-el-cultivo-de-arroz-sin-inundar-la-tierra>
- MAGFOR. (2011). *Plan Nacional de Producción 2011-2012*. Resumen, Ministerio de Agricultura y Forestal, Nicaragua.
- MAGFOR. (2012). *Plan Nacional de Producción - Plan de Producción 2012-2013*. Ministerio de Agricultura y Forestal, Nicaragua.
- Mass, E. V. (1984). *Salt tolerance of plants. applied Agricultural Research*.
- Mencías Rodríguez, E., & Mayero Franco, L. M. (2000). *Manual de tecnología básica*. España: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Morell, I., & Candela, L. (1998). *Plaguicidas. Aspectos ambientales, analíticos y toxicológicos*. Castelló de la Plana. España.: Publicaciones de la Universidad Jaume I (Castelló).
- Mujeriego. (1990). *Manual práctico de riego con agua residual municipal regenerada*. (U. P. Cataluña, Ed.) Barcelona.
- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Obtenido de Aguas, Saneamiento y Salud (ASS):
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- OMS. *Hojas de información sobre sustancias químicas*. Obtenido de Agua, Saneamiento y Salud:
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines/es/.
- ONGLEY, O. (1997). *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos*. . Recuperado el 2011, de FAO:
<http://www.fao.org/docrep/W2598S/W2598S00.htm>

- Ortega Molina, M. J. (2002). *Evaluación de 6 líneas de arroz (Oryza sativa L.), y tres variedades comerciales bajo el sistema de riego, en dos épocas de siembra, en Malacatoya*. Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.
- Ospina Machado, J. E. (2002). *Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos*. Bogota: Unidad de publicaciones de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.
- Ospina Machado, J. E. (2002). *Características físicos mecánicas y análisis de calidad de granos*. Colombia: Unidad de publicaciones de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.
- Oviedo R, J. A., & Treminio H, J. L. (2008). *Evaluación agronómica de nueve líneas avanzadas de arroz (Oriza Sativa L.) de riego, en el valle de Sébaco, Matagalpa*. Managua, Nicaragua: Tesis para optar al grado de Ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria.
- Pacheco, J., & Cabrera, A. (Mayo-Agosto de 2003). Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Ingeniería-Revista Académica*, 7(002). Mérida, México: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Pedroza P, H., & Dicovskyi, L. (2006). *Sistema de análisis estadístico con SPSS*. Managua, Nicaragua: IICA, INTA.
- PISSQ. (1993). *CIPERMETRINA. Guía para la salud y Seguridad No. 22*. México: Publicado por la Organización Mundial de la Salud para el Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias químicas.
- PNUD/GEF. (2008). *Mejoramiento del manejo y de la contención de la liberación de pesticidas COPs en Nicaragua*. Proyecto tamaño mediano (MSP). Solicitud de Financiamiento bajo fondo fiduciario, Nicaragua.
- Pocasangre, L. (Octubre 2011). *Estado actual de la producción de arron en LAC*. Costa Rica: I Taller Internacional del SRI-SICA Earth.
- PPDB. (21 de Diciembre de 2011). *Lista de pesticidas: Clorpirifos, Cipermetrina*. Obtenido de <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/Reports/154.htm>
- PPI,PPI,IRRI. (2000). Arroz: Desórdenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes. En A. Dobermann, & T. Fairhurst, *Colección de Manuales de Campo* (J. Espinosa, Trad.).

- Repetto, M. (1995). *Toxicología avanzada. Capítulo 14, Actualización de la toxicología de los plaguicidas*. Madrid España: Ediciones Díaz de Santos.
- Requena Mullor, M. d. (2009). *Estudio Andaluz de prevalencia de diversas patologías en áreas con distinto nivel de utilización de plaguicidas*. Granada, España: Editorial de la Universidad de Granada.
- Roca, N., Pazos, M. S., & Bech, J. (06 de 04 de 2007). Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zin en suelos NO Argentino. *Ciencia del Suelo*.
- Rocha, A. (2012). *Metodologías docentes para una mejor comprensión*. Managua: UNIVERSITARIA.
- RPP, G. A. (27 de Agosto de 2009). *Cuida el Agua*. Obtenido de <http://www.radio.rpp.com.pe/cuidaelagua/nueva-tecnica-de-cultivo-permite-ahorro-de-agua-y-prevencion-de-enfermedades/>
- Rus, G. d. (2008). *Coste-Beneficio. Evaluación económica de políticas y proyectos de inversión* (Tercera edición actualizada ed.). España: Editorial Ariel, S.A.
- SAG. (2003). *Manual técnico para el cultivo de arroz (Oriza Sativa)*. Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG), Comayagua. Honduras: Dirección de ciencia y Tecnología Agropecuaria.
- Santa Cruz, J. N. (1988). *Caracterización del recurso hídrico subterráneo con miras al riego complementario en la región NNE-Maicera típica-de la Provincia de Buenos Aires*. Buenos Aires: IICA.
- Trujillo Ramírez, O. I. (2009). *Análisis de pesticidas por cromatografía de gas. Un modelo operacional*. (Primera edición ed.). Colombia: Publicaciones Universidad Nacional de Colombia.
- Unidas, N. (s.f.). *Decenio Internacional para la acción "El agua fuente de vida" 2005-2015*. Obtenido de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- Veritas, B. (2008). *Manual para la formación en Medio Ambiente* (Primera edición ed.). España: LEX NOVA, S.A.

Anexo 1 Valores teóricos de pHc

Valores teóricos de pHc, para sustituir en la ecuación adj.SAR

Suma de concentración (meq/l)	$pk'2 - pk'c$	P(Ca+Mg)	p(Alk)
0.05	2.0	4.6	4.3
0.10	2.0	4.3	4.0
0.15	2.0	4.1	3.6
0.20	2.0	4.0	3.7
0.25	2.0	3.9	3.6
0.30	2.0	3.8	3.5
0.40	2.0	3.7	3.4
0.50	2.1	3.6	3.3
0.75	2.1	3.4	3.1
1.00	2.1	3.3	3.0
1.25	2.1	3.2	2.9
1.50	2.1	3.1	2.8
2.00	2.2	3.0	2.7
2.50	2.2	2.9	2.6
3.00	2.2	2.8	2.5
4.00	2.2	2.7	2.4
5.00	2.2	2.6	2.3
6.00	2.2	2.5	2.2
8.00	2.3	2.4	2.1
10.0	2.3	2.3	2.2
12.5	2.3	2.2	1.9
15.0	2.3	2.1	1.8
20.0	2.4	2.0	1.7
30.0	2.4	1.8	1.5
50.0	2.5	1.6	1.3
80.0	2.5	1.4	1.1

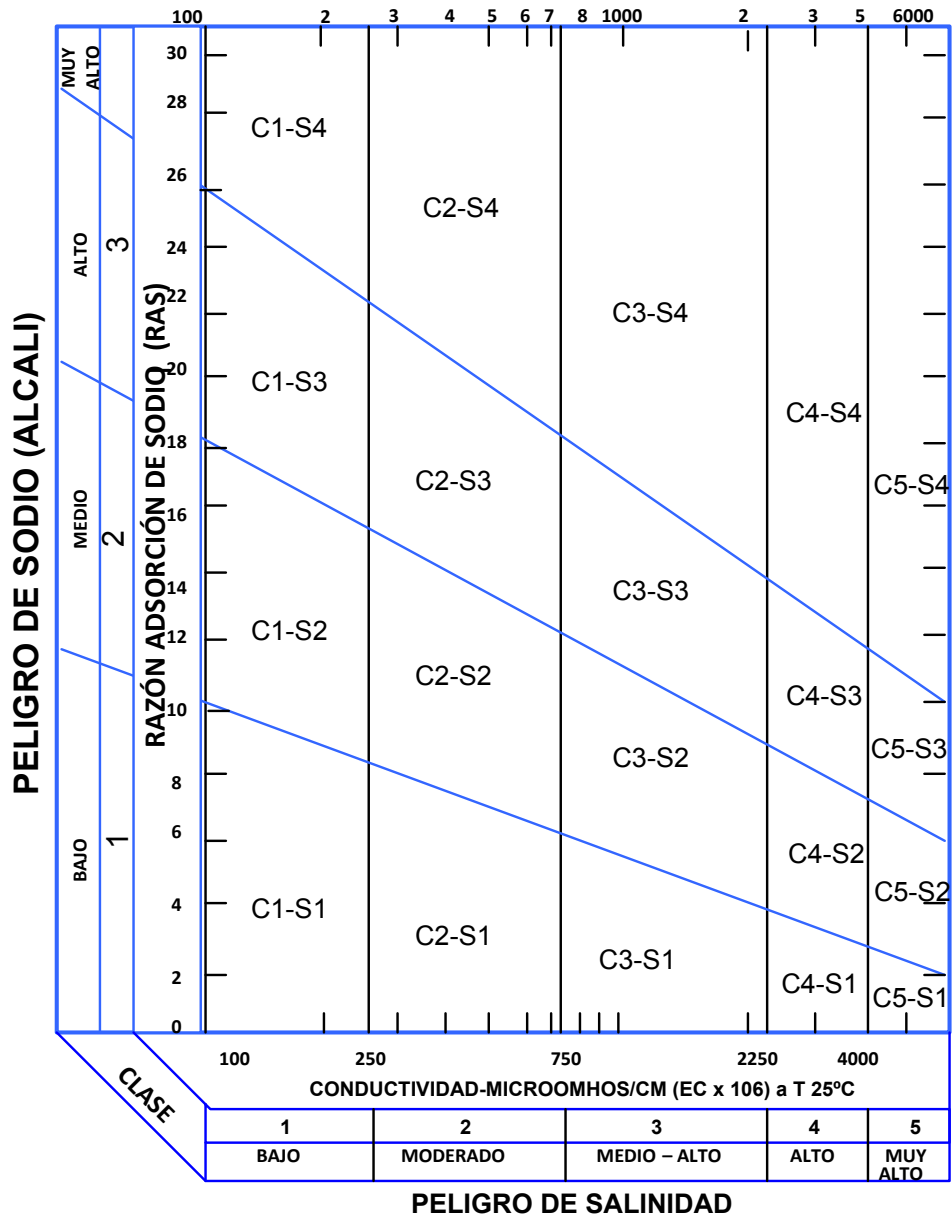
($pk'2 - pk'c$) se obtiene de la suma de Ca + Mg + Na en meq/l
 $p(Ca + Mg)$, se obtiene de la suma de Ca + Mg en meq/l
 $p(Alk)$, se obtiene de la suma de $CO_3 + CO_3H$ en meq/l

} Obtenidos del análisis del agua

Anexo 2 Nomograma de RAS

Nomograma de Relación de Adsorción de Sodio

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Mg^{2+} + Ca^{2+}}{2}}}$$



Clasificación del agua según Riverside 1954

<i>Tipos</i>	<i>Calidad y normas de uso</i>
C₁	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.
C₂	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C₃	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C₄	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C₅	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C₆	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S₁	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S₂	Agua con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario
S₃	Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S₄	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

Anexo 3 Plaguicidas prohibidos según acuerdo ministerial 23-001

19 Plaguicidas prohibidos a través del acuerdo ministerial No. 23-001,

Resolución ministerial 019-2008

NOMBRES GENÉRICOS	NOMBRES COMERCIALES
2,4,5 - T	Ac. Triclorofenoxiacético - Endrin
Aldrin	Aldrin, Aldrex, Aldrite
Clordano	Clordano, Octachlor
DDT	Dicloro difenil tricloroetano, DDT
Dibromocloropropano	Dibromocloropropano, DBCP, Nemagón, Fumazone,
Dieldrin	Percloropentaciclodecano, Declorano, Mirex
Dinoseb y sales	Dinoseb, Premerge, Aretit, Fuosit
Dodecacloro	Declorano, Perpecloropentaciclodecano, Mirex
Endrin	Endrin
Etiln-bromuro	Dibromuro de Etileno, Etilen Bromuro, EDB.
Etil Paration	Paration Etilico
Hexaclorobenceno	Hexaclorobenceno, HCB
Heptacloro	Heptacloro
Lindano	Hexaclorociclohexano, BHC, Lindano, Gamma-Col, Lintox
Pentaclorofenol	Pentaclorofenol
Metil Paration	Folido 45 CS, Penncap-M, Metil Paration 48 EC, Metil Paration 80 EC
Metamidofos	Tamaron 60 SL, Turbo 60 SL, MTD 60 SL, Monitor 60 SL
Toxafeno	Toxafeno

Plaguicidas de uso restringido (reevaluados), resolución ministerial 019-2008

Nombres genéricos	Nombres comerciales	Intervalos de seguridad (días)
Aldicarb	Temik 15 gr	90
Carbofuran	Furadan 5 gr., Furadan 10 gr., Rimafuran 10 gr., Cufuran 5 gr., Cofuran 35 SL.	60
Clorpirifos	Rimpirifos 5 gr.	7 - 21
	Rimpirifos 48 EC, Clorpirifos 48 EC, Lorsnext 48 EC, Lorsban 48 EC, Clorfos, Agromil	
Endosulfan	Thiodan, Thionex 35 EC, Endosulfan 35 EC, Barredor 35 WP.	1 - 7
Etropos	Mocap 10 gr.	60
	Mocap 15 gr.	
Fosfuro de Aluminio	Synfume 56 FT, Detia Gas Ext-t, Celphos 56 FT, Detia Plates 56 FT, Fumitox 56 FT, Gastion 57 FT.	5
Monocrotofos	Azodrin 60 SL, Monocron 60 SL, Monocrotofos 60 SL, Nuvacron 60 SL.	7 - 30
Metomil	Nudrin 90 SP, Lannate 90 SP, Methonex 90 SP, Kuik 90 SP, Metomil 90 SP.	3 - 14
Terbufos	Agrofos 12 gr., Counter 10 gr., Foratex 10 gr., Terbugran 10 gr., Agroment Terbufos, Disefos.	60
Paraquat	Rimaxone, Radex – D, Casaquat, Boa, Herbaxone, Gramoxone, Angloxone, Pilarxone, Bioquat, Preglone.	----

ARMONIZACIÓN DE BANDAS TOXICOLÓGICAS A NIVEL DE CENTROAMERICA Y PANAMÁ



Anexo 4 Información General - INTA Dorado

INTA DORADO PARA CONDICIONES DE RIEGO Y SECANO FAVORECIDO

Ventajas

Potencial de rendimiento de grano 140-160 qq/mz, aproximadamente 40% más que la variedad comercial Altamira-9.

Características agronómicas deseables por los agricultores (Buen vigor inicial, Tolerancia a enfermedades especialmente a Pyricularia, senescencia intermedia y buena Excursión de panícula).

Muchos productores de las zonas arroceras de riego incrementan su producción y disminuyen sus costos de producción de grano.

La calidad molinera de la variedad INTA DORADA, aumentan la rentabilidad y mejora la cristalinidad y largo del grano del cultivo de arroz.

La uniformidad de maduración fisiológica es buena, lo que favorece la calidad de la semilla, disminuye las aplicaciones de insecticidas en el control de plagas de la panícula y el manejo de Post-cosecha.

La rentabilidad de los productores de arroz en los sistemas de riego y secano favorecido es mayor con el uso de la variedad INTA DORADA.

Alta fertilidad de la panícula.

La calidad de grano trillado es superior a los estándares nacionales de arroz oro 80-20 de grano entero.

Restricciones

A madurez fisiológica es intermedia 120-125 días (5 días más que Altamira-9).

La resistencia al Acame es moderada. El desgrane de la panícula de INTA DORADA es intermedia.

DESCRIPCION DE LA TECNOLOGÍA

Características agronómicas de la variedad INTA DORADA

Vigor comercial	: Bueno
Días a flor	: 80-90
Altura de planta	: 92
Excerción de espiga	: 5-7 cm. (buena)
Densidad de espiga	: Intermedia
Color de la testa	: Amarillo
Longitud de espiga (cm.)	: 23.6
Capacidad de macollamiento	: Buena
Reacción al acame	: Moderadamente resistente
Reacción a Pyricularia	: Resistente
Peso de 1000 granos (g)	: 25
Número de granos/espiga	: 135
Días a cosecha	: 120-125
Potencial genético	: 140 (9 tha ⁻¹) (Riego), 110 (7 tha ⁻¹) (Secano)
Recomendado para	: Riego y secano favorecido
Origen	: CIAT Prog. Centroamericano.

Origen de la variedad

La variedad INTA DORADA proviene del VIARC 1996 de la Red de Arroz de Centroamérica, del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), más el esfuerzo del Programa de Arroz de Guatemala que nos proporcionó el germoplasma para su estudio. La variedad es derivada de la cruce Triple CTL 17711938-IR-21015-72-3-331, realizada en CIAT.

Adaptabilidad

INTA DORADA se puede sembrar desde el nivel del mar hasta los 800 m, se adapta a suelos Franco arcilloso. Con pH de 5,6 y temperaturas de 20 a 31 °C y precipitaciones de 1200 -1600 mm.

Zonas recomendadas para esta variedad

La siembra de INTA DORADA se ha probado con éxito en las principales zonas arroceras de riego del país: Sébaco, Malacatoya, León y Boaco, y en las zonas más favorecidas de arroz de secano: Chinandega, Jalapa, Pantasma, Río San Juan y Cárdenas, Rivas.

Manejo agronómico

a. Época de siembra

INTA DORADA es una variedad intermedia de 120-125 días, recomendada para siembra de riego y secano favorecido. En riego – verano, en los meses de Diciembre y Enero. En secano favorecido, en la última quincena de Junio y en la primera de Julio.

b. Densidad poblacional

La densidad de siembra de INTA DORADA al voleo es de 129-141 kg ha^{-1} (200-220 libras/mz), post-emergente temprano, Nominee a 70cc/mz (0.09l ha^{-1}).

c. Fertilización

Forma y época de aplicación

La fertilización base se realiza al momento de la siembra para la modalidad de secano favorecido y a los siete días de germinado para la modalidad de riego. La fertilización nitrogenada se recomienda en tres etapas diferentes de desarrollo del cultivar. La fertilización de la variedad INTA DORADA se recomienda:

EPOCA	CANTIDAD qq/mz	FORMULA	ETAPA FENOLOGICA
Al momento de la siembra	2	Completo 12-30-10	Estado de plántula
A los 20 días de germinado	1.5	1ra Aplicación Urea 46%	Inicio del ahijamiento
A los 45 días de germinado	1.5	2da Aplicación Urea	Inicio de primordio
A los 65 días de germinado	1	3ra Aplicación Urea 46%	10-15 días antes de la floración.

d. Cosecha

La variedad INTA DORADA se puede cosechar con humedad de grano de 20-22%, ya que presenta maduración uniforme del grano. También se puede cosechar con menos humedad, ya que tiene senescencia tardía, aunque el porcentaje de desgrane es intermedio.

SOPORTE TÉCNICO

Esta información es el estudio de cuatro años de investigación por técnicos e investigadores del Programa de Granos Básicos, programa de Arroz y la cooperación de la Misión Técnica Agropecuaria de la República de China-Taiwán. La información se encuentra en los Informes Anuales de Granos Básicos y el programa de Arroz del INTA-CNIA de 1996-1999.

INTA. 1996. Informe Técnico Anual Nacional de Granos Básicos.

Anexo 5 Taxonomía de las parcelas TAINIC

Taxonomía del área de las parcelas experimentales en el Centro de Investigación TAINIC



Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
Hospital Monte España 300 metros al Norte, Teléfonos (505)2278 6981 / 2278 6982
Telefax (505) 267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



Maestría regional Centroamericana en Ciencias del Agua
Con énfasis en Calidad del Agua



INTA

Tesis:

Calidad del Agua y Manejo de sus diferentes niveles en el óptimo rendimiento en del cultivo del arroz, en el Valle de Sébaco en el ciclo de riego 2011

Lugar: Centro Experimental del Arroz TAINIC
Marcia Estrada G.

Coordenadas: 16591019E, 1415160N

Horiz	Prof. cm	Color		Estruct	Textura	Consistencia			Porosidad	Raíces
		Seco	Hum			Seco	Hum	Mojado		
A	0-96	10 Yr 3/1	7.5 Yr 2.5/1	Masiva	Arcilloso	Extremadamente firme	Firme	Muy plástico	Abundante microporos	Abundante 0-20 cm Pocas-20-40
CR	96-150 +96	10 Yr 5/4	7.5 Yr 4/3	Bloques angulares	Franco	Suelto	No freable	No plástico	Abundantes mesoporos, frecuentes macroporos	No hay presencia

Con la colaboración del MSc. César Aguirre.

Anexo 6 Datos pluviométricos - TAINIC

Datos pluviométricos durante el ciclo del cultivo del arroz - Centro TAINIC

Calidad de Agua y Manejo de Diferentes Volúmenes de Agua para el Optimo Rendimiento del Cultivo del arroz en el período Julio - Diciembre 2011						
Precipitaciones mensuales en mm						
Días	Julio	Agos	Sept	Oct	Nov	Observaciones
1		3,1	0	25	0,2	
2		0	0	3,5	3	
3		8,1	3	50,7	0	
4		18	0	0,3		
5		0	5	6		
6		0	3,7	0		
7		0	1,2	0		
8		0,9	2,4	0		
9		0	25,2	0		
10		4,1	0	7,8		Último riego antes de la tormenta
11		0	1,8	5,6		
12		2,9	0,3	4,2		
13		0	0	9,2		
14		0	0,8	24		Tormenta llena a las 5 p.m
15		0	0	0		
16		0	5,8	49,4		
17		0,3	6,5	74,1		
18		*29,6	0	7,8		*25+46 mm
19		0	7,8	6,2		
20		0	5,6	4,2		
21		6,1	0,3	2,8		
22		0,3	0,9	1,7		
23		1,1	0	1,4		
24		9,2	0,3	1,1		
25		4,3	3,5	1,2		
26		9,2	4,1	0,4		Inicia a regar
27		6,2	26	0,3		
28		3,3	0	10,1		
29	4,1	0,3	0	1,3		
30	0	1,1	0	0		
31	0,2	0,9	0	1,1		
Σ	4,3	79,8	104,2	299,4	3,2	486,6

Anexo 7 Valores RAS en PP-TAINIC y diferentes tratamientos

Calidad de agua y manejo de sus diferentes niveles para el óptimo rendimiento del cultivo del arroz en el Valle de Sébaco, durante el ciclo Julio-Diciembre 2011

Ubicación	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Pmol (Ca ⁺)	Z (ca ⁺)	Pmol (Mg ²)	Z (Mg ⁺)	Pmol (Na ⁺)	Z (NAg ⁺)
TAINIC - PP - Inicio campaña	55,1	10,19	48,7	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0
TAINIC - PP -Final campaña	61,75	13,92	48,3	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0
Tratamiento T1-1	79,2	16,3	56,7	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0
Tratamiento T1-2	64,9	15,36	52,1	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0
Tratamiento T1-3	61,75	14,88	49,9	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0
Tratamiento T1-4	64,92	15,36	51,1	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0
Tratamiento T2-1	60,96	13,44	49,7	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0
Tratamiento T2-2	60,96	12,96	49,6	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0
Tratamiento T2-3	71,25	16,32	51,5	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0
Tratamiento T2-4	71,25	16,32	50,9	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0
Tratamiento T3-1	66,53	12,15	49,2	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0
Tratamiento T3-2	65,73	14,58	49,1	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0
Tratamiento T3-3	64,93	12,64	49,2	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0
Tratamiento T3-4	64,13	13,12	48,8	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0
Tratamiento T4-1	66,53	13,61	49,2	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0
Tratamiento T4-2	65,73	12,64	51	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0
Tratamiento T4-3	66,53	14,58	49,6	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0
Tratamiento T4-4	64,13	14,58	50,4	40,1	2,0	24,31	2,0	22,99	1,0

Calidad de agua y manejo de sus diferentes niveles para el óptimo rendimiento del cultivo del arroz en el Valle de Sébaco, durante el ciclo Julio-Diciembre 2011

Ca ²⁺ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	Na ⁺ (meq/L)	Ca+Mg	√	pHc	RAS	[1+(8.4-pHc)]	RAS Adj.	CE μs/cm
2,75	0,84	2,12	3,59	1,34	7,400	1,58	2,000	3,162	605
3,08	1,15	2,10	4,23	1,45	7,400	1,45	2,000	2,890	611
3,95	1,34	2,46	5,29	1,63	7,400	1,51	2,000	3,029	730
3,24	1,26	2,27	4,50	1,50	7,400	1,51	2,000	3,020	639
3,08	1,22	2,17	4,31	1,47	7,400	1,48	2,000	2,959	616
3,24	1,26	2,22	4,50	1,50	7,400	1,48	2,000	2,962	637
3,04	1,11	2,16	4,15	1,44	7,400	1,50	2,000	3,002	605
3,04	1,07	2,16	4,11	1,43	7,400	1,51	2,000	3,011	608
3,56	1,34	2,24	4,90	1,56	7,400	1,43	2,000	2,863	689
3,56	1,34	2,21	4,90	1,56	7,400	1,41	2,000	2,829	685
3,32	1,00	2,14	4,32	1,47	7,400	1,46	2,000	2,912	632
3,28	1,20	2,14	4,48	1,50	7,400	1,43	2,000	2,854	633
3,24	1,04	2,14	4,28	1,46	7,400	1,46	2,000	2,926	619
3,20	1,08	2,12	4,28	1,46	7,400	1,45	2,000	2,902	607
3,32	1,12	2,14	4,44	1,49	7,400	1,44	2,000	2,873	620
3,28	1,04	2,22	4,32	1,47	7,400	1,51	2,000	3,019	621
3,32	1,20	2,16	4,52	1,50	7,400	1,44	2,000	2,870	622
3,20	1,20	2,19	4,40	1,48	7,400	1,48	2,000	2,956	623

Anexo 8 Cuaderno de campo

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua



Hospital Monte España 300 metros al Norte, Teléfonos (505)2278 6981 / 2278 6982
 Telefax (505) 267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni

MAESTRÍA EN CIENCIAS DEL AGUA



Con énfasis en Calidad del Agua

Trabajo de Tesis: Calidad del Agua y Manejo de sus diferentes niveles en el óptimo rendimiento del cultivo del arroz, en el Valle de Sébaco en el ciclo de RIEGO 2011

Ing. Marcia Estrada G.

Lugar: Centro de Desarrollo Tecnológico TAINIC

Fecha: 23 Noviembre, 2011

Cultivo: Arroz

Variedad: INTA DORADO

Fecha de Siembra: 6 Agosto, 2011.

FASE VEGETATIVA DEL CULTIVO DEL ARROZ - A LOS 109 DÍAS DESPUES DE SIEMBRA								
T₀	T₁		T₂		T₃		T₄	
<i>Altura cm</i>	<i>Altura cm</i>	<i>Tamaño de raíz</i>	<i>Altura cm</i>	<i>Tamaño de raíz</i>	<i>Altura cm</i>	<i>Tamaño de raíz</i>	<i>Altura cm</i>	<i>Tamaño de raíz</i>
98	107	21	109	20	96	16	119	20
80	98	16	97	13,5	94	17	118	30
78	92	15	102	19	95	25	116	15
83	97	13	92	16,5	97	17	114	19
97	97	20	90	16	110	18	103	18
89	94	19,5	94	16	110	28	101	19
65	93	17	93	17	104	27	107	31
82	105	18	92	21	104	30	117	23
83	90	19	95	18	113	15	108	11,5
75	96	12	98	12	100	20	116	21
83	96,9	17,05	96,2	16,9	102,3	21,3	111,9	20,75

Anexo 9 Resultados de calidad industrial

Asociación Nacional de Arroceros (ANAR)

Tesis:

Calidad del Agua y Manejo de sus diferentes niveles en el óptimo rendimiento en del cultivo del arroz, en el Valle de Sébaco en el ciclo Julio-Diciembre 2011

Tesista: Ing. Marcia Estrada G.

Fecha: 14 Dic/2011

Zona: Valle de Sébaco, El Horno

Línea/Variedad: INTA DORADO

Finca: Centro de Investigación del Arroz/TAINIC

Propiedad de: INTA

Coordenadas: 16591019E,
1415160N

% Humedad : 9.5

Temperatura ° : 27

Tratamiento: To

RESULTADOS DE RENDIMIENTO DE PILADA

(a) Peso Bruto	200 gr	100	gr
Peso Impurezas (a-b)	15.13 gr	7.57	gr
b) Peso Neto	184.87 gr	92.44	gr
c) Peso Arroz Integral	146.06 gr	73.03	gr
Peso Cáscara (b-c)	38.81 gr	19.41	gr
Peso semolina c- (e+f+g)	18.91 gr	9.46	gr
d) Peso Arroz Oro (e+f+g)	127.15 gr	63.58	gr
e) Peso Arroz Entero	105.71 gr	52.86	gr
f) Peso Payana	17.45 gr	8.73	gr
g) Peso Puntilla	3.99 gr	2.00	gr

INDICE DE PILADA

Peso Inicial	127.15 gr	100	%
Peso Granos Enteros	105.71 gr	83	%
Peso Granos Quebrados (f+g)	21.44 gr	17	%
Calidad Enteros/Quebrados	[(e/(d-g))*100]	86/14	

ANÁLISIS FÍSICO - DEFECTOS DE CALIDAD

% Arroz Rojo	0	% Daños x Insectos	0
% Arroz Yesoso	2.84	% Daños x Hongos	0.44
% Daños x Recalentado	0.24	% Daños Total	0.68

OBSERVACIONES

Presencia de tres daños; yeso, hongos, recalentado. Todos están bajo los límites permisibles
Prueba elaborada en Laboratorio ANAR; Formato ANAR modificado

Asociación Nacional de Arroceros (ANAR)

Tesis:

Calidad del Agua y Manejo de sus diferentes niveles en el óptimo rendimiento en del cultivo del arroz, en el Valle de Sébaco en el ciclo Julio-Diciembre 2011

Tesista: Ing. Marcia Estrada G.

Fecha: 14 Dic/2011

Zona: Valle de Sébaco, El Horno

Coordenadas: 16591019E, 1415160N
% Humedad : 9,2

Línea/Variiedad: INTA DORADO

Temperatura ° : 22,6

Finca: Centro de Investigación del Arroz/TAINIC

Propiedad de: INTA

Tratamiento: T₁

RESULTADOS DE RENDIMIENTO DE PILADA				
(a) Peso Bruto	200	gr	100	gr
Peso Impurezas (a-b)	6.5	gr	3.25	gr
b) Peso Neto	193.5	gr	96.75	gr
c) Peso Arroz Integral	149.42	gr	74.71	gr
Peso Cáscara (b-c)	44.08	gr	22.04	gr
Peso semolina c- (e+f+g)	15.42	gr	7.71	gr
d) Peso Arroz Oro (e+f+g)	134	gr	67.00	gr
e) Peso Arroz Entero	106.95	gr	53.48	gr
f) Peso Payana	23.81	gr	11.91	gr
g) Peso Puntilla	3.24	gr	1.62	gr
INDICE DE PILADA				
Peso Inicial	134	gr	100	%
Peso Granos Enteros	106.95	gr	80	%
Peso Granos Quebrados (f+g)	27.05	gr	20	%
Calidad Enteros/Quebrados	[(e/(d-g))*100]		82.1	
			8	
ANÁLISIS FÍSICO - DEFECTOS DE CALIDAD				
% Arroz Rojo	0	% Daños x Insectos	0.4	
% Arroz Yesoso	2.2	% Daños x Hongos	0	
% Daños x Recalentado	0	% Daños Total	0.4	
OBSERVACIONES				
Payana dañada por insectos (CHINCHE)				
Prueba elaborada en Laboratorio ANAR; Formato ANAR modificado				

Asociación Nacional de Arroceros (ANAR)

Tesis:

Calidad del Agua y Manejo de sus diferentes niveles en el óptimo rendimiento en del cultivo del arroz, en el Valle de Sébaco en el ciclo de riego 2011

Tesista: Ing. Marcia Estrada G.

Fecha: 14 Dic/2011

Zona: Valle de Sébaco, El Horno

Línea/Varietal: INTA DORADO

Finca: Centro de Investigación del Arroz/TAINIC

Propiedad de: INTA

Coordenadas: 16591019E,
1415160N

% Humedad : 9.6

Temperatura ° : 24.6

Tratamiento: T₂

RESULTADOS DE RENDIMIENTO DE PILADA				
(a) Peso Bruto	200	gr	100	gr
Peso Impurezas (a-b)	8.35	gr	4.18	gr
b) Peso Neto	191.65	gr	95.83	gr
c) Peso Arroz Integral	148.87	gr	74.44	gr
Peso Cáscara (b-c)	42.78	gr	21.39	gr
Peso semolina c- (e+f+g)	17.48	gr	8.74	gr
d) Peso Arroz Oro (e+f+g)	131.39	gr	65.70	gr
e) Peso Arroz Entero	98.21	gr	49.11	gr
f) Peso Payana	28.27	gr	14.14	gr
g) Peso Puntilla	4.91	gr	2.46	gr
INDICE DE PILADA				
	131.3			
Peso Inicial	9	gr	100	%
Peso Granos Enteros	98.21	gr	75	%
Peso Granos Quebrados (f+g)	33.18	gr	25	%
Calidad Enteros/Quebrados	[(e/(d-g)*100]		78/22	
ANÁLISIS FÍSICO - DEFECTOS DE CALIDAD				
% Arroz Rojo	0		% Daños x Insectos	0.8
% Arroz Yesoso	2.16		% Daños x Hongos	0
% Daños x Recalentado	0.32		% Daños Total	1.12
OBSERVACIONES				
Daño en payana por insectos (CHINCHE)				
Prueba elaborada en Laboratorio ANAR; Formato ANAR modificado				

Asociación Nacional de Arroceros (ANAR)

Tesis:

Calidad del Agua y Manejo de sus diferentes niveles en el óptimo rendimiento en del cultivo del arroz, en el Valle de Sébaco en el ciclo de riego 2011

Zona: Valle de Sébaco, El Horno

Coordenadas:

16591019E,

1415160N

% Humedad : 9,8

Línea/Varietal: INTA DORADO

Finca: Centro de Investigación del Arroz/TAINIC

Temperatura ° : 26.3

Propiedad de: INTA

Tratamiento: T₃

RESULTADOS DE RENDIMIENTO DE PILADA

(a) Peso Bruto	200	gr	100	gr
Peso Impurezas (a-b)	7.53	gr	3.77	gr
b) Peso Neto	192.47	gr	96.24	gr
c) Peso Arroz Integral	150.67	gr	75.34	gr
Peso Cáscara (b-c)	41.8	gr	20.90	gr
Peso semolina c- (e+f+g)	16.54	gr	8.27	gr
d) Peso Arroz Oro (e+f+g)	134.13	gr	67.07	gr
e) Peso Arroz Entero	110.47	gr	55.24	gr
f) Peso Payana	19.94	gr	9.97	gr
g) Peso Puntilla	3.72	gr	1.86	gr

INDICE DE PILADA

Peso Inicial	134.13	gr	100	%
Peso Granos Enteros	110.47	gr	82	%
Peso Granos Quebrados (f+g)	23.66	gr	18	%
Calidad Enteros/Quebrados	[(e/(d-g))*100]		85.1	
			5	

ANÁLISIS FÍSICO - DEFECTOS DE CALIDAD

% Arroz Rojo	0	% Daños x Insectos	0
	1.5		
% Arroz Yesoso	6	% Daños x Hongos	s/p
% Daños x Recalentado	0	% Daños Total	0

OBSERVACIONES

Se encontraron 4 granos dañados por hongos, sin peso en la báscula de 0.01 gr. de precisión.

Prueba elaborada en Laboratorio ANAR; Formato ANAR modificado

Asociación Nacional de Arroceros (ANAR)

Tesis:

Calidad del Agua y Manejo de sus diferentes niveles en el óptimo rendimiento en del cultivo del arroz, en el Valle de Sébaco en el ciclo de riego 2011

Tesista: Ing. Marcia Estrada G.

Fecha: 14 Dic/2011

Zona: Valle de Sébaco, El Horno

Línea/Variedad: INTA DORADO

Finca: Centro de Investigación del Arroz/TAINIC

Propiedad de: INTA

oordenadas: 16591019E,

1415160N

% Humedad : 9.8

Temperatura ° : 26.3

Tratamiento: T₄

RESULTADOS DE RENDIMIENTO DE PILADA				
(a) Peso Bruto	200	gr	100	gr
Peso Impurezas (a-b)	3	gr	1.50	gr
b) Peso Neto	197	gr	98.50	gr
c) Peso Arroz Integral	156.36	gr	78.18	gr
Peso Cáscara (b-c)	40.64	gr	20.32	gr
Peso semolina c- (e+f+g)	13.72	gr	6.86	gr
d) Peso Arroz Oro (e+f+g)	142.64	gr	71.32	gr
e) Peso Arroz Entero	114.62	gr	57.31	gr
f) Peso Payana	25.07	gr	12.54	gr
g) Peso Puntilla	2.95	gr	1.48	gr
INDICE DE PILADA				
Peso Inicial	142.64	gr	100	%
Peso Granos Enteros	114.62	gr	80	%
Peso Granos Quebrados (f+g)	28.02	gr	20	%
Calidad Enteros/Quebrados	[(e/(d-g))*100]		82/18	
ANÁLISIS FÍSICO - DEFECTOS DE CALIDAD				
% Arroz Rojo	0	% Daños x Insectos	0	
% Arroz Yesoso	2.08	% Daños x Hongos	0.44	
% Daños x Recalentado	0	% Daños Total	0.44	
OBSERVACIONES				
Prueba elaborada en Laboratorio ANAR; Formato ANAR modificado				

Anexo 10 Normas establecidas en la calidad del arroz

Grado de calidad	Semillas objetables y granos dañados por calor (Nº/500 grs)	Porcentajes máximos de granos			
		Manchados	Yesosos	Rojos	Dañados
1	2	0,50	1,00	0,50	1,00
2	10	1,50	2,50	1,50	2,00
3	20	2,50	4,00	3,00	3,00
4	35	4,00	7,00	4,50	4,00

Según muestra: Se clasifica como “según muestra” al lote que no reúna los requisitos de alguno de los grados 1,2,3 y 4 de manera que la negociación será definida entre las partes

Documento RTCR 406:2007, Fuente (CONARROZ)

Calidad de agua y manejo de sus diferentes niveles para el óptimo rendimiento del cultivo del arroz en el Valle de Sébaco, durante el ciclo Julio-Diciembre 2011

Anexo 11 Costos en el manejo de una manzana en el cultivo del arroz (US\$)

ARROZ DE RIEGO	MANO DE OBRA		INSUMOS			COSTOS	
	Actividad	Cant.	Costos US\$	Producto	Dosis/mz	Costos US\$	Total US\$
PREPARACIÓN DE SUELOS							
Limpia diques de contención	2	8,70				8,70	31,70
Roter (2 pases)	2	173,48				182,17	4190,00
Banqueo (2 pases)	1	125,56				307,73	7077,88
Desbasura (2 jornales)	2	8,70				316,43	7277,88
SIEMBRA						316,43	7277,88
Fertilización	2	8,70	18-46-0	2	90,43	415,56	9557,88
Semilla	2		INTA DORADO		120	535,56	12317,88
Pregerminación	1	4,35				539,91	12417,88
Siembra (voleo)	1	4,35				544,26	12517,88
Drenaje	1	4,35				548,60	12617,88
Sarceteo	7	30,43				579,04	13317,88
MANEJO AGRONOMICO						579,04	13317,88
Primer aplicación Urea 46%	1	4,35	Urea 46%	2 qq		645,99	14857,88
Fertilización			0-0-60	1 qq		682,95	15707,88
Aplicación de Insecticida	1		Cypermctrina	1 litro	9,57	696,87	16027,93
Aplicación de herbicida	1		Clincher	1 litro	52,17	753,39	17327,98
Aplicación de foliares			Compl.de B	1/2 litro	6,09	759,48	17467,98
Aplicación de foliares			Comp. de Zn	1/2 litro	9,78	769,26	17692,98
Aplicación de herbicida	1		24-D	1 ltr	35	808,61	18598,03
Aplicación de foliares			Compl. de B	1/2 litro	6,09	814,70	18738,03
Aplicación de foliares			Compl. de Zn	1/2 litro	9,78	824,48	18963,03
Segunda aplicación UREA	1		Urea 46%	2 qq	62,61	891,44	20503,08
Fertilización			0-0-60	1 qq	36,96	928,39	21353,08
Aplicación de fungicida			Cupravid	1 kg		940,39	21629,08
Aplicación de Insecticida	1	4,35	Clorpirifos	1	15	1005,64	23129,83
Aplicación de fungicida			Phyton	1/ 2 lt	15,22	1020,86	23479,83
Limpia de rondas	2	8,7				1029,56	23679,93
Aplicación de fungicida			Manzate	1 kg		1034,78	23799,93
Aplicación de acaricida	1	4,35	Rienda	0,75 lt	29,35	1068,48	24574,98
Aplicación de Insecticida	1	4,35	Muralla	1 lt	47	1119,83	25756,03
COSECHA						1119,83	25756,03
Corte	3	13,05			13,05	1132,88	26056,18
Sacos			Sacos	100	36	1168,88	26884,18
Transporte 80 / qq		40				1208,88	27804,18
TOTAL US\$						1208,88	