

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN MEDIO AMBIENTE
(CIEMA-UNI)**

**"EFECTOS EN SUELO Y PLANTAS DEBIDO AL RIEGO DE
UN CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) CON EL EFLUENTE DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE LA CIUDAD DE JINOTEPE"**

Tesis sometida a la consideración del Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente para optar al grado de Maestro en Ciencias Ambientales

Tesista
Ing. Edmundo Umaña Gómez

Asesor
Ing. Sergio Gámez G

Managua, Nicaragua, Diciembre 2005

DEDICATORIA

*A mi hijo Edwin Alexander que aunque no esté presente lo llevo
en mi corazón hasta el último de mis días*

*A mi esposa Patricia y mis dos pequeños Dewin Alexander y
Wilmer Edmundo*

Todos ellos son la razón de lo que hago y de lo que soy

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

A la Universidad Nacional Agraria por el espacio y oportunidades para alcanzar mayores niveles de superación académica.

Al Sr. Thomas Alveteg por el apoyo financiero brindado a través del proyecto SuWar para cursar la maestría en Ciencias Ambientales.

Al Proyecto de Apoyo a la Ciencia y la Investigación PACI que impulsa la Dirección de Investigación Extensión y Postgrado de la UNA por el apoyo económico para realizar el trabajo de tesis de esta maestría.

Al Ing. Sergio Gámez por su apoyo como asesor de este trabajo pero también por sus consejos y amistad durante todo el período de estudio de la maestría y después.

A la Delegación de ENACAL Jinotepe a través del Ing. Ramiro Matus por acceder a que se hiciese este trabajo en las instalaciones y terrenos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Jinotepe.

A la Ing. Brenda Vega por su valiosa colaboración durante toda la etapa de campo y revisión de literatura para este trabajo.

A don José María Narváez por brindarme su amistad y acompañarme en todo el trabajo de campo poniendo a disposición toda su experiencia y su trabajo como agricultor de la zona.

A los profesores del Programa de Investigación y Docencia en Medio Ambiente PIDMA de la UNI hoy CIEMA, por la confianza y amistad brindada durante el tiempo de estudio de mi maestría y mi trabajo de tesis y a todos aquellos amigos y compañeros que de una u otra forma colaboraron con mi persona en el desarrollo de este trabajo de tesis.

RESUMEN

El aprovechamiento de las aguas residuales tratadas para la agricultura, se ha considerado una alternativa viable no solo para asegurar las cosechas en zonas con estaciones lluviosas variables, sino que también para buscar un destino provechoso para los efluentes y evitar la contaminación de los ríos y lagos principalmente en el período seco.

Este estudio se basó en la reutilización del agua utilizando los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jinotepe (Carazo) para la irrigación de una pequeña área cultivada con maíz (*Zea mays* L.). Los principales parámetros evaluados fueron los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo durante el tiempo que duró el estudio y el efecto de los nutrientes del agua sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas de maíz.

El estudio se realizó en el período de Marzo a Junio de 2003, y consistió en el establecimiento de una parcela de maíz con un área de 1,096 m² la cual estuvo siendo regada con aguas del efluente de la planta de tratamiento de la ciudad de Jinotepe. Para ello se diseñó un sistema de riego superficial sencillo (por surcos) estableciendo un régimen de riego con una lámina aplicada de 30, 40 y 50 mm cada 3 días para cada una de las tres fases de desarrollo del cultivo, respectivamente.

Con el fin de evaluar el efecto de los nutrientes del efluente se consideró la total eliminación de uso de fertilizantes inorgánicos, pero los otros aspectos de manejo agronómicos fueron igual como los realiza el productor en esta zona. Los rendimientos de esta plantación fueron comparados con parcelas testigos que sí fueron fertilizadas inorgánicamente. A fin de valorar los cambios en las propiedades del suelo se realizaron análisis de suelos al inicio, en una etapa intermedia y al final del estudio así como también la caracterización del efluente como fuente de agua.

Los resultados obtenidos indican que estadísticamente no fueron significativas las variaciones experimentadas en las características del suelo en la parcela de estudio. Por otro lado, la calidad del efluente en cuanto al contenido de nutrientes, compensa el no uso de fertilizantes por cuanto los rendimientos obtenidos en el estudio superaron hasta en un 60 % la media de rendimientos de maíz en la zona reportados que es de 1.61 t/ha

Se concluye que el uso de los efluentes para el riego no tuvo efectos significativos en las características físicas y químicas del suelo, que es factible aprovechar estos efluentes y los nutrientes contenidos en ellos, siempre y cuando se garantice la calidad de los mismos. Se recomienda repetir esta práctica incursionando en otros cultivos y considerar la capacitación a los agricultores tanto en los aspectos técnicos del riego como los aspectos sanitarios para lograr mayor aceptación de esta práctica.

SUMMARY

The use of treated waste water for agriculture production has been considered a suitable alternative not just to assure some production in variable rainfall distribution zones but also to supply the drainage system and avoid the contamination of surface waters like rivers, lagoons, and lakes mostly during the dry season.

The study was based on the reuse of the water from the waste water treatment plant in Jinotepe city (Carazo) as source of an irrigation system for a maize (*Zea mays* L.) stand. The main evaluated parameters were physical and chemical soil properties during the study period and the effect of the nutrients content on the growth and yield of the corn plants.

The study period was between March and June, 2003. The maize plantation size was 1,096 m², which was irrigated using a superficial system with an average water sheet of 30, 40, and 50 mm every three days for each growing phase of corn.

The management of the maize plantation was according to traditional local knowledge but under the orientation of non use of inorganic fertilizer and use only of the nutrient content in the waste water. Soil samples were taken in three moments: beginning, middle and ending of study period. Water samples were taken also from the sources of waste water.

The obtained results indicate that there are not significant differences in soil characteristics along the study time. The increased yield of maize was supported by the nutrient content in the waste water. The average yield in this locality is 1,620 kg/ha (25 qq/mz) and the maize plantation with waste water was 60 % higher than this yield (this is 972 kg more).

It can be concluded that there is a potential for crop production during the dry season using waste water and that there is not change in physical and chemical soil properties. The nutrient content of the waste water can increase the yield of the maize plantation. However it could be recommended to evaluate the quality of the nutrients. Also it could be advisable to evaluate few times more this study and also to train farmers about the technical aspect as well as the safety management procedure in order to get more adaptation of this practice.

INDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	iv
SUMMARY	vii
INDICE GENERAL	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE GRAFICOS	ix
INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE ANEXOS	x
I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1	Objetivo General..... 3
1.2	Objetivos Específicos..... 3
II	
REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1	Aguas residuales..... 4
2.1.1	Aguas residuales urbanas..... 4
2.1.2	Características de las aguas residuales urbanas..... 4
2.1.2.1	Características físicas..... 4
2.1.2.2	Características químicas..... 5
2.1.2.3	Características biológicas..... 6
2.1.3	Nutrientes en el agua residual..... 7
2.1.4	Carga de nutrientes por habitante en aguas residuales domésticas..... 8
2.2	Tratamiento de agua residuales..... 8
2.2.1	Tratamiento y reúso para riego agrícola..... 8
2.2.2	Tratamiento y uso sanitario..... 10
2.3.	Calidad del agua para la agricultura..... 11
2.3.1	Criterios e índices para la clasificación química del agua..... 11
2.3.2	Absorción de agua por los cultivos..... 12
2.4	Estudios sobre el riego con aguas residuales..... 12
2.5	Uso de aguas residuales en agricultura..... 14
2.6	Protección sanitaria en el uso de aguas residuales y grupos expuestos..... 15
2.7	Reúso de agua y nutrientes..... 16
2.8	Tratamiento de agua residual vs uso de nutrientes..... 17
2.9	La planificación del riego con aguas residuales..... 17
2.10	Restricción en la producción agropecuaria con agua de reúso..... 18
III	
MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1	Descripción general de la zona de estudio..... 19
3.1.1	Localización de la zona de estudio..... 19
3.1.2	Clima..... 19
3.1.3	Recursos hídricos..... 20
3.1.4	Suelos y relieve..... 20
3.1.5	Actividades económicas..... 21
3.1.6	Características de la planta de tratamiento..... 21
3.2	Descripción general del estudio..... 23
3.3	Etapas del estudio..... 23

3.3.1	Primera etapa pre-campo.....	23
3.3.2	Segunda etapa campo.....	24
3.3.2.1	Características del suelo.....	24
3.3.2.1.1	Características físicas del suelo.....	26
3.3.2.1.2	Características químicas del suelo.....	27
3.3.2.2	Área experimental.....	28
3.3.2.3	Establecimiento del cultivo.....	29
3.3.2.4	Diseño del sistema de riego.....	29
3.3.2.5	Régimen de riego.....	30
3.3.2.6	Lámina de riego.....	30
3.3.2.7	Caracterización del efluente.....	31
3.3.2.8	Estimación del caudal del efluente.....	33
3.3.2.9	Seguimiento a la parcela.....	35
3.3.2.10	Análisis en planta.....	35
3.3.2.11	Rendimientos.....	36
3.3.2.12	Aceptación de la práctica.....	36
3.3.3	Tercera etapa.....	37
3.3.3.1	Procesamiento de datos.....	37
IV	RESULTADOS Y DISCUSION.....	38
4.1	Caracterización del suelo.....	38
4.1.1	El Perfil del suelo.....	38
4.1.2	Características químicas.....	39
4.1.2.1	Materia orgánica.....	40
4.1.2.2	Nitrógeno total.....	41
4.1.2.3	Fósforo disponible y Potasio asimilable.....	43
4.1.2.4	Calcio y Magnesio intercambiable.....	44
4.1.2.5	Sodio intercambiable.....	45
4.1.2.6	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....	46
4.1.2.7	Micronutrientes en el suelo.....	47
4.1.3	Características físicas del suelo.....	47
4.1.3.1.	Textura del suelo.....	47
4.1.3.2	Densidad aparente del suelo.....	48
4.1.3.3	Capacidad de campo.....	48
4.1.3.4	Porosidad del suelo.....	49
4.2	Caracterización del efluente.....	50
4.2.1	Caudal del efluente.....	50
4.2.2	Características químicas y bacteriológicas del efluente.....	51
4.3	Régimen de riego.....	53
4.3.1	Diseño del sistema.....	53
4.3.2	Demanda hídrica del cultivo.....	55
4.3.3	Láminas de riego.....	56
4.4	Nutrientes en la planta.....	57
4.5	Rendimientos del cultivo.....	59
4.6	Aceptación de la práctica.....	61

V	CONCLUSIONES	63
VI	RECOMENDACIONES	65
VII	BIBLIOGRAFIA	66

INDICE DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Ubicación de la planta de tratamiento y parcela de estudio.....	22
2	Etapas y secuencia metodológica del estudio.....	25
3	Vista general del diseño del sistema de riego.....	29
4	Perfil del suelo en la parcela de estudio del uso de aguas residuales para el riego en el cultivo de maíz.....	38
5	Estructura de retención y conducción de agua.....	54
6	Sistema de riego en la parcela	55

INDICE DE GRAFICOS

<u>Gráfico</u>		<u>Página</u>
1	Materia orgánica contenida en el suelo en tres fases del estudio.....	41
2	Contenido de nitrógeno en el suelo en tres fase del estudio.....	42
3	Contenido de fósforo en el suelo en tres fases del estudios.....	43
4	Contenido de potasio en el suelo en las tres fases de estudio.....	44
5	Variación del contenido de sodio en el suelo.....	45
6	Variación de la Capacidad de Intercambio Catiónico.....	46
7	Densidad aparente del suelo en las tres fases del estudio.....	48
8	Capacidad de campo del suelo para una fase inicial, intermedio y final del ciclo cultivo.....	49
9	Distribución del caudal del efluente en el período normal de riego.....	51
10	Contenido de nutrientes en las hojas de las plantas.....	57
11	Rendimientos promedio del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en con y sin riego con aguas residuales tratadas.....	60

INDICE DE TABLAS

<u>Tabla</u>		<u>Página</u>
1	Métodos usados para el análisis de suelos.....	28
2	Parámetros físicos del suelo en las tres fases del estudio.....	50
3	Características químicas y bacteriológicas del efluente y comparación con el Decreto 33-95.....	52
4	Demanda hídrica del cultivo.....	55
5	Láminas de riego estimados y aplicadas.....	56
6	Percepción de agricultores de la zona sobre la experiencia en reúso de aguas con el cultivo de maíz.....	61

INDICE DE ANEXOS

<u>Anexo</u>		<u>Página</u>
1	Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jinotepe.....	69
2	Datos climáticos correspondientes a la Estación Agrometeorológica de Campos Azules.....	70
3	Características químicas del suelo.....	71
4	Contenido de calcio y magnesio en el suelo en las tres fases del estudio de reúso de aguas.....	72
5	Rangos y límites permisibles que deberán cumplir las aguas residuales tratadas utilizadas para riego agrícola en la producción hortícola.....	73
6	Cálculo de las necesidades hídricas de riego de un cultivo.....	74
7	Características del suelo y cultivo consideradas para estimar las láminas de riego a aplicar en el estudio.....	77
8	Comparación de medias y grado de significancia en los valores de las características químicas del suelo en una etapa inicial, intermedia y final del estudio.....	78

I. INTRODUCCION

Nicaragua es un país que basa su economía en el sector agropecuario. Sin embargo, los fenómenos climáticos asociados a la alta vulnerabilidad de sus recursos entre otras cosas, no han contribuido a potenciar este sector.

Por otro lado, los mayores problemas en cuanto al deterioro de los recursos naturales se presenta en la región del pacífico producto de la expansión de la frontera agrícola, lo cual tiene como consecuencia la reducción del potencial natural que presentan los suelos y fuentes de agua, así como su contaminación y en consecuencia la degradación de los recursos naturales.

En el sector rural, la problemática se agudiza por la falta de alternativas que ayuden a la población para que se puedan aprovechar los recursos conservando y protegiendo el medio ambiente.

Por otro lado, el crecimiento poblacional del sector urbano exige cada vez más atención para el manejo de los desechos sólidos y sobre todo de las aguas residuales ya que aún bajo tratamiento, estas llegarán finalmente a cuerpos de agua superficiales dentro de una cuenca.

El aprovechamiento de las aguas residuales para la agricultura una vez tratadas, se ha considerado una alternativa viable ya que no solo se buscaría asegurar las cosechas en una pequeña zona ante la variabilidad climática, sino que también se tendría un destino provechoso para los efluentes principalmente en el verano que es cuando los cuerpos de aguas superficiales tienen menor capacidad auto depurativa por la disminución de sus caudales.

En muchos países es común el aprovechamiento de las aguas residuales para riego, sin embargo, en Nicaragua es una práctica que aún no se promueve aunque existen planes para ello. Por lo tanto, ante esta realidad es importante poder conocer mediante los estudios necesarios, sobre la viabilidad de esta práctica en algunas zonas del país.

Antecedentes y Justificación

En Nicaragua, la variabilidad climática especialmente lo referente a las precipitaciones, ha sido un elemento perturbador en la actividad agrícola haciendo a esta actividad en muchas zonas del país cada vez más riesgosa y disminuyendo con ello los ingresos de la familia del campo y por consiguiente su nivel de vida.

El riego ha sido una alternativa para garantizar las cosechas, sin embargo, el alto costo de llevar el agua hasta los lugares donde se necesita, hace un tanto difícil esta actividad.

Por otro lado las fuentes de agua cada día disminuyen su caudal y la competencia por el uso de este vital líquido, aumenta ante la timidez con que la legislación nicaragüense trata estos aspectos (aún no se aprueba totalmente la ley de aguas).

Todo ello evidencia la necesidad cada vez mayor de aprovechar las aguas residuales y establecer pequeños sistemas de riego en zonas cercanas a fuentes de efluentes como el caso de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jinotepe. Sin embargo, para ello es necesario hacer un estudio previo para analizar tanto el comportamiento del cultivo como los efectos sobre el suelo.

Es importante señalar que 6 productores de la zona con un área aproximada de 14 ha, han expresado su interés de aprovechar el agua para riego en el período seco bajo las normas técnicas que se establezcan para ello.

En Nicaragua son pocos los estudios que se han hecho sobre los efectos positivos y negativos que puede tener el uso de las aguas residuales para el riego de cultivos. Sin embargo, es un hecho real que esta práctica ya se está haciendo en algunos lugares con o sin consideraciones técnicas y sanitarias o de manera clandestina.

Un estudio para implementar el riego de una pequeña zona con el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) usando los efluentes de la planta de tratamiento de la ciudad de Jinotepe, cobra mucha importancia no solo por el aprovechamiento del recurso y protección al medio ambiente sino también para contribuir a crear una cultura diferente en el sector urbano y rural con respecto a los desechos.

1.1 Objetivo General

Determinar y evaluar los efectos sobre el suelo por el uso del riego con aguas correspondientes a los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jinotepe para el cultivo de maíz (*Zea Mays* L.).

1.2 Objetivos Específicos

- Medir y comparar las variaciones en las características físicas y químicas del suelo por el uso del agua residual para riego en el cultivo de maíz en una etapa inicial, intermedia y final del ciclo vegetativo del cultivo y evaluarlas desde el punto de vista nutricional.
- Evaluar el aprovechamiento de nutrientes contenidos en el agua residual de reúso para riego y los rendimientos del cultivo obtenidos en la parcela de estudio.
- Establecer la capacidad y calidad de los efluentes para el reúso mediante el riego del cultivo de maíz en una zona cercana a la Planta de Tratamiento.
- Identificar la percepción que los potenciales usuarios del agua de reúso tienen sobre el riego con aguas residuales.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Aguas residuales

2.1.1 Aguas residuales urbanas

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido como uno de los derechos fundamentales de todo ser humano el disfrute del grado máximo de salud posible. Considera la salud como un estado completo de bienestar físico, mental y social, y fija el nivel de salud por el grado de armonía que exista entre el hombre y el medio que lo rodea.

La contaminación de las aguas es uno de los factores importantes que rompe la armonía entre el hombre y su medio tanto a corto, como a medio y largo plazo, por lo que la prevención y lucha contra ella constituye en la actualidad una necesidad de importancia prioritaria (Pérez y Fundora s.f).

2.1.2 Características de las aguas residuales urbanas

Los parámetros utilizados para caracterizar las aguas residuales se agrupan en físicos, químicos y biológicos.

2.1.2.1 Características físicas

Las características físicas de un agua residual se determinan mediante el color, el olor, los sólidos contenidos, la temperatura y la conductividad.

El color es una característica que permite conocer la edad del agua residual en el momento que alcanza la estación depuradora. Un agua residual reciente suele ser de color gris claro, pero si la degradación aerobia de la materia orgánica llega a agotar el oxígeno disuelto se inicia la degradación anaerobia, produciéndose sulfuros metálicos que dan al agua un característico color negro.

El olor del agua es una determinación organoléptica subjetiva, para la cual no existen instrumentos de detección adecuados. De detectarse se convierte en un indicador orientativo del tipo de agua residual, de las condiciones de llegada a la planta de tratamiento (aerobio o anaerobio), de una posible contaminación industrial del agua residual urbana o del funcionamiento correcto tanto en el caso de tratamiento biológico convencional como en las lagunas aerobias.

Los sólidos contenidos en un agua residual pueden ser de origen orgánico e inorgánico. Su eliminación es uno de los objetivos fundamentales en la depuración de aguas residuales.

La temperatura del agua es un parámetro importante por su efecto en la vida acuática y en las reacciones químicas. La temperatura influye extraordinariamente en el desarrollo de los organismos que se encuentran en el seno del agua, en la solubilidad de los gases y en los procesos de corrosión.

La conductividad eléctrica indica la facilidad con que la corriente eléctrica pasa a través del agua residual. Puesto que el agua pura es muy mala conductora de la corriente eléctrica, las conductividades elevadas indican la presencia de impurezas, y más correctamente de sales disueltas. Por otro lado, la conductividad informa sobre la posibilidad de usar el agua residual tratada para riegos, ya que muchas plantas son sensibles al contenido en sales disueltas, y la exposición del terreno a riegos prolongados con aguas muy salinas puede dar lugar a su inutilización como terreno de cultivo (Pérez y Fundora s.f)

2.1.2.2 Características químicas

Las características químicas de un agua residual vienen definidas por la materia orgánica, la materia inorgánica y los gases.

La materia orgánica contenida en las aguas residuales puede ser de dos tipos. Los compuestos orgánicos de materias puramente biológicas resultantes del metabolismo humano y otro, el formado por las sustancias de síntesis, cuyo poder contaminante es mucho mayor.

La integran multitud de compuestos como plaguicidas, residuos de la industria química, farmacéutica, alimentaria, etc.

Desde el punto de vista de la depuración se suele evitar un estudio pormenorizado de los componentes de la materia orgánica, y en lugar de este, se utilizan unos parámetros indicativos de la cantidad de oxígeno necesario para su estabilización. Los más usados son la demanda de bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y el carbono orgánico total (Pérez y Fundora s.f).

2.1.2.3 Características biológicas

El agua residual urbana contiene microorganismos de muchas clases, algunos de ellos muy perjudiciales para la salud por ser causantes de enfermedades. Los tipos de microorganismos más abundantes en el agua residual son bacterias, protozoos, virus y helmintos.

Entre las bacterias presentes en el agua residual urbana, aquellas a las que hay que prestar mayor atención son las bacterias patógenas o causantes de enfermedades. Dado que el tiempo y esfuerzo necesario para identificar cada una de las especies bacterianas presentes en el agua residual es muy elevado, normalmente se determinan otras especies no patógenas, fáciles de identificar, y que dan una idea de la importancia de la contaminación fecal del agua residual. Las bacterias que suelen utilizarse con este fin son los coliformes totales y fecales, y los estreptococos fecales.

Los coliformes son bacterias presentes en gran número en las heces. Una persona adulta viene a excretar unos 2.000.000.000 de bacterias coliformes al día.

La presencia en el agua residual de coliformes fecales indica, sin ninguna duda, que el agua presenta contaminación fecal y, por tanto, puede contener también bacterias patógenas. Por otra parte, el número de coliformes y su reducción a lo largo del tratamiento indica la calidad general del agua desde el punto de vista bacteriológico (Pérez y Fundora s.f).

2.1.3 Nutrientes en el agua residual

Nutrientes es un término genérico que engloba las formas de nitrógeno y de fósforo presentes en el agua, ya que constituyen factores esenciales para el desarrollo de la vida en ambientes acuáticos.

El nitrógeno existe fundamentalmente en cuatro formas en las aguas residuales. Nitrógeno orgánico en forma de proteínas, aminoácidos y urea, que por degradación bacteriana se transforma muy rápidamente en amoníaco.

La importancia de la determinación del contenido de las diferentes formas de nitrógeno en las aguas residuales radica en su posterior uso, tanto por los problemas de eutrofización por los vertidos, como en su reutilización agrícola, donde los contenidos en nitrógeno pueden comunicarles un importante valor fertilizante (Pérez y Fundora s.f).

Las aguas residuales contienen cantidades apreciables de nitrógeno que pueden suponer, por tanto, un beneficio para el agricultor. Sin embargo, hay que tener en cuenta este aporte de nitrógeno en el plan de abonado del cultivo para evitar el exceso de nitrógeno en el suelo, ya que este exceso puede disminuir la producción y/o la calidad en cultivos.

Un problema adicional del aporte de nitrógeno por el agua residual es que la demanda de nitrógeno y de agua puede no coincidir en el tiempo: en la mayoría de los cultivos la demanda de nitrógeno es baja durante la fase inicial del cultivo, aumenta durante la fase de crecimiento y vuelve a ser baja en la fase final del cultivo, mientras que la demanda de agua aún puede ser alta en la fase en que la planta ha completado su desarrollo. El exceso de nitrógeno, además de ser perjudicial para las plantas, aumenta la lixiviación de nitrato y la contaminación de las aguas subterráneas (Ramos, 1997).

El aporte de fósforo por las aguas residuales es bastante inferior al de nitrógeno (aproximadamente una cuarta parte), pero conviene tenerlo en cuenta y disminuir el aporte de fósforo en el abonado (Ramos, 1997).

El contenido de fósforo en las aguas se debe a los vertidos urbanos (detergentes principalmente) y por otra parte a los vertidos de la industria agroalimentaria (abonos, piensos, compuestos, etc.). Los problemas que genera el fósforo en el medio, son similares a los que genera el nitrógeno, ya comentados en el punto anterior (Pérez y Fundora s.f).

2.1.4 Carga de nutrientes por habitante en aguas residuales domésticas

Las carga diaria de nutrientes y materia orgánica por habitante en las aguas residuales domésticas no son valores fijos. Ellas varían de acuerdo a las áreas geográficas y los hábitos alimentarios.

Gutiérrez (1998), señala que la carga promedio en gramos por habitante por día de nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica (DBO_5) en Cuba es la siguiente: nitrógeno total 8g, fósforo total 1.6 g, potasio 4 g y DBO_5 44 g. Estos valores son cercanos con los que reporta Beecher *et al.* (2005) en un Diagnóstico de la Planta Depuradora de la Ciudad de Plottier Argentina que indica valores de 10 g de nitrógeno y 60 g de DBO por persona por día.

2.2 Tratamiento de aguas residuales

2.2.1 Tratamiento y reúso para riego agrícola

Un área metropolitana estándar vierte un volumen de aguas residuales entre el 60 y el 80 % de sus requerimientos diarios totales.

En España se estima que la producción de aguas residuales derivadas de los abastecimientos de población y usos industriales servidos desde redes urbanas, alcanzan aproximadamente un 80 % de de los caudales aportados al abastecimiento. El disponer de una fuente adicional de agua, al reutilizar estas aguas residuales, permitiría atender aquellas demandas que no requieren la calidad del agua potable y con ello disponer de mayores caudales de agua para consumo humano u otros usos de singular exigencia (CEDEX, 1996).

Con la finalidad de determinar la factibilidad del reúso de aguas (tratadas en lagunas de estabilización) en el riego de cultivos agrícolas y ornamentales sin que representen un riesgo para la salud humana, así como su efecto en el suelo por su alto contenido en nutrientes y sales, la Universidad del Zulia, a través del Centro de Investigación del Agua (CIA) encontró resultados satisfactorios regando una parcela experimental de 5 ha con frutales (lima, guayaba, mango y níspero) y un cultivo de ciclo corto sin afectaciones al suelo y con rendimientos alentadores (ABES, 2002).

Los riesgos que conllevan la reutilización en regadíos, dependen mucho de las condiciones en que se lleve a cabo, de los cultivos regados y de los sistemas de riego utilizados, por lo que es imprescindible realizar una adecuada selección de cultivos y el método de riego a emplear (CEDEX, 1996).

En Masaya, Nicaragua se han implementado ensayos de riego en parcelas con carácter investigativo y con un área total de 1000 m² irrigadas con el efluente de la Planta Piloto del Biofiltro instalada desde 1996 por la cooperación Austriaca y manejada actualmente por la Universidad Nacional de Ingeniería.

Los resultados de estos ensayos reportados por el CIEMA-UNI (1999) demostraron que en todos los casos, el rendimiento obtenido en los diferentes cultivos fue mayor que el rendimiento promedio obtenido por los agricultores de la zona, ya que a pesar de no utilizar fertilizantes químicos en los ensayos, se obtuvieron rendimientos en maíz de hasta 4.2 t/ha. Esto se debe a que las aguas tratadas contienen todavía nutrientes que son aprovechados por los cultivos para su buen crecimiento y desarrollo. Desde el punto de vista microbiológico, se concluyó que el efluente del Biofiltro se puede utilizar para irrigar los cultivos que se consumen cocidos, cereales, industriales y forrajeros, pastos y árboles frutales, maderables o energéticos.

2.2.2 Tratamiento y uso sanitario

Los efluentes de las lagunas de estabilización, por su calidad bacteriológica, pueden usarse en cualquier actividad agropecuaria, desde la horticultura, los cultivos agroindustriales y acuicultura hasta la forestación. El dimensionamiento de estos sistemas estará ligado a la calidad de los efluentes requerida para cada tipo de uso.

Si el único objetivo fuese descontaminar el recurso hídrico, todos los proyectos serían inviables financieramente. Sin embargo, si se aprovecha la excelente calidad bacteriológica y la riqueza en nutrientes que ofrecen las aguas tratadas mediante lagunas de estabilización, es posible obtener otros beneficios como la producción agropecuaria.

El uso de las aguas residuales también permite obtener otros beneficios, como el uso eficiente del agua, provisión de abonos naturales y generación de alimentos, empleo e ingresos económicos, además de incrementar la frontera agrícola en zonas desérticas (León y Moscoso, 1996).

En lo que respecta a la remoción de patógenos de las aguas residuales, el número de los que sobreviven es más importante que el número de los que mueren. Cifras como 99 % o 99,9 % de remoción de agentes patógenos pueden parecer impresionantes, pero representan el 1 % y el 0,1 % de sobrevivientes, respectivamente. Dadas las altas concentraciones de patógenos que se pueden encontrar en las aguas residuales, estas proporciones pueden ser importantes. Las aguas residuales sin tratar pueden tener más de 10^5 bacterias patógenas por litro, por lo que un 99 % de reducción dejaría más de 10^3 bacterias patógenas por litro .

La concentración promedio de coliformes fecales de aguas residuales municipales es alrededor de 10^7 a 10^8 CF/100 ml. Si éstas son descargadas a un río libre de contaminación con una capacidad de dilución mínima de 100^1 , la concentración en el río luego de la descarga será de 10^6 CF/100 ml, valor superior al nivel máximo permisible para agua de riego sin restricciones en Europa y los Estados Unidos que es de 1.000 CF/100 ml (León y Moscoso, 1996).

¹ La dilución mínima puede expresarse como una relación entre el caudal de estiaje del río, receptor de las de las descargas, y el caudal promedio de aguas residuales. Factor de dilución = (Caudal del río)/(Caudal de aguas residuales)

2.3 Calidad del agua para la agricultura

La tendencia actual de evaluación de la calidad del agua para propósitos de riego es más cualitativa que cuantitativa, evitando el uso de clasificaciones rígidas y refiriéndose a cada caso en una forma elástica y particular ya que el agua es un recurso cada día más escaso que debe ser manejado cuidadosamente dependiendo de las condiciones ambientales, el tipo de suelo y de cultivo, y de las condiciones económicas y sociales de los agricultores (FAO, 1984).

El uso de agua de mala calidad puede ocasionar problemas en el suelo y en los cultivos; estos pueden ser problemas de salinidad, disminución de la tasa de infiltración, toxicidad específica sobre los cultivos y otros (Pérez y Fundora s.f).

Las características físicas, químicas y biológicas deben adaptarse al lugar y al sistema de vertido o de aplicación del agua residual al suelo. Por ejemplo, donde existen o donde van a existir cultivos de consumo directo, no deberán verterse aguas residuales con problemas de bacterias, virus o enfermedades. En lugares donde los metales pesados no pueden ser asimilados por el suelo, tampoco es aconsejable su vertido continuado (Seoanez, 1995).

2.3.1 Criterios e índices para la clasificación química del agua

Uno de los problemas que pueden ser ocasionados en el suelo y los cultivos por el uso de agua de mala calidad es la salinidad. Existe un problema de salinidad cuando las sales se acumulan en la zona radical a una concentración que provoca disminución del potencial osmótico y exige de las raíces de las plantas un esfuerzo adicional para absorber el agua.

Este esfuerzo se traduce en que parte de la energía de la planta de origen metabólico se dirige a la absorción de agua, en detrimento de otras funciones que también requieren energía como, crecimiento, floración, etc. y en consecuencia disminuyen los rendimientos.

Los síntomas, que son parecidos a los provocados por las sequías, se manifiestan como reducción del crecimiento y marchitamiento o coloración verde azulada oscura en las hojas y varían de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo (Pérez y Fundora s.f).

La idoneidad de un agua para riego según la FAO (1984), vendrá determinada por la cantidad y clase de las sales que contenga. Con aguas de mala calidad puede esperarse que se produzcan varias complicaciones referentes al suelo y a la cosecha. En estos casos puede que haya que recurrir a prácticas de cultivos especiales, a fin de mantener la productividad.

2.3.2 Absorción de agua por los cultivos

Los cultivos toman el agua de la zona donde se encuentran más fácilmente disponibles en la profundidad que corresponda a las raíces. Esto se produce normalmente en la cuarta parte superior del sistema de raíces y viene a ser un 40 %; el 30 % viene del segundo cuarto, el 20 % del tercer cuarto y el 10 % restante de la cuarta parte inferior (FAO, 1984).

Cada riego lixiviará la parte superior del suelo pero en la parte inferior se incrementará la concentración de sales dependiendo de la calidad del agua de riego (FAO, 1984).

2.4 Estudios sobre el riego con aguas residuales

En los últimos años se han realizado en la Comunidad Valenciana algunos estudios sobre el empleo de aguas residuales para el riego. En uno de ellos (Ramos, 1997) se comparó la producción y calidad de la uva de mesa cuando se regaba con agua normal o con agua residual (diluida al 50 % con agua normal), en la cuenca media del río Vinalopó (Alicante). Los resultados indicaron que el riego con agua residual dio producciones ligeramente superiores al riego con agua normal; no se observó ningún efecto negativo sobre la calidad de la uva en el riego con agua residual. Tampoco se detectó la presencia de microorganismos patógenos presentes en el agua residual en la uva regada con estas aguas (Amorós *et al.* 1989; citado por Ramos, 1997)

En otra investigación, en la provincia de Castellón, Cerezo et al. (1995) citado por Ramos (1997), estudiaron el efecto del riego con aguas residuales en naranjos jóvenes. Después de tres años de riego con estas aguas, las diferencias del contenido foliar de N, P y K fueron pequeñas cuando se compararon con las obtenidas con riego con agua subterránea, y no se observaron problemas de fitotoxicidad por Na, Cl y B.

Estudios generales realizados en el año 2001 en 18 lugares y 14 países latinoamericanos incluido Nicaragua, dirigidos a evaluar los principales aspectos técnicos y económicos del tratamiento y uso de las aguas residuales revelan dos situaciones en común: la primera establece que el manejo de las aguas residuales constituye un problema de primer orden por sus implicaciones sobre la salud humana y la segunda expone que los aspectos legales, sociales y económicos del adecuado manejo del agua residual se encuentra aún en proceso de concertación en muchos países de la región (CEPIS, 2002).

Por otro lado, hay algunos aspectos del manejo agrícola de las aguas residuales que a diferencian de otras fuentes de agua ameritan mayor investigación. Entre éstos se destaca el aporte de materia orgánica y nutriente, cuyo impacto en la formación de suelo y el rendimiento de los cultivos aún se encuentra poco documentado.

Existe información acerca del menor requerimiento de agroquímicos y de mayores rendimientos en los cultivos irrigados con aguas residuales en México, Argentina, Perú, Venezuela y Colombia, entre otros, pero no se cuenta con mayor información respecto al aporte de materia orgánica al suelo. En algunos casos se reporta que el suelo está constituido hasta con 20 % de materia orgánica, mientras que en las zonas aledañas y no regadas con aguas residuales el contenido de materia orgánica del suelo es menor de 5 %, lo que constituiría una valiosa contribución a la calidad del suelo (CEPIS, 2002)

Gámez (2001) en uno de los casos reportados por el CEPIS, indica que en la zona del Proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Jinotepe, Nicaragua, los agricultores no tienen acceso a agua para riego: no hay cuerpos superficiales y el agua subterránea se encuentra a más de 200 m de profundidad, por lo que dependen de las lluvias para el éxito de

sus cultivos, sin embargo, el cultivo de maíz en la zona produce dos cosechas al año: de primera y de postrera. El productor que decida irrigar con aguas tratadas podrá tener una tercera cosecha y además, no tendría pérdidas durante la cosecha de primera considerando las irregularidades de la época lluviosa. Esto significa que fácilmente puede incrementar en US \$ 240 sus ingresos anuales por manzana cultivada de maíz.

2.5 Uso de aguas residuales en agricultura

El uso de aguas residuales en agricultura requiere un adecuado análisis de los efectos de su uso en los suelos y los cultivos y las necesarias intervenciones en el manejo agronómico. Los impactos potenciales mayores normalmente están referidos a la selección de cultivos, al uso del agua y de los sistemas de riego, y a los planes de fertilización (CEPIS, 2002).

El CEPIS brindó asistencia técnica y concentró sus esfuerzos en evaluar el grado de sustitución de fertilizantes por el aporte de nutrientes de las aguas tratadas. Se evaluaron diferentes dosis de fertilización, desde un testigo con aguas residuales solamente (sin fertilizantes) hasta niveles de fertilización que normalmente se aplican en los cultivos comerciales. Se ensayaron diferentes cultivos comerciales como frijol, habichuelas, brócoli, col, maíz, etc. (Moscoso y León, 1994).

Tal como se aprecia en los resultados obtenidos con el frijol "panamito", todos los cultivos evaluados mostraron rendimiento de producción muy similar en todos los tratamientos, incluyendo el testigo sin fertilización. Se demostró que las aguas residuales aportan todos los nutrientes requeridos por los cultivos, lo que permite ahorrar los costos de fertilización, que muchas veces representan más del 50 % del costo de producción (Moscoso y León, 1994).

2.6 Protección sanitaria en el uso de aguas residuales y grupos expuestos

Cuatro grupos humanos están expuestos a enfermedades transmisibles originadas por los sistemas de reutilización del agua con fines agrícolas: los consumidores, los trabajadores agrícolas y sus familias, los manipuladores de alimentos y los residentes en zonas vecinas. A todos ellos hay que protegerlos mediante cuatro medidas integradas:

1. Tratamiento de las aguas residuales para evitar que las utilizadas en el riego contengan microorganismos patógenos,
2. Técnicas de aplicación de aguas residuales, para evitar en lo posible que entren en contacto con las partes comestibles de los vegetales cultivados,
3. Selección de los cultivos, a fin de limitar el empleo de aguas residuales a las plantas que no se consumen directamente (cosechas industriales y piensos) o que crecen muy por encima del terreno (tomates) o no se comen crudas (papas),
4. Control de la exposición humana, aconsejando debidamente a los trabajadores agrícolas y a sus familias, los manipuladores de alimentos y los consumidores mediante programas de educación sanitaria, inmunizándolos contra la fiebre tifoidea y la hepatitis A y facilitándoles servicios médicos apropiados para tratar las enfermedades diarreicas.

El ingeniero que pretenda diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales cuyos efluentes serán aprovechados en la agricultura o piscicultura, debe saber hasta qué punto hay que eliminar los agentes patógenos (León y Moscoso, 1996).

Es necesario producir efluentes que satisfagan la calidad exigida mediante procesos que no demanden vigilancia continua. Por tanto, se debe hacer hincapié en la selección y en el diseño de las plantas de tratamiento, antes que en el cuidado extremo del manejo.

Esto reviste particular importancia para los países en desarrollo en donde la infraestructura es deficiente y la experiencia en el manejo de plantas de tratamiento de aguas residuales es limitada. En estos países la tecnología simple y barata tiene mayores posibilidades de éxito (León y Moscoso, 1996).

Existen riesgos para la salud debido a la presencia en las aguas residuales que va a usarse para el riego de cultivos, de los metales pesados como el hierro, el cobre, el zinc, el cadmio, el mercurio y el plomo. Si embargo, Sáenz (2002) señala que el tratamiento convencional de las aguas residuales, acumula los metales pesados en los lodos reduciendo considerablemente sus concentraciones en los efluentes.

2.7 Reúso de agua y nutrientes

Como resultado del exceso de nutrientes dispuesto por las aguas residuales con insuficiente tratamiento o sin él, se han identificado problemas de eutrofización en cuencas hidrográficas y zonas costeras. El uso de tecnologías para la remoción de nutrientes y el reciclaje de nutrientes se identifican como elementos claves para revertir esta situación.

En reúso de nutrientes significa el reúso de aguas residuales domésticas tratadas (aguas reclamadas). El reúso debe ser la opción preferida antes que la remoción de nutrientes siempre y cuando todas las exigencias puedan llevarse a cabo (Gutiérrez, 1998).

El riego agrícola con aguas residuales tratadas representa la mayor fracción del total de la demanda mundial de agua para el reúso. El éxito del reúso agrícola depende de una correcta estrategia. Básicamente, depende de una correcta selección del cultivo y de los métodos de riegos, así como del apropiado manejo integrado de todo el sistema, donde el impacto a la salud es clave (Gutiérrez, 1998).

2.8 Tratamiento de agua residual vs uso de nutrientes

El dilema que se presenta en el tratamiento de aguas residuales donde se va a aplicar el reúso se crea por la contradicción siguiente: si el reúso de las aguas residuales se va a aplicar en agricultura es conveniente lograr una relativa maximización de la materia orgánica y nutriente. El tratamiento debe producir un efluente que cumpla con las guías de calidad microbiológica y química, así como un considerable contenido de nutrientes (Gutiérrez, 1998).

2.9 La planificación del riego con Aguas residuales

Los elementos técnicos involucrados en el planeamiento de un sistema de reúso incluyen (EPA, 1992; citado por Gutiérrez, 1998):

- La identificación y caracterización de las demandas potenciales del agua reclamada.
- La identificación y caracterización de las fuentes existentes de agua reclamada con el fin de determinar su potencial para el reúso.
- Los requerimientos del tratamiento para producir un agua tratada segura y con la calidad necesaria para su uso previsto.
- Las facilidades de almacenamiento requeridas para un balance que considere las fluctuaciones estacionales de las demandas y las posibilidades de entrega.
- Las facilidades suplementarias requeridas para la operación del sistema de reúso, tales como: transporte del agua residual tratada al sitio, las redes de distribución, facilidades de almacenamiento operacional y las alternativas de entrega final (sistema de riego).
- Los impactos ambientales potenciales al implementar el sistema de reúso.

2.10 Restricciones en la producción agropecuaria con agua de reúso

El uso de aguas residuales en cultivos sin restricción debe cumplir con las exigencias de calidad adoptadas en cada país. Como referencia se pueden utilizar las directrices sanitarias de la OMS. Sin embargo, es necesario tomar algunas medidas adicionales para resguardar a los trabajadores del campo y a quienes manejan las cosechas (León y Moscoso, 1996).

La restricción de cultivos es factible y más fácil en las siguientes situaciones:

- En una sociedad donde las leyes se cumplen cabalmente.
- Donde existe un organismo público que controla la distribución de las aguas residuales y lodos, y tiene autoridad legal para exigir la restricción de cultivos.
- Donde existe un organismo público que controla la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales y lodos.
- Donde los proyectos de riego obedecen a una firme gestión central.
- Donde hay una demanda adecuada de los cultivos autorizados por la restricción y éstos se venden a un precio razonable.
- Donde existe una escasa presión del mercado en favor de los cultivos excluidos.

III MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción general de la zona de estudio

3.1.1 Localización de la zona en estudio

El presente trabajo se realizó en el Municipio de Carazo, en la comunidad de El Aguacate situada entre la ciudad de Jinotepe y el poblado de Güisquiliapa a una altitud de 529 msnm entre las coordenadas 11° 49' 40" latitud Norte y a los 86° 11' 12" longitud Oeste (INETER, 1988). Como se muestra en la Figura 1 en este sector está ubicada la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jinotepe en ella se estableció una parcela de maíz (*Zea mays* L.) a ser regado con los efluentes de la misma planta.

El sitio se ubica en la parte alta de la Cuenca del Río Grande de Carazo que abarca una superficie de 32,425.19 ha. Esta cuenca cubre aproximadamente un 30 % del Departamento de Carazo (POSAF-MARENA 2002).

Muy cerca de la planta de tratamiento se ubica el cauce El Tigre que es uno de los afluentes del Río Grande y su importancia en este estudio radica en que es el sitio donde se descargan los efluentes de la Planta de Tratamientos de Aguas residuales de la Ciudad de Jinotepe.

3.1.2 Clima

Posee un clima semi-húmedo, de sabana tropical; con una temperatura entre los 18 y 25 °C, en la época fría y 25 – 37 °C, en la época calurosa, siendo su temperatura promedio 25 °C (INIFOM 2000).

La precipitación oscila entre los 1,200 a 1,800 mm durante el año; caracterizándose por una excelente distribución; tiene una Humedad Relativa de 78 % - 60 % (INIFOM 2000).

3.1.3 Recursos hídricos

Las fuentes de aguas superficiales en la zona son escasas y el agua subterránea se encuentra a grandes profundidades con niveles dinámicos de 300 m aproximadamente, el sistema de cauces naturales drena hacia el Río Grande de Carazo.

Existen muchos riachuelos que drenan al Río Grande y que mantiene su caudal durante el invierno. Sus aguas son utilizadas para abreviar la poca ganadería existente y para consumo de agua en algunas de las microcuencas menos contaminadas. Sin embargo existen posibilidades de establecer pequeños proyectos de riego mediante el aprovechamiento de presas en cascada (POSAF-MARENA, 2002).

La falta de agua en la cuenca es una limitante para el desarrollo de ésta. La escasez tiene distintos orígenes: los fenómenos naturales como la sequía, la falta de cobertura vegetal que no permite alimentar el manto acuífero y por las carencias de técnicas de bombeo a grandes profundidades. Por esto la población rural no dispone de agua en cantidad y calidad durante todo el año.

3.1.4 Suelos y relieve

Jinotepe, se asienta sobre una planicie casi absoluta con leve inclinación hacia el sureste. Presenta variaciones en las alturas de terrenos, sin picos elevados, su altura promedio sobre el nivel del mar es de 569.10 m.

Los suelos son de topografía ondulada con texturas francas en la superficie y con subsuelo franco arcilloso bien drenados, con presencia de capas de talpetate pero de alta fertilidad aparente. Clasificados como Molisoles pero también con presencia de Inceptisoles, Entisoles y Alfisoles.

3.1.5 Actividades económicas

La actividad económica ha estado basada, históricamente en el cultivo del café y la explotación no sostenible de recursos naturales y el despale indiscriminado que han incidido y afectado la producción del café; actualmente se está desarrollando una gran variedad de rubros agrícolas como hortalizas, cítricos, granos básicos, musáceas entre otros, que son básicamente de autoconsumo.

En el sector rural la actividad se basa en la producción de granos básicos y ganadería (INIFOM 2000).

3.1.6 Características de la planta de tratamiento

La planta de tratamiento de aguas residuales es del tipo Fosa Filtro y recoge las aguas servidas de aproximadamente un tercio de la población de Jinotepe. La planta de tratamiento consiste en tanques imhoff seguido de filtros anaerobios (filtro percolador ahogado), dos módulos con un período de retención hidráulica de diseño de 6 horas.

Existen alrededor de la planta de tratamiento cerca de 14 ha en donde se cultivan granos básicos y pastos aprovechando el período lluvioso. Sin embargo, estas son tierras ociosas en el período de verano. En el Anexo 1 se muestra la planta de tratamiento de aguas residuales en las condiciones en que se realizó el estudio.

LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

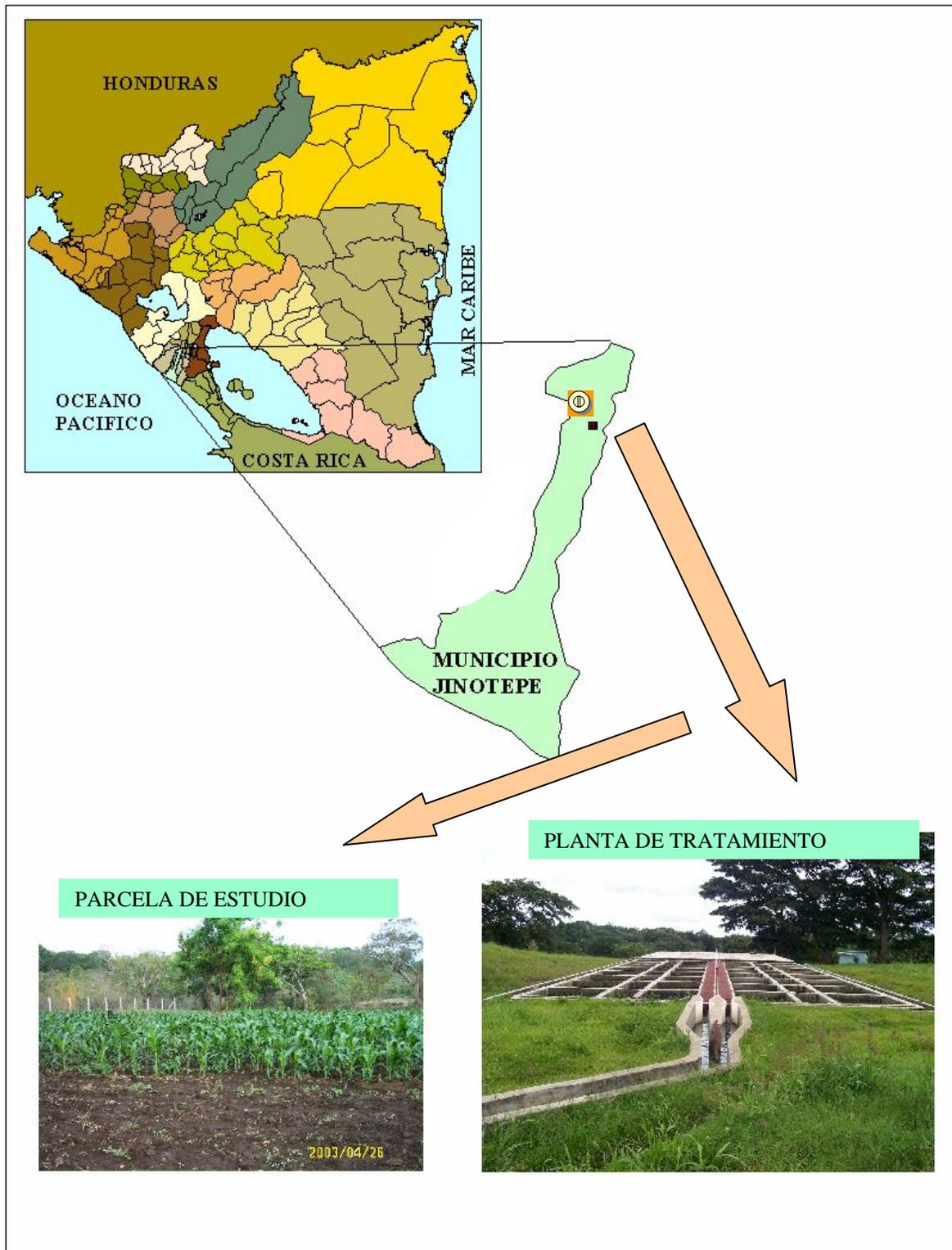


Figura 1. Ubicación de la planta de tratamiento y parcela de estudio

3.2 Descripción general del estudio

Es estudio consistió en el monitoreo de las características químicas del suelo en un período inicial, intermedio y final del ciclo vegetativo en una parcela sembrada del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo un régimen de riego utilizando para ello el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jinotepe.

El manejo agronómico del cultivo durante todo el período del estudio, fue exactamente igual al que comúnmente se le da a este cultivo en la zona, excepto la fertilización que en este caso se suprimió totalmente por cuanto se trataba de aprovechar los nutrientes contenidos en las aguas residuales.

La práctica del riego fue otra actividad no común ya que el maíz se cultiva en la zona únicamente en el período lluvioso.

3.3 Etapas del estudio

El presente trabajo de investigación se desarrolló en tres etapas en las que cada una de ellas contempla una cantidad de actividades como se muestra en el esquema metodológico de la Figura 2.

3.3.1 Primera etapa pre-campo

Esta etapa consistió en las visitas a las autoridades de ENACAL de Jinotepe para explicar el estudio que se pretendía realizar en el campo aprovechando los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de Jinotepe, con el propósito de obtener la autorización para establecer la parcela experimental.

Una vez obtenido permiso de ENACAL-JINOTEPE se hizo un reconocimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales y del lugar donde se establecería la parcela experimental y el área potencialmente regable en la zona.

3.3.2 Segunda etapa campo

3.3.2.1 Características del suelo

Para determinar las características del suelo tanto físicas como químicas, se tomaron muestras para conocer las condiciones iniciales del suelo en donde se establecería el cultivo de maíz a ser regado con los efluentes de la planta de tratamiento. El muestreo se realizó considerando profundidades de 20 a 40 cm en sitios escogidos al azar dentro de la parcela.

También se hizo una calicata con el fin determinar las características del perfil del suelo. Esta calicata consiste en un hueco de hasta 1.2 m de profundidad, con dirección al sol, que tiene como propósito un reconocimiento e identificación de cada uno de los horizontes del suelo.

Los análisis de suelos se realizaron en el Laboratorio de Suelo y Agua de la Universidad Nacional Agraria.

ESQUEMA METODOLOGICO DEL ESTUDIO

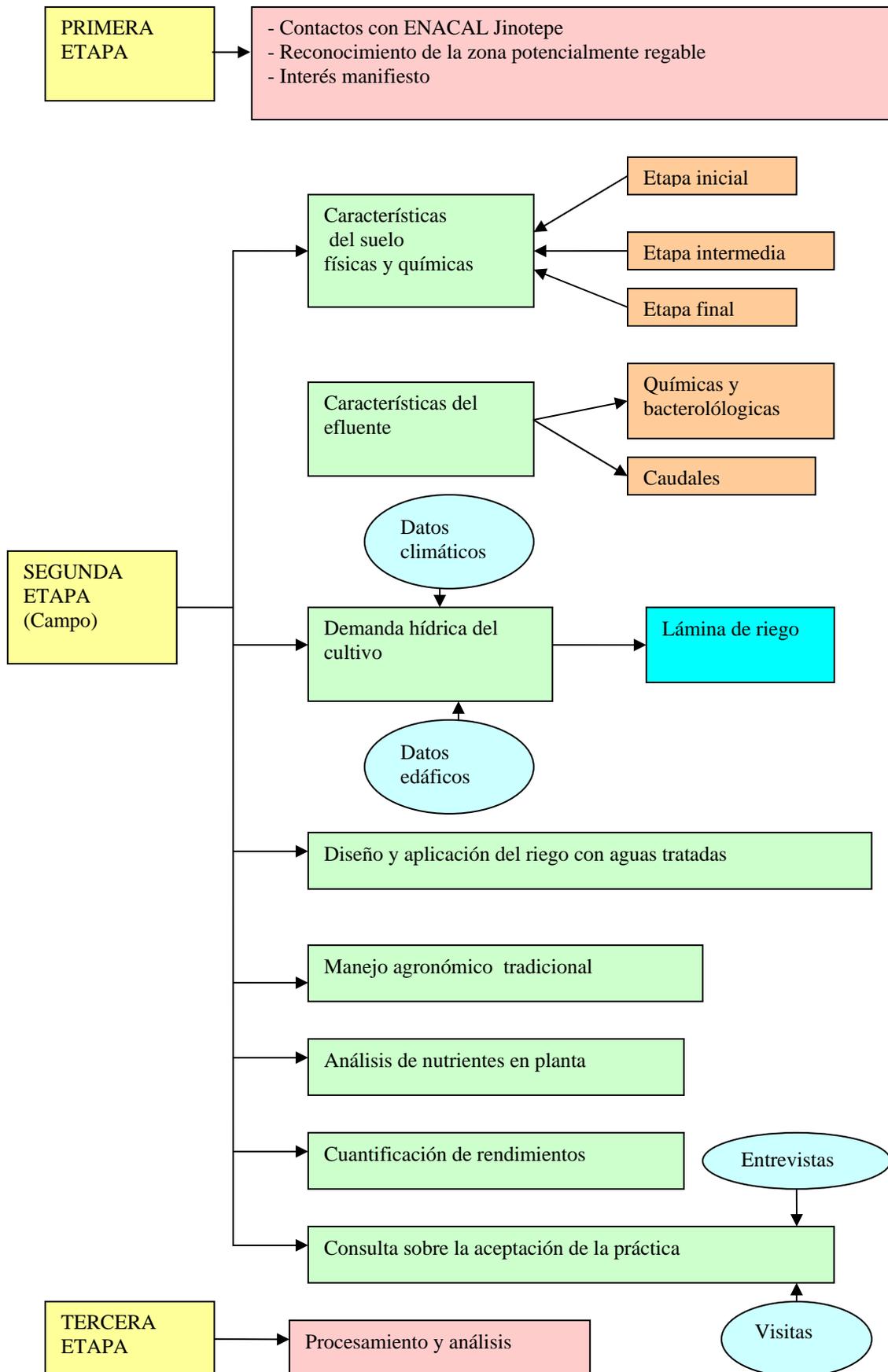


Figura 2. Etapas y secuencia metodológica del estudio

3.3.2.1.1 Características físicas del suelo

Textura del suelo

La textura se refiere a la proporción relativa del contenido de partículas de arena, limo y arcilla (Gavande, 1982). La textura se determinó por el método del hidrómetro de Bouyucos que es un método de sedimentación basado en la relación existente entre la velocidad de precipitación de las partículas y su tamaño; para ello se toma una porción de suelo que se mezcla en un litro de agua en donde se mide con el hidrómetro la densidad de partículas en el líquido para diferentes períodos de tiempos de sedimentación. Las partículas de arena precipitarán a los 40 segundos, posteriormente los limos y quedan las arcillas en la solución como coloides.

De acuerdo al tamaño de las partículas se ubican en el cuadro de clasificación de fracciones de suelo. El hidrómetro marca gramos de suelo por litro de solución y esto posteriormente se lleva a porcentaje para ubicar la clase textural en el triángulo de texturas (Laboratorio de Suelo y Agua, UNA, 2003).

Densidad aparente del suelo

Es la relación entre el peso de la muestra de suelo secado en estufa a 105 °C por 24 horas dividido entre el volumen de la muestra suelo en su estado natural sin alterar (Gavande, 1982). Su valor se expresa en gramos por cm^3 y puede estar comprendido entre 1,0 y 1,8 para suelos minerales.

Para obtener la densidad aparente, se tomaron muestras a profundidades de 0 a 20 cm, de 20 a 40 cm y de 40 a 60 cm.

El método utilizado para determinar la densidad aparente fue el Método del Cilindro de volumen conocido que consiste en un cilindro metálicos de 100 cm^3 de volumen que se introduce en el suelo a la profundidad deseada y se extrae en su interior una muestra de suelo

inalterada que tiene un volumen igual al del cilindro. Esta muestra se seca al horno a 105 °C y posteriormente se obtiene el peso seco para luego obtener la Densidad Aparente mediante la expresión siguiente:

$$Dap = \frac{Pss}{Vt}$$

donde: Dap = Densidad aparente (g/cm³)
Pss = Peso del suelo seco (g)
Vt = Volumen total (cm³)

Capacidad de campo

La capacidad de campo es un parámetro que expresa el contenido de agua de la porción húmeda del suelo, después que se ha perdido el agua gravitacional; por lo que representa la máxima cantidad de agua que el suelo puede retener en contra de la fuerza de gravedad. La fuerza de tensión con la que el agua queda retenida en el suelo equivale a 1/3 de atm.

La capacidad de campo del suelo se determinó por el método de la Olla de Presión que consiste en someter a una presión de 1/3 de atmósfera por 72 horas, a una muestra de suelo que previamente ha sido saturado. Esta muestra es secada al horno a 105 °C por 24 horas y posteriormente se determina la humedad con respecto al peso del suelo seco (Laboratorio de Suelos y Agua, UNA, 2003).

3.3.2.1.2 Características químicas del suelo

Para los análisis químicos del suelo, se tomaron tres submuestras en diferentes puntos de la parcela a profundidades de 20 a 40 cm. El muestreo se hizo antes de establecer el cultivo, en un período intermedio y en un período final una vez concluida su etapa de desarrollo.

Los parámetros químicos que se analizaron en las muestras de suelo y los métodos de análisis se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1 Métodos usados para el análisis de suelos

Tipo de análisis	Métodos
Macronutrientes Primarios	
Nitrógeno total	Destilación de Kjendhal
Fósforo disponible	Extracción de Olsen
Potasio asimilable	Extracción de Olsen
Macronutrientes Secundarios	
Calcio, magnesio: intercambiable	Acetato de amonio 1N pH 7
Micronutrientes	
Boro disponible	Azometina-H
Otros	
Materia orgánica del suelo	Dicromato de potasio (Walkley y Black)
pH del suelo	Potenciómetro
Nitratos	Nitración del ácido salicílico

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua-UNA, 2004

Todos estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria.

3.3.2.2 Área experimental

El área experimental corresponde a 1096.31 m² ubicados en el sector suroeste de la planta de tratamiento de la ciudad de Jinotepe bordeada en su costado este por el canal de desagüe de los efluentes de la misma hacia el cauce El Tigre.

En esta área y otras zonas cercanas se ha sembrado maíz aprovechando la época lluviosa con rendimientos discretos que oscilan entre los 20 y 25 qq/mz equivalente a 1.29 y 1.61 t/ha respectivamente de acuerdo a la información brindada por los agricultores de la zona entrevistados.

3.3.2.3 Establecimiento del cultivo

La preparación del terreno se hizo de la manera tradicional, después de la roza, el arado con bueyes. Se utilizaron tres libras de maíz (*Zea mays* L.) de la variedad NB6 semilla mejorada.

3.3.2.4 Diseño del sistema de riego

Se hizo un levantamiento altimétrico del terreno y se trazaron los surcos con pendiente del 2 % dado las características topográficas del terreno. Un canal regadera en la parte alta del terreno para derivar el agua directamente a los 26 surcos que cubrían el área.

Se instaló una compuerta de madera móvil en el canal de desagüe del efluente de la planta para elevar el tirante y derivar el agua mediante una tubería flexible hasta una caja registradora que abastecía el canal regadera. El control del agua se hacía mediante una válvula en la tubería flexible. En la Figura 3 se muestra el diseño del sistema y las estructuras instaladas para el estudio.



Figura 3. Vista general del diseño del sistema de riego

3.3.2.5 Régimen de riego

El cálculo de las necesidades hídricas del cultivo se hizo por el método de Penman Modificado (FAO, 1984) utilizando los datos climáticos proporcionados por INETER correspondiente al período 1990 al 2002 de la estación Campos Azules (Masatepe) que es la más cercana a la zona del estudio (Anexo 2).

El método de Penman Modificado considera como variables la temperatura, humedad relativa, insolación, velocidad del viento, latitud y altitud de la zona.

Se utilizó una hoja de cálculo electrónica elaborada en el Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX, 1996) para determinar los requerimientos hídricos del cultivo que incorpora todos los cálculos y al final presenta las necesidades de agua del cultivo por cada mes y también las necesidades diarias para el período punta.

3.3.2.6 Lámina de riego

En base a los parámetros físicos del suelo como la capacidad de campo, el punto de marchitamiento y la densidad aparente, se calcularon las láminas de riego a aplicar durante el ciclo del cultivo. Para ello se consideró una profundidad del cultivo de 30, 40, y 50 cm como zona de mayor absorción de agua por parte de las raíces durante el ciclo vegetativo. Aunque se sabe que la profundidad radicular del maíz puede llegar hasta un metro, el 80 % de las raíces se encuentran entre los 30 y 60 cm de profundidad siempre y cuando no haya deficiencia de agua, por lo tanto, el mayor porcentaje de extracción de agua estará en estas profundidades (Withers, 1978; citado por Aguilera y Martínez, 1980).

Las láminas de riego se calcularon mediante la siguiente expresión:

$$Lr = \frac{(CC - PM) \times Dap \times Pr of}{100}$$

Donde:	Lr	=Lámina de riego en mm
	CC y PMP	=Capacidad de campo y punto de marchitamiento en %
	Dap	=Densidad aparente del suelo en g/cm ³
	Prof	=Profundidad radicular del cultivo en mm

A la lámina obtenida se le saca el porcentaje correspondiente al descenso tolerable de humedad (DTH) que en este caso es de 40 % (CEDEX, 1996) para obtener la lámina a aplicar.

Se consideró una eficiencia de riego de un 60 % de acuerdo a lo que se reporta como eficiencia para riego superficial y obtener la lámina a aplicar (CEDEX, 1996).

Con el caudal promedio que se deriva a la tubería de conducción hasta la parcela se estimó el tiempo promedio en cada riego para toda la parcela.

3.3.2.7 Caracterización del efluente

Se tomaron muestras del efluente para el análisis químico y también bacteriológico específicamente los coliformes fecales para establecer la calidad de estos efluentes de acuerdo a lo que establece la legislación nicaragüense en el Decreto 33-95.

Todos los análisis de los efluentes de la planta de tratamiento se realizaron en el Laboratorio de Físico Químico de Agua y de Microbiología del CIEMA-UNI (2003) de acuerdo a las metodologías que este laboratorio tiene establecidas.

Los parámetros que se consideraron para la caracterización química de los efluentes son los que se establecen en la legislación nicaragüense para este tipo de casos contemplados en el Decreto 33-95 “Diposiciones para el control de la contaminación provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuaria” (Gaceta 118 del 26 de Junio de 1995).

Los parámetros analizados fueron los siguientes:

Demanda Bioquímica de Oxígeno: Es la cantidad medida de oxígeno que requieren microorganismos aclimatados para degradar biológicamente la materia orgánica de las aguas residuales. La DBO es el parámetro más importante en el control de la contaminación del agua y se utiliza como una medida de la contaminación orgánica.

Demanda Química de Oxígeno: Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente las sustancias orgánicas que se encuentran presentes en el agua residual.

Los *coliformes fecales*: Son microorganismos que se encuentran en los intestinos de los humanos y otros animales de sangre caliente. La presencia de coliformes fecales en el agua es un buen indicador de la contaminación fecal por lo que sus pruebas se utilizan para establecer la calidad de los efluentes. También se les designa coliformes termoresistentes o termotolerantes.

Sólidos en suspensión: Materia en suspensión que queda una vez que se ha evaporado la parte líquida de una muestra de agua residual. Pueden ser partículas flotantes y/o que son perceptibles a simple vista y tienen la posibilidad de ser separadas del líquido por medios físicos. Generalmente se componen de un 68 % de sólidos orgánicos y un 32 % inorgánicos (Seoanez, 1995).

Conductividad eléctrica: Es una medida indirecta del contenido de sales disueltas en el agua y es una medida de la capacidad que tiene la solución de transmitir corriente eléctrica. Este parámetro es muy utilizado debido a la facilidad de las determinaciones y su precisión.

Análisis de macronutriente (N,P,K,Ca, Mg): Esenciales para el crecimiento de las plantas y su presencia en el agua aumenta su valor para riego. Cuando se vierten en exceso estos macronutrientes pueden llegar a eutrofizar los cuerpos de agua y el exceso en los suelos pueden contaminar aguas subterráneas especialmente el nitrógeno.

Es importante conocer las concentraciones en las que se encuentran algunos elementos en el agua de riego sobre todo por el uso prolongado, debido a las afectaciones en el suelo como ocurre en el caso del sodio que es un elemento dispersante y que puede afectar la estructura del suelo.

En zonas donde se presentan un período lluvioso normal, tanto la acumulación de sodio como de otras sales, se lavan o drenan en esta época, sin embargo, estos elementos son considerados para establecer la calidad del agua para riego.

El pH: El pH del agua afecta la solubilidad de los metales así como la alcalinidad del suelo. El intervalo para pH en agua se sitúa entre 6.5 y 8.5

Los riesgos potenciales por los contenidos de sodio en el agua y que pueden ser perjudiciales para el suelo, se establecieron a través de la Relación de Adsorción de Sodio que considera el contenido de calcio, magnesio y sodio en el agua mediante la siguiente expresión:

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

Donde: RAS = Relación de Adsorción de Sodio (meq/l)^{0.5}

Na = Contenido de sodio en el agua (meq/l)

Ca = contenido de calcio en el agua (meq/l)

Mag = Contenido de magnesio en el agua (meq/l)

Los valores de RAS se ubican en el Diagrama para la Clasificación de Aguas para Riego de Riverside citado por Aguilera y Martínez (1980).

3.3.2.8 Estimación del caudal del efluente

La estimación del caudal del efluente se hizo mediante vertedero y flotadores. En el caso del vertedero, se instaló una compuerta de 65 cm de de alto por 50 cm de ancho y en la parte superior una abertura de 20 cm de alto por 12.3 cm de ancho que sirvió de vertedor rectangular.

Se estimaron caudales durante el día en un período de tiempo que va desde las 07:00 horas hasta las 16:00 horas con mediciones de caudal cada media hora para obtener los máximos durante el día y las variaciones considerando ese período como un período potencial de riego usando estos efluentes.

Los vertedores son estructuras hidráulicas constituidas por una escotadura (rectangular, trapezoidal o triangular) a través de la cual se hace circular el agua. Son usados para la medición de caudales en pequeños cursos de agua.

La fórmula usada, para estimar el caudal mediante este método, es la fórmula de Francis reportada por Arteaga (1983) para este tipo de vertedores, tomando en cuenta la velocidad de llegada debido a que se trata de un canal en el cual se instaló el dispositivo.

$$Q = 1.84 * L * H^{1.5} * \left[1 + 0.26 * \left(\frac{H}{D} \right)^2 \right]$$

Donde: Q = Caudal (m³/s)
L = Longitud del vertedor (m)
H = Altura o Tirante (m)
D = Distancia desde el fondo hasta el nivel del agua (m)

En el caso de los flotadores, estos dispositivos son objetos flotantes que adquieren la velocidad de la corriente en la superficie. Son usados para medir la velocidad en un tramo de corriente y con ello se obtienen aproximaciones ya que se pueden ver afectados por los vientos. La velocidad se estima relacionando la distancia recorrida por el flotador y el tiempo que tarda en hacerlo. Son muy útiles cuando no se dispone de otro tipo de equipos.

Con la velocidad obtenida y con el área promedio de la sección transversal, se puede obtener el caudal mediante la fórmula: $Q = A * V$

Donde: Q es el caudal en m³/s
A es el área de la sección transversal en m²
V es la velocidad del flujo en m/s

Se realizaron tres mediciones en diferentes lugares del canal de salida del efluente.

3.3.2.9 Seguimiento a la parcela

Después del muestreo de suelo al inicio del estudio, se realizó un muestreo intermedio el 6 de Mayo (antes del corte de los chilotes) y un muestreo al final del período de campo una vez cosechado el fruto.

Todo el manejo agronómico que se dio a la parcela se corresponde con el manejo tradicional que hacen los agricultores de la zona para el cultivo de maíz excepto la aplicación del riego que se estableció cada 3 días en correspondencia con la lámina aplicada y las demandas del cultivo.

Se realizaron controles de malezas a los 15 y 40 días después de la germinación del cultivo. La incidencia de plaga fue muy escasa, con excepción del *Atta sp* (Zompopo), la cual se controló con *Lorsban* y el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) por lo que se hicieron las aplicaciones correspondientes de insecticida *Decis* (deltametrina) que es un piretroide de contacto e ingestión como tradicionalmente se hace en la zona.

No se aplicó fertilizante contrario a lo que normalmente se hace en la zona por cuanto se pretendía en el estudio aprovechar los nutrientes contenidos en las aguas residuales tratadas y evaluar este aspecto en el estudio.

3.3.2.10 Análisis en planta

Se tomaron muestras del follaje para hacer análisis del contenido de nutrientes en la planta específicamente del contenido de nitrógeno, fósforo y potasio. Las muestras recolectadas corresponden a plantas seleccionadas al azar escogiendo las hojas que están por debajo de la mazorca de lado opuesto a ella. Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelo y Agua de la Universidad Nacional Agraria y el método utilizado es el de digestión sulfoselénica.

También se tomaron muestras del follaje de plantas de una parcela que se consideró de referencia ubicada muy cercana al área de estudio en donde se sembró el mismo cultivo, pero bajo condiciones de temporal (en la época lluviosa) y siguiendo el manejo tradicional que los agricultores de la zona realizan al cultivo que consiste en el control de malezas, control de plagas y la aplicación de fertilizantes químicos. Estas muestras se tomaron en la etapa fenológica de desarrollo del cultivo similar a la etapa en que se tomó la muestra en la parcela en estudio (etapa de desarrollo de la planta).

3.3.2.11 Rendimientos

En la estimación de los rendimientos se separaron dos parcelas pequeñas para cosecharlas; una de 30 m², y otra de 60 m². Una tercera parcela cosechada corresponde prácticamente al resto del área o sea a 1,096.31 m².

Los rendimientos se obtuvieron por una media ponderada de las dos parcelas seleccionadas.

Como referencia se consideraron los promedios de los rendimientos reportados en la zona para el cultivo de maíz en el período lluvioso que fue de 25 qq/mz que equivale a 1.61 t/ha de acuerdo a la información proporcionada por los agricultores de las parcelas vecinas como don José María Sánchez, Eduardo Zeledón, Juan Vega, Alfonso Chávez y Sergio Chávez.

3.3.2.12 Aceptación de la práctica

Como uno de los aspectos más importantes en este estudio, se hicieron consultas con agricultores de la zona que pudieron observar el desarrollo de la práctica y basados en su experiencia brindaron su opinión principalmente relacionado a:

a) Desarrollo del cultivo, b) economía por el no uso de insumos, c) aprovechamiento de terrenos ociosos en período seco y d) posibilidades de repetir esta práctica.

3.3.3 Tercera etapa

3.3.3.1 Procesamiento de datos

La tercera etapa está referida principalmente al análisis de la información recopilada y hacer comparaciones de los resultados obtenidos en cada uno de los períodos inicial, intermedio y final pero también con otras experiencias en reuso de aguas tratadas para riego.

Se utilizó el programa estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Science) Base 10.0, con el que se analizaron los datos obtenidos de los análisis del suelo muestreado en cada una de las etapas del estudio.

Se hizo el análisis de varianza y comparación de medias para establecer las diferencias referidas principalmente al efecto que el uso de aguas residuales pudiese tener en el suelo y establecer las variaciones en las características físicas y químicas del suelo importantes tanto desde el punto de vista edafológico como de nutrientes para la planta.

IV RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Caracterización del suelo

4.1.1 El perfil del suelo

El suelo agrícola se ha definido como la capa superior de la tierra que puede ser arada y específicamente la capa en la que las plantas crecen (CEDEX, 1996). Esta es una definición muy sencilla para una cuestión muy compleja a causa de la gran variedad del suelo en su composición tanto física como química.

Una característica común a todos los suelos es la aparición de distintos horizontes desde la superficie hacia abajo y que se conoce como el perfil del suelo. La Figura 4 muestra el perfil del suelo en la parcela donde se ha realizado el estudio del aprovechamiento de aguas residuales tratadas para regar el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

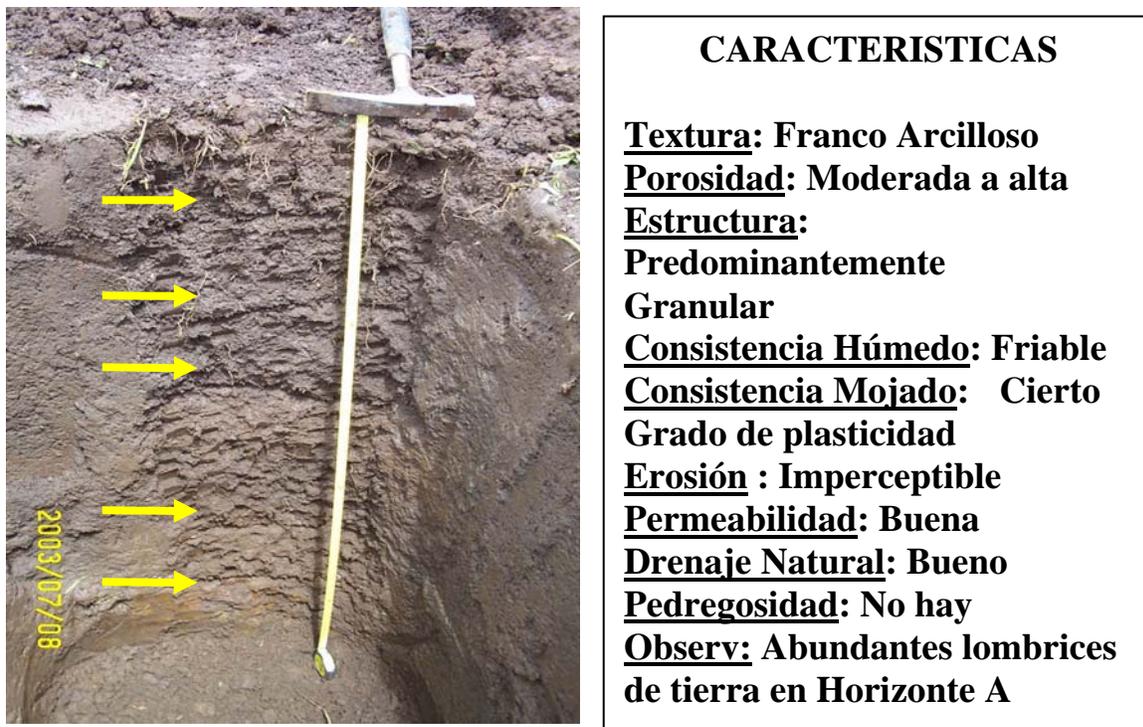


Figura 4. Perfil del suelo en la parcela de estudio del uso de aguas residuales para riego en el cultivo de maíz.

Como se observa en la Figura 4, se tiene un perfil con 6 capas de suelo aunque la última capa es justamente la capa anterior pero con un poco de *Talpetate* fracturado. Es un perfil con las primeras tres capas un tanto homogéneas que corresponden a un horizonte “A” que es un suelo bien desarrollado que ha experimentado muchos cambios con respecto a su material primario y las tres capas siguientes que corresponden a un horizonte “B” .

Su textura homogénea orientada a un suelo franco arcilloso con porosidad moderadamente alta lo que significa ventajas para el movimiento del agua y por lo tanto, ventajas para la aplicación del riego. Con estructura predominantemente granular, un poco de plasticidad cuando está mojado por su contenido de arcilla y el color oscuro en las tres primeras capas revelan el contenido de materia orgánica.

El contenido de raíces en las primeras tres capas hasta una profundidad de 50 cm revela la capacidad de proporcionamiento de nutrientes y agua a esta profundidad que ha tenido ese suelo. Estas capas son las más convenientes para el cultivo por ser la zona de mayor acumulación de materia orgánica (Buckman y Brady, 1985).

Un aspecto importante a señalar es que a pesar de que la pendiente del terreno es mayor que el 3 %, la erosión observada en la descripción del perfil es imperceptible.

De acuerdo a la clasificación taxonómica este suelo corresponde a un *Cumulic-Duric-Argiustolls* que significa un suelo con un horizonte A mayor de 15 cm después del arado, con un régimen de humedad de más de 45 días consecutivos secos, mayormente arcilla, con una capa endurecida y son suelos del orden Molisoles que se han formado por la acumulación de sedimentos en el tiempo.

4.1.2 Características químicas

Los resultados de los análisis de suelo en la parcela de estudio para la fase inicial, intermedia y final se presentan en el Anexo 3.

En el análisis de comparación de medias de los parámetros químicos analizados, no se reflejan, en la mayoría de los casos, diferencias significativas en los valores obtenidos con respecto a las tres fases estudiadas (inicial, intermedia y final) en la mayoría de estos parámetros.

Lo anterior refleja que el riego con aguas residuales no alteraría significativamente en principio las características químicas de los suelos cultivables, sin embargo, existen variaciones propias de la práctica ya que en estos suelos en los que se ha desarrollado un cultivo que impone demanda de nutrientes, no se introdujo ningún fertilizante.

Los Gráficos 1, 2, 3 y 4, muestran los valores comparativos de algunos de los parámetros más importantes desde el punto de vista edafológico como son: materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). Los gráficos de los otros parámetros analizados se presentan en el Anexo 4.

4.1.2.1 Materia orgánica

La materia orgánica contiene cantidades apreciables de nitrógeno, fósforo y azufre que se transforman en asimilables por las plantas al producirse su descomposición y por otro lado, produce sustancias que hacen más accesibles los nutrientes para las plantas además de contribuir entre otras cosas con la retención de humedad del suelo (CEDEX, 1996). En el Gráfico 1 se muestran los valores medios del contenido de materia orgánica en el suelo comparando las tres fases del estudio.

Los valores obtenidos no reflejan diferencias significativas entre una fase y otra fase especialmente entre la inicial y la final por lo que se establece que no se tuvieron efectos sobre el suelo con respecto a este importante parámetro por el uso del agua residual en el riego del cultivo de maíz en ese suelo, durante todo el ciclo vegetativo.

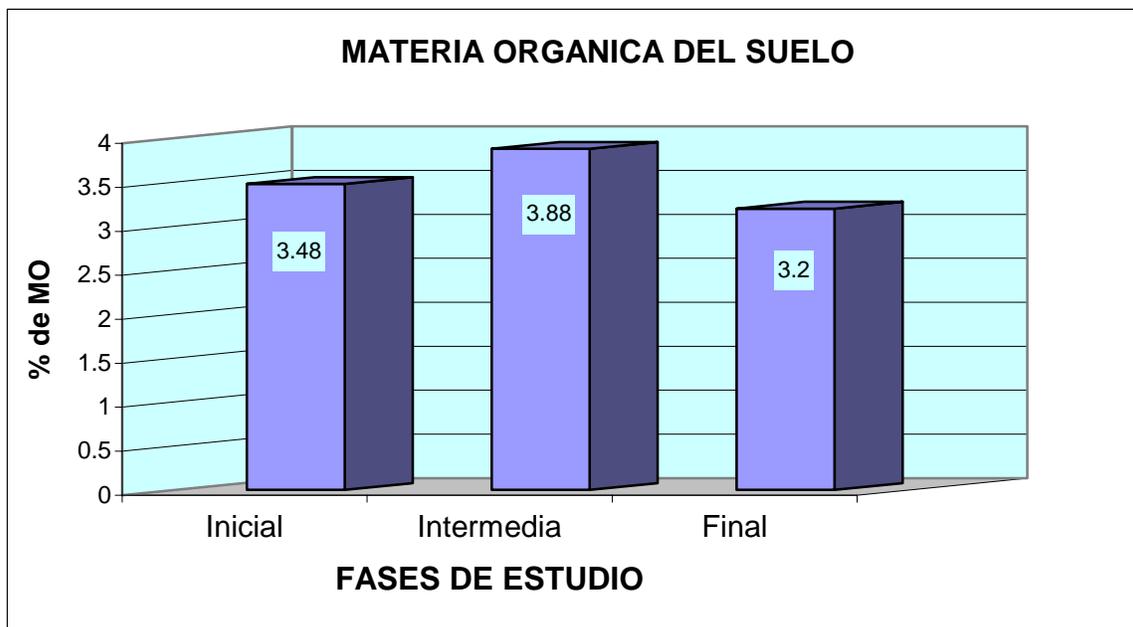


Gráfico 1. Materia orgánica contenida en el suelo en las tres fases del estudio (valores promedio).

En el gráfico se observa un ligero incremento en la fase intermedia con respecto a la fase inicial pero que luego decrece en la fase final cuando ya se ha retirado el cultivo y ha caído la primera lluvia del período lluvioso.

4.1.2.2 Nitrógeno total

El nitrógeno en el perfil del suelo, sigue el mismo patrón que la distribución de la materia orgánica ya que aproximadamente el 99 % del nitrógeno del suelo se encuentra en forma orgánica formando parte de las proteínas presentes en la materia orgánica del suelo (CEDEX, 1996).

El Gráfico 2 presenta el contenido de nitrógeno total en el suelo de la parcela en estudio correspondiente a una fase inicial, intermedia y final en la que no se observa ninguna variación al final del estudio con respecto a las condiciones en las que se encontraba el suelo, con respecto a este elemento, considerando que no se aplicó ningún tipo de fertilizante durante el período de estudio, aprovechándose los nutrientes contenidos en las Aguas residuales.

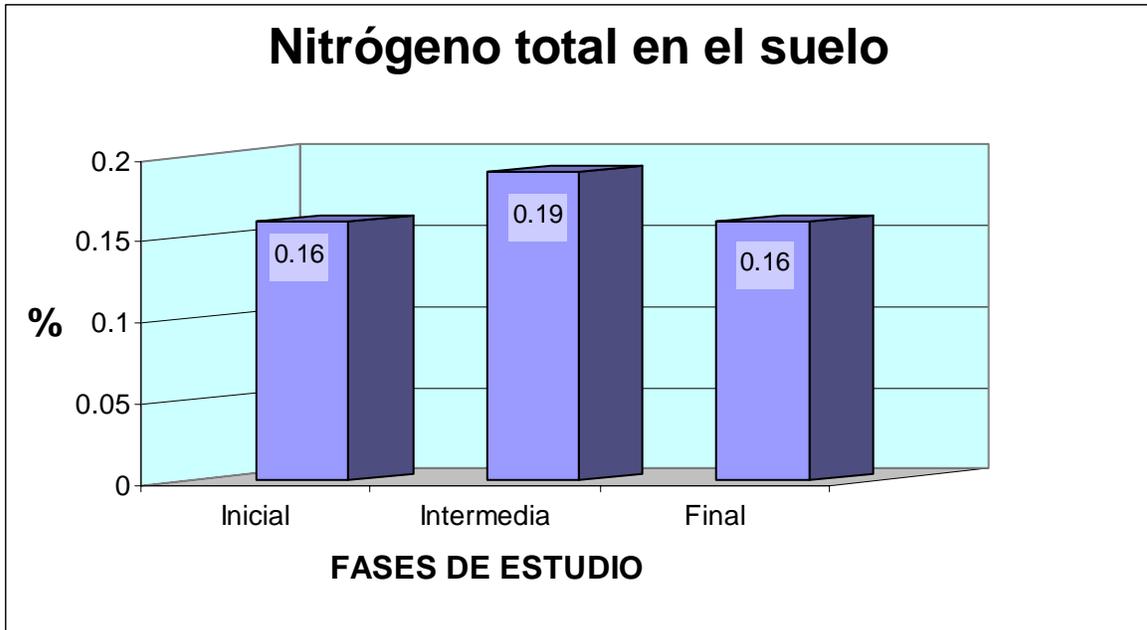


Gráfico 2. Contenido de nitrógeno total en el suelo en las tres fases del estudio (valores promedio)

Considerando el rango de “Clasificaciones aproximada de nutrientes en suelos de Nicaragua” (Quintana *et al*, 1992), los valores obtenidos se pueden considerar de medios a altos para este caso y no se observa ningún efecto en el suelo por el uso del agua residual tratada.

De acuerdo a la composición química del suelo, se pueden distinguir tres formas de elementos nutrientes: a) No asimilables, b) Intercambiables, que solamente son parcialmente asimilables por las plantas y c) En forma de disolución, que es fácilmente asimilable (Buckman y Braddy, 1985)

Lo anterior admite que la forma en disolución es la más asimilable y que el agua del suelo tiende a disolver gran parte de los iones con los que entra en contacto y además que esta disolución es la forma iónica con mayor movilidad.

Los iones se mueven libremente en el seno de la solución del suelo mientras que los que se encuentran en la superficie de las partículas y de los compuestos orgánicos oscilan en menor grado y limitado a la superficie en la que se encuentran (CEDEX, 1996).

Cabe entonces en este contexto la aseveración de que la aplicación al suelo de una solución conteniendo los nutrientes necesarios para las plantas puede ser una de las prácticas más eficientes y seguras que garantizan un aprovechamiento oportuno y efectivo de estos nutrientes.

4.1.2.3 Fósforo disponible y potasio asimilable

Las valores que se obtuvieron del contenido de fósforo disponible en el suelo en las tres fases de estudio son bajos (pobre) de acuerdo al rango de “Clasificaciones Aproximada de Nutrientes de Nicaragua” (Quintana *et al*, 1992) y se presentan en el Gráfico 3.

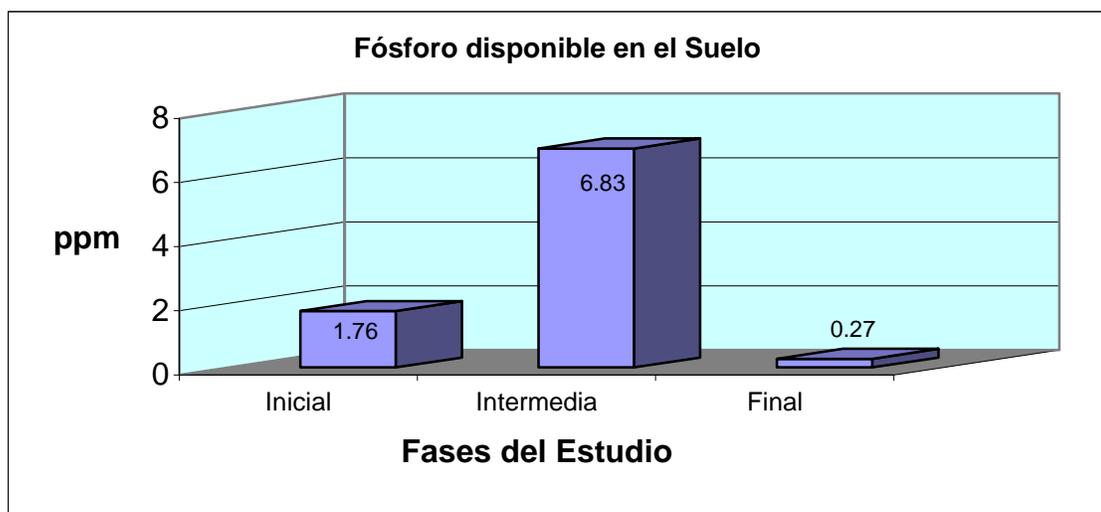


Gráfico 3. Contenido de fósforo disponible en el suelo en las tres fases de estudio (valores promedio)

Buckman y Brady (1985) señalan que aún los más simples compuestos de fósforo son casi insolubles en muchos suelos. Como resultado, este elemento es doblemente crítico ya que se encuentra en cantidades totales bajas y asimilación muy baja para las plantas.

Los valores que se observan son bajos con un incremento relativo en la fase intermedia que fue donde se estuvo aplicando el agua residual, sin embargo, al final se tienen valores nuevamente bajos. Cabe indicar que por el tipo de planta de tratamiento hay una mayor remoción de estos nutrientes, por lo tanto, los valores contenidos en el agua también son bajos.

El incremento en la fase intermedia con respecto a la fase inicial, se puede entender como producto del contenido de este elemento en el agua residual aplicada, pero los valores muy bajos reflejados en la última fase se entiende como producto de la absorción por la planta. Esto se explica al comparar el contenido de este elemento en la planta regada con agua residual y la planta a la que se ha aplicado fertilizante inorgánico las cuales presentan valores muy cercanos.

En el caso del potasio asimilable que se presenta en el Gráfico 4 y cuyos valores son considerados altos (Quintana *et al*, 1992), se observa un incremento en la fase intermedia decreciendo nuevamente en la fase final con valores que aun se consideran altos en el suelo (con un comportamiento similar al fósforo).

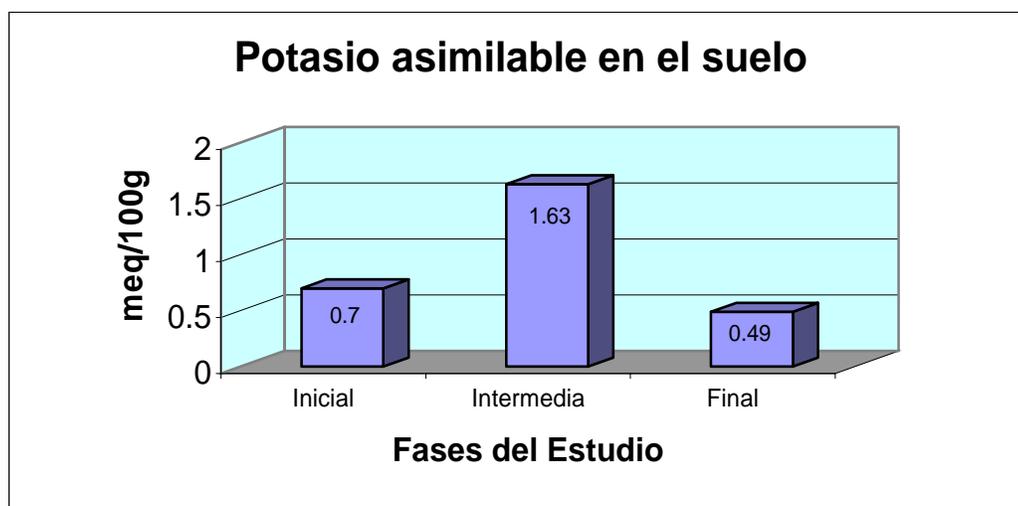


Gráfico 4. Contenido de potasio asimilable en el suelo en las tres fases de estudio (valores promedio)

4.1.2.4 Calcio y magnesio intercambiable

Los contenido tanto de calcio como de magnesio en el suelo son altos (Quintana *et al*, 1992) y sus valores se presentan en el Anexo 4. En estos dos casos se observa una disminución de los valores con respecto a las fases del estudio ya que al inicio se tienen valores mayores que van decreciendo en la fase intermedia y decrecen aún más en la fase final. Sin embargo, aún en esta última fase se conservan concentraciones altas. Lo anterior se interpreta por la variación en la extracción por parte de la planta en sus distintos estadios de crecimiento.

4.1.2.5 Sodio intercambiable

El sodio es uno de los elementos más importantes a estudiar en un suelo potencialmente regable por las incidencias, tanto en las características físicas del suelo como en las características químicas, cuando se tiene concentraciones de sodio en la solución del suelo elevadas. Los valores del contenido de sodio encontrado en el suelo en cada una de las fases del estudio se presentan en el Gráfico 5.

Como se observa en el Gráfico 5, en la fase inicial este elemento no fue detectado en la muestra analizada, sin embargo, ya en una fase intermedia se tienen valores que se incrementaron en la muestra analizada de la fase final.

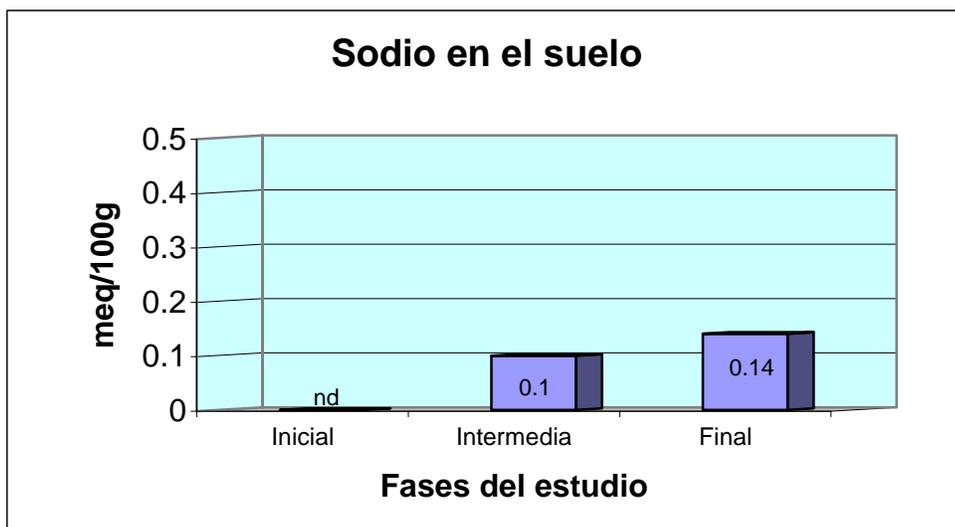


Gráfico 5. Variación del contenido de sodio intercambiable en el suelo (valores promedio)

Es importante señalar que el sodio es un dispersante del suelo que modifica su estructura, por lo tanto, es necesario considerar este elemento cuando se trata de aplicaciones de riego ya que el contenido de sodio determina en buena medida la calidad del agua para riego. Por otro lado, el peligro de desplazamiento del calcio y del magnesio por el sodio, en el complejo de intercambio, empieza cuando se incrementa el contenido de sodio (Aguilera y Martínez, 1980).

Los peligros que puede representar un incremento del sodio en la fase final se disminuyen en la zona con la llegada de la época lluviosa por cuanto en este período se produce un lavado de sales de manera natural y la concentración de estos elementos disminuye considerablemente.

Los peligros de salinidad y sodicidad en los suelos se han disminuido con la práctica del lavado de sales que consiste en aplicaciones de agua en exceso para lixiviar estos elementos principalmente en zona donde no se tiene una estación lluviosa establecida que no es el caso de la zona de estudio, por lo tanto, un incremento del sodio en la fase final no representa un serio peligro para este suelo agrícola.

4.1.2.6 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

En los valores obtenidos de la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo regado con aguas residuales tratadas son altos (Quintana *et al*, 1992) y no se observan diferencias significativas entre una fase inicial del estudio y una fase final por lo que se infiere que no hay efectos significativos sobre esta propiedad del suelo. De lo anterior se desprende que la práctica del riego con agua residual no representa ningún problema a esta característica del suelo ya que en este caso particular, es favorable. El Gráfico 6, muestra los valores de la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo.

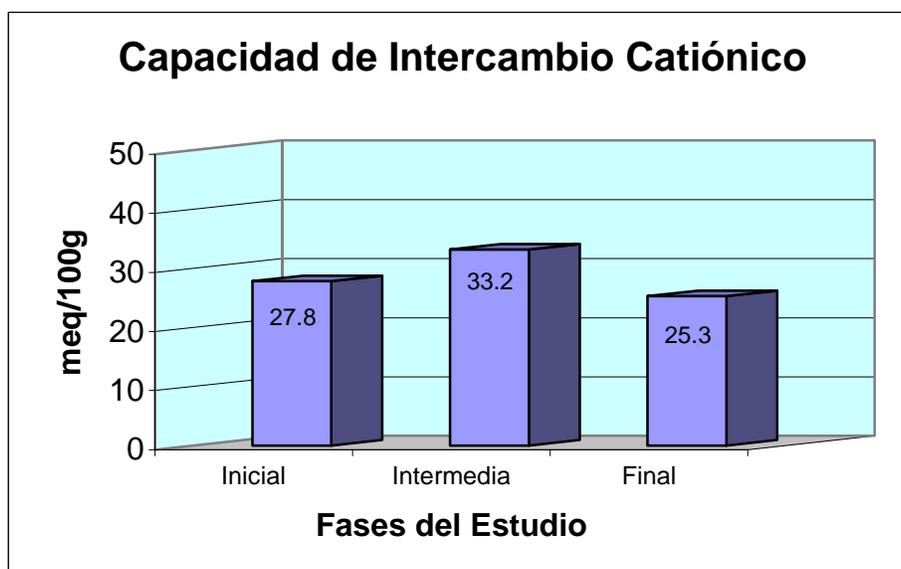


Gráfico 6. Variación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (valores promedio).

Aguilera y Martínez (1980) señalan que la CIC mide la cantidad de cargas negativas del suelo y tiende a ser mayor en suelos con mayores contenidos de arcilla ya que los coloides del suelo, como la arcilla y coloides orgánicos, exponen mucha superficie de contacto, y por consiguiente son las más activas del suelo tanto física como químicamente. Esto coincide con las características del suelo estudiado.

4.1.2.7 Micronutrientes en el suelo

Los micronutrientes en el suelo como el hierro, cobre y zinc que se presentan en el Anexo 3, presentan valores altos según Quintana *et al.* (1992). Esto beneficia a las plantas, sin embargo, en concentraciones mayores pueden llegar a ser tóxicos para las mismas.

Reuter y Robinson (1986), establecen los rangos en las plantas de maíz en que estos elementos pueden llegar a ciertos grados de toxicidad. Sin embargo, los valores encontrados en el suelo están muy por debajo de estos niveles.

4.1.3 Características físicas del suelo

4.1.3.1 Textura del suelo

La textura del suelo de la parcela estudiada es franco arcilloso de acuerdo a los análisis del Laboratorio de Suelo y Agua de la UNA (2003) y esta es una de las propiedades más importantes del suelo por cuanto no cambia al ser sometido este factor a cualquier práctica agrícola convencional. Es por eso que se le considera propiedad fundamental del suelo que determina en alto grado su valor económico (Gavande, 1982).

Las texturas de las parcelas cercanas a la planta de tratamientos y que representan el área potencialmente regable, van de suelo franco a suelo franco arcilloso (LABSA-UNA, 2003). Esto significa suelos con drenaje de moderado a medio pero con media a alta capacidad de retención de humedad y aporte de nutrientes.

4.1.3.2 Densidad aparente del suelo

Como una de las propiedades más útiles en el estudio de la física de los suelos, la densidad aparente no presenta diferencias significativas entre una fase inicial, intermedia y final del ciclo de desarrollo del cultivo bajo riego con aguas residuales tratadas en la práctica establecida.

Los valores obtenidos son de 1.31 g/cm^3 para la fase inicial, 1.34 g/cm^3 para la fase intermedia y 1.28 g/cm^3 para la fase final del estudio por lo tanto no se reflejan efectos en el suelo por el uso de esta práctica. Los valores se muestran en el Gráfico 7.

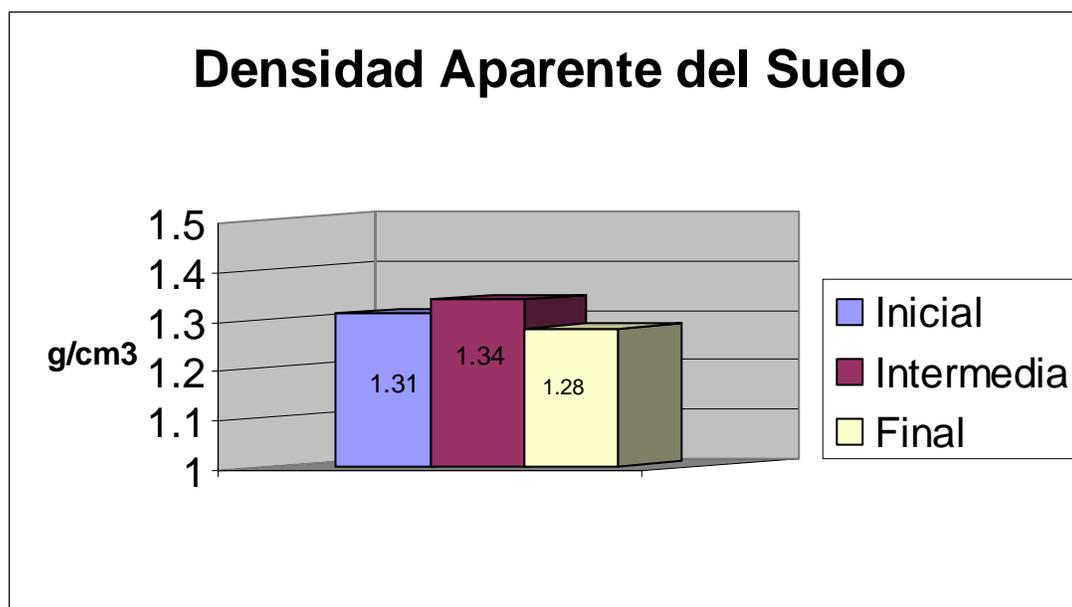


Gráfico 7. Densidad aparente del suelo en las tres fases del estudio (valores promedio)

4.1.3.3 Capacidad de campo

Esta característica del suelo indica la capacidad de almacenamiento de agua (desde el punto de vista de abastecimiento para los cultivos) que tiene este factor ambiental y presenta los valores siguientes: 28.48 % para la fase inicial, 31.96 % para la fase intermedia y 29.40 % para la fase final. Los valores de la capacidad de campo se muestran en el Gráfico 8.

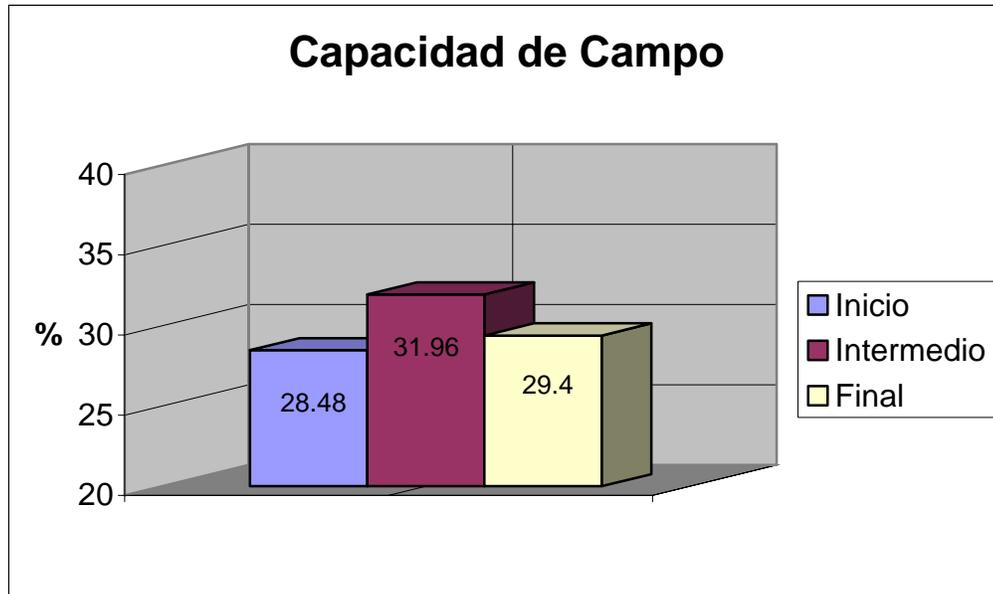


Gráfico 8. Capacidad de campo del suelo para una fase inicial, intermedia y final del ciclo del cultivo (valores promedio).

Como se puede observar en el Gráfico 8, las variaciones en los valores de capacidad de campo de este suelo se corresponden con las variaciones que se tienen en la materia orgánica del suelo ya que precisamente la materia orgánica en el suelo contribuye significativamente al almacenamiento de agua en el suelo (Aguilar y Martínez, 1980). Sin embargo, los valores obtenidos estadísticamente, no representan variaciones significativas con respecto a las tres fases del muestreo, por lo tanto, se establece que no hay efecto sobre este parámetro por el uso del riego al cultivo con aguas residuales tratadas.

4.1.3.4 Porosidad del suelo

La porosidad del suelo que representa el total del espacio en el suelo que puede ser ocupado por agua o por aire, se ha determinado a partir de la densidad aparente y la densidad real. Sus valores corresponden a 51.48 % para la fase inicial, 50.37 % para la fase intermedia y 52.59 % para la fase final.

Dado que la porosidad total expresa el porcentaje del volumen tanto de macroporos como de microporos que pueden ser ocupados por agua y/o aire, es posible obtener el porcentaje de macroporos considerando que el porcentaje de microporos corresponde al valor de la capacidad de campo pero expresado como el porcentaje de humedad con respecto al volumen. Los valores se expresan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Parámetros físicos del suelo en las tres fases del estudio (valores promedio)

FASES	Porosidad % del volumen	Capacidad de Campo % del peso	Densidad aparente g/cm³	Capacidad de Campo % del volumen	Macroporos % del volumen
Inicial	51.48	28.48	1.31	36.00	15.48
Intermedia	50.37	31.96	1.34	42.82	7.55
Final	52.59	29.4	1.28	37.63	14.99

Los valores reflejan a un suelo con buen drenaje, sin embargo, con una considerable capacidad de almacenamiento de agua que va de media a alta ya que no hay variaciones considerables al comparar el antes y después del estudio, por lo tanto, no se perciben efectos en este parámetro por la práctica establecida.

4.2 Caracterización del efluente

4.2.1 Caudal del efluente

El caudal del efluente medido con vertedor rectangular instalado en el canal de salida en un período de 9 horas durante el día se presenta el Gráfico 9. El período de medición que inició a las 7:30 AM y concluyó a las 3:30 PM se corresponde con el período potencialmente regable durante el día.

El caudal máximo durante un día típico corresponde a 14.8 l/s y se presenta alrededor de las 10:30 AM Sin embargo se tienen caudales máximos para otros días de hasta 16.28 l/s.

Cabe señalar que el caudal promedio de diseño es de 14.40 l/s y que mediciones hechas con flotadores en el canal alcanzaron valores de caudales máximos de hasta 17.2 l/s siempre por debajo del caudal máximo de operación que es de 20 l/s.

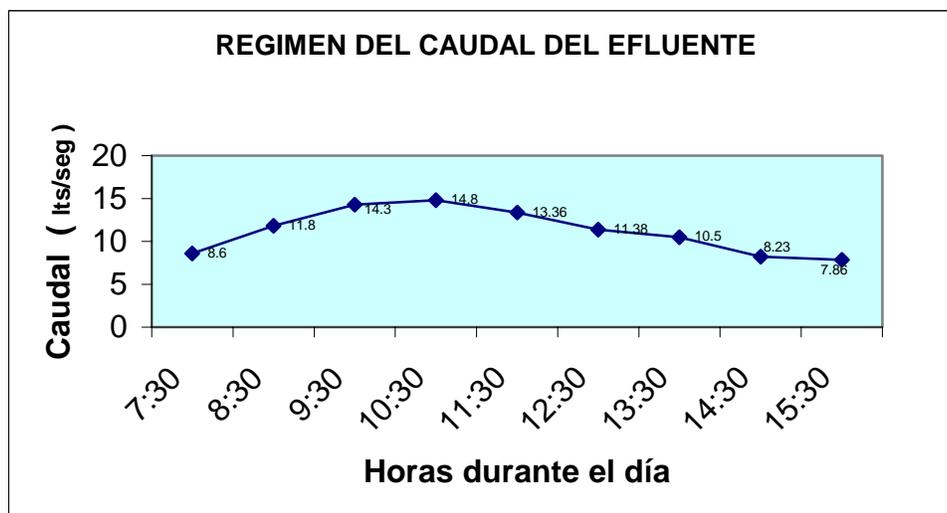


Gráfico 9. Distribución del caudal del efluente en el período normal de riego

4.2.2 Características químicas y bacteriológicas del efluente

Las características químicas y bacteriológicas del efluente con el que se regó el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la parcela de estudio se presenta en la Tabla 3.

En Nicaragua no se cuenta aún con una normativa técnica ambiental para el uso agrícola de las aguas residuales domésticas en la producción de cultivos como el maíz. Sin embargo, en el Decreto 33-95 (Disposiciones para el control de la Contaminación Proveniente de las Descargas de Aguas Residuales Domésticas Industriales y Agropecuarias) establecen, en su artículo 57, los límites máximos permisibles para el uso de aguas residuales tratadas para la producción de cultivos hortícolas (Anexo 5).

El CEPIS (2002) señala que las Directrices sanitarias de la Organización Mundial de la Salud (1989) establecen el reúso para riego restringido a plantaciones forestales, cereales, cultivos industriales, frutales y forrajes, niveles menores de 1 huevo/litro de nemátodos y sin aplicación para niveles de coliformes fecales.

Tabla 3. Características químicas y bacteriológicas del efluente y comparación con el Decreto 33-95

Parámetro	Unidad	Valor o Concent. de efluente PTAR Jinotepe	Decreto 33-95		Límites para cultivos cat "B" restric. media ²
			Vertidos a cuerpos de agua superficial	Para uso en riego cultivos hortícolas	
pH		7.15	6 – 9	6.5 -8.5	
Dureza total	mg/l	146.4			
Dureza cálcica	mg/l	60.00			
Oxígeno disuelto	mg/l	<0.05			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/l	92.00	90	120	200
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	258.7	180	200	
Fósforo total	mg/l	3.00			5
Nitrógeno Kjendhal	mg/l	7.28			15
Sólidos suspendidos totales	mg/l	430.00	80	120	
Sólidos disueltos	mg/l	47.00			
Potasio	mg/l	15.40			
Sodio	mg/l	48.10			
Calcio	mg/l	24.05			
Magnesio	mg/l	9.33			
Cloruros	mg/l	108.0			
Conductividad eléctrica (CE)	µmhos/cm	738		200	4000
RAS (Relación de Adsorción de Sodio)	(meq/l) ^{1/2}	2.10			6
Coliformes fecales	NMP/100ml	1*10 ⁷	1*10 ³	1*10 ³	1*10 ⁴
Coliformes totales	NMP/100ml	1*10 ⁷			
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100ml	4*10 ⁶			
Huevos de helminto	Huevos por litro	5*10 ²		1	

Los valores que reflejan los parámetros del efluente analizados no cumplen en su totalidad los requerimientos especificados para vertidos a los cuerpos de aguas superficiales establecidas en las normativas nicaragüenses, como los sólidos suspendidos totales, la DQO y los coliformes fecales. Estos efluentes descargan al cauce El Tigre tributario del Río Grande de Carazo.

² Propuesta de Norma Técnica Ambiental para Regular los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y su reuso (MARENA 2005 Documento en discusión aun no aprobado a la fecha).

Los nutrientes contenidos en el agua residual tratada como el nitrógeno, el fósforo y potasio, calcio, magnesio y sodio, reflejan valores que están dentro de los rangos de valores normales en aguas de riego que ha establecido la FAO (1984).

El contenido de nutrientes en el agua para riego es una evidencia de que se puede tener un agua de mejor calidad en cuanto a contenido de estos nutrientes y que pueden ser aprovechados por el cultivo por cuanto estarán disponibles en la solución del suelo. Sin embargo, valores que exceden los límites establecidos por las directrices de la FAO (1984), pueden crear un grave problema tanto para el suelo como para el cultivo (FAO, 1984).

De acuerdo al diagrama para la clasificación de Aguas para Riego de Riverside citado por Aguilera y Martínez (1980), el agua utilizada desde el punto de vista de su salinidad, medida a través de la conductividad eléctrica, se ubica como de calidad C_2 (aguas de clase media) que significa aguas que pueden usarse sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad siempre y cuando los cultivos a los que se le aplique no tengan altos grados de sensibilidad a las sales.

En cuanto a la Relación de Adsorción de Sodio, su valor es bajo de acuerdo al mismo diagrama y se ubica como agua de calidad S_1 (aguas de clase baja) que significa que puede usarse para riego en la mayoría de los suelos con poca posibilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable.

4.3 Régimen de riego

4.3.1 Diseño del sistema

El riego con aguas residuales implica consideraciones especiales. Es por ello que se toma en cuenta las partículas contenidas en el agua residual tratada cuando se tiene riego por aspersión, microaspersión o goteo. Por otro lado, es importante indicar que la aspersión o microaspersión puede depositar sobre las hojas y fruto partículas u organismos que afectarían la calidad del producto final sobre todo si el agua no tiene la calidad sanitaria adecuada.

Lo anterior sugiere el uso del riego por gravedad y específicamente por surcos para el tipo de cultivo establecido en el estudio como el maíz (*Zea mays* L.). El diseño del sistema de riego en la parcela se presenta en las Figuras 5 y 6.



Figura 5. Estructura de retención y conducción del agua.

Un pequeño canal conduce el agua que se deriva de una caja de distribución en la parte más alta de la parcela, y la lleva hasta los surcos. El caudal proviene de un pequeño almacenamiento temporal logrado mediante una compuerta instalada en el canal de descarga del efluente, en donde el agua a utilizar en el riego se conduce mediante una manguera flexible hasta la caja de distribución en la parcela como se observa en la Figura 6.

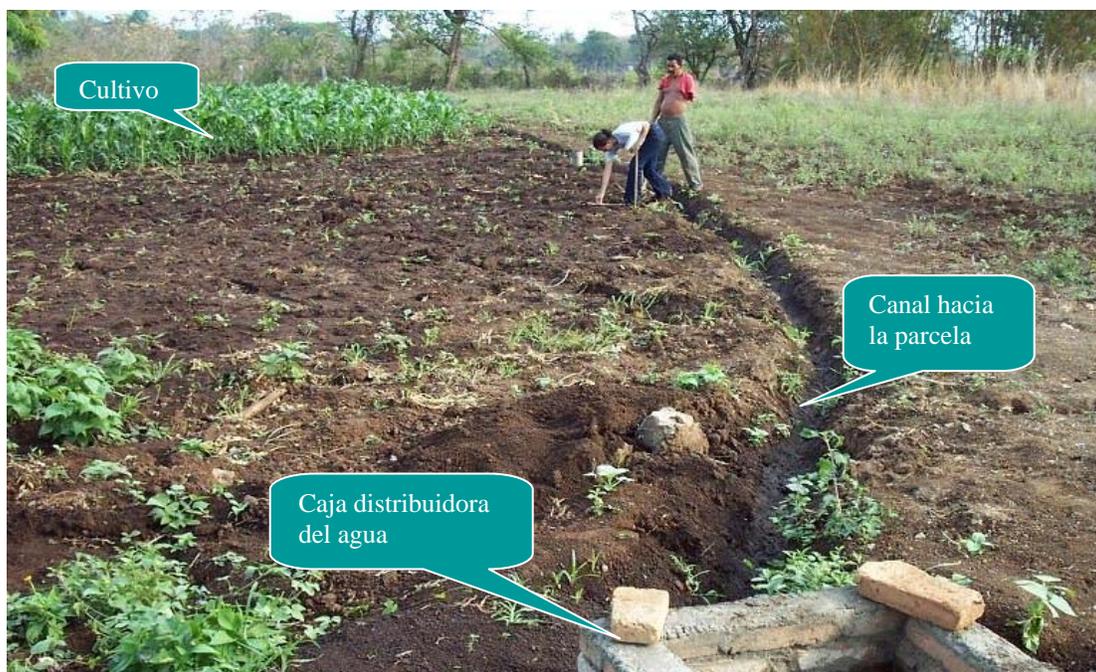


Figura 6. Sistema de riego en la parcela.

4.3.2 Demanda hídrica del cultivo

Las necesidades hídricas del cultivo para el período de estudio se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Demanda hídrica del cultivo

MES	ET _o mm/día	K _c	ET _c mm/día	ET _c mm/mes
Marzo	6.94	0.65	4.51	139.84
Abril	6.94	0.90	6.25	187.32
Mayo	5.46	1.05	5.73	177.66
Junio	4.59	0.95	4.36	130.81
Julio	5.59	0.8	4.67	138.67

ET_o = Evapotranspiración Potencial

K_c = Coeficiente del Cultivo (FAO 1980)

ET_c = Evapotranspiración del Cultivo

La demanda hídrica corresponde a la cantidad de agua que requiere el cultivo diariamente para un normal desarrollo. Estas demandas dependen de las características del cultivo a través del coeficiente del cultivo y de los parámetros climáticos de la zona.

El cálculo completo de las necesidades hídricas del cultivo desarrollado por el método de Penman mediante una hoja electrónica considerando la información climática de la Estación de Campos Azules (INETER, 2003) se presenta en el Anexo 6.

4.3.3 Láminas de riego

La lámina de riego representa la cantidad de agua a aplicar al suelo para satisfacer las necesidades del cultivo (Aguilera y Martínez, 1980). Se ha obtenido en base a las características físicas del suelo, la profundidad radicular y tolerancia del cultivo al descenso de humedad. (Anexo 7). La Tabla 5, presenta las láminas de riego aplicadas al cultivo durante el período de estudio.

Tabla 5. Láminas de riego estimadas y aplicadas

MES	LAMINA ESTIMADA mm/riego	LAMINA APLICADA mm/riego	INTERVALO DE RIEGO Días
Marzo	19.61	30	3
Abril	26.10	40	3
Mayo	32.70	50	3
Junio	32.70	50	3

La diferencia entre la lámina estimada y la lámina aplicada corresponde a aspectos prácticos del riego. Esto significa que se aplicó una lámina menor al inicio y luego se aumentó en los siguientes períodos debido al incremento de la profundidad radicular del cultivo y por consiguiente a la necesidad de mantener la humedad en el suelo.

Los intervalos de riego están basados en la relación entre la lámina aplicada y la evapotranspiración diaria del cultivo. Es por ello que se estableció un intervalo de riego de 3 días considerando la eficiencia para este tipo de riego es de cerca del 60 % (CEDEX, 1996).

Otro aspecto importante considerado en la planificación del riego fue la fácil adopción que pudiera tener esta práctica para los agricultores de la zona ya que el riego en esta zona es una práctica poco común por lo tanto, debe presentarse a estos agricultores como una actividad fácil de implementar.

4.4 Nutrientes en la planta

Las plantas absorben los nutrientes de la solución del suelo por lo que si en el suelo hay nutrientes pero no hay humedad, éstos no podrán ser tomados por la planta y en consecuencia se frenará su desarrollo.

En el Gráfico 10, se presentan los resultados de análisis de plantas (específicamente en el follaje) que fueron regadas con agua residual y plantas que no fueron regadas con agua residual pero sí fertilizadas con el tratamiento que tradicionalmente hacen los agricultores de la zona con el cultivo de maíz que se siembra en la época lluviosa.

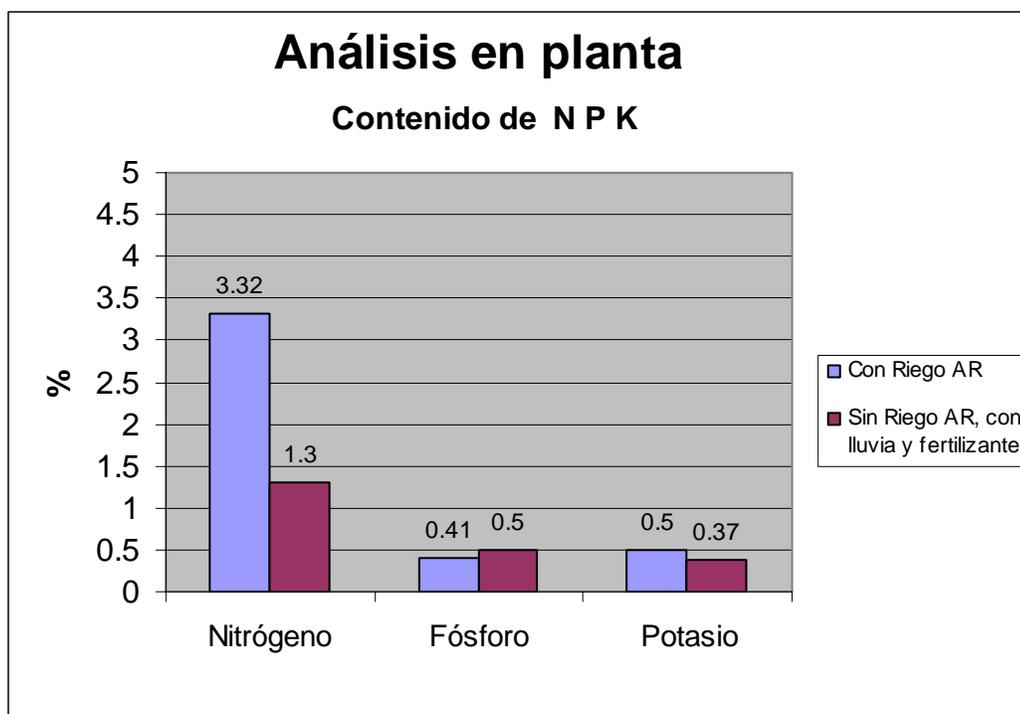


Gráfico 10. Contenido de nutrientes en las hojas de las plantas (valores promedio).

Los nutrientes analizados corresponden al nitrógeno, fósforo y potasio, por cuanto son los elementos comúnmente contenidos en los fertilizantes que aplican los agricultores de la zona.

Como se observa en la Gráfica 10, el porcentaje correspondiente al contenido de nitrógeno en las plantas regadas con agua residual supera en un 153 % al contenido en el follaje de plantas que no se regaron con agua residual tratada pero que sí se fertilizaron de acuerdo al manejo tradicional que se hace al cultivo en la zona en la época lluviosa.

En cuanto al fósforo hay una diferencia muy pequeña en la que la planta regada con agua residual es ligeramente inferior con respecto a la plantación fertilizada y en el caso del potasio nuevamente se tienen valores superiores en las plantas regadas con agua residual correspondientes a un 35 % con respecto a las plantas fertilizadas.

Reuter y Robinson (1986), reportan rangos de nitrógeno en plantas que van de 2.6 a 4.0 % en la etapa final del cultivo y valores de fósforo en rango de 0.25 a 0.4 % en algunos sitios y hasta de 0.41 a 0.5 % en otros.

Los valores observados en el Gráfico 10 reflejan, por un lado, el aprovechamiento de los nutrientes contenido en el agua residual tratada pero también refleja el ahorro económico que significa la no aplicación de fertilizantes si se está regando con aguas residuales tratadas y que actualmente se tiran al cauce del río.

El costo que representa la fertilización química para los agricultores de la zona según reporta Gamez (2001), es de \$ 60.9/ha. Este monto puede separarse de los costos de producción al utilizarse los efluentes de la planta de tratamiento para el riego.

Es importante señalar que la diferencia que se establece en cuanto al nitrógeno, demuestra que el riego con aguas residuales es una buena opción en el caso de forrajes (pasto para el ganado) en los que interesa un mayor desarrollo del follaje aprovechando más eficientemente los nutrientes contenidos en el agua.

4.5 Rendimientos del cultivo

El maíz es uno de los cultivos de mucha importancia para la seguridad alimentaria del país y por consiguiente, la preocupación por lograr mejores rendimientos es un aspecto compartido por todos los miembros de la sociedad nicaragüense en general y del sector agropecuario en particular.

Los rendimientos obtenidos en las parcelas seleccionadas fueron los siguientes:

- Parcela de 30 m² con un rendimiento de 16.2 libras equivalente a 7.35 kg
- Parcela de 60 m² con un rendimiento de 35 libras equivalente a 15.88 kg

El promedio ponderado de estas dos parcelas corresponde a un rendimiento de 2.58 t/ha. Los productores en las parcelas vecinas, aún aplicando fertilizantes, obtienen tradicionalmente rendimientos de 25 qq/mz que corresponde a un rendimiento equivalente a 1.61 t/ha. La aplicación de fertilizantes que tradicionalmente realizan los productores de la zona, corresponde a un quintal de urea y un quintal de fertilizante completo que aumentan sus costos de producción.

El Gráfico 11 muestra los rendimientos obtenidos en la parcela cultivada y regada con aguas residuales tratadas comparado con los rendimientos tradicionales en la zona que se corresponden con los obtenidos en las parcelas vecinas al área de estudio, desarrollados en el mismo año y en la época lluviosa.

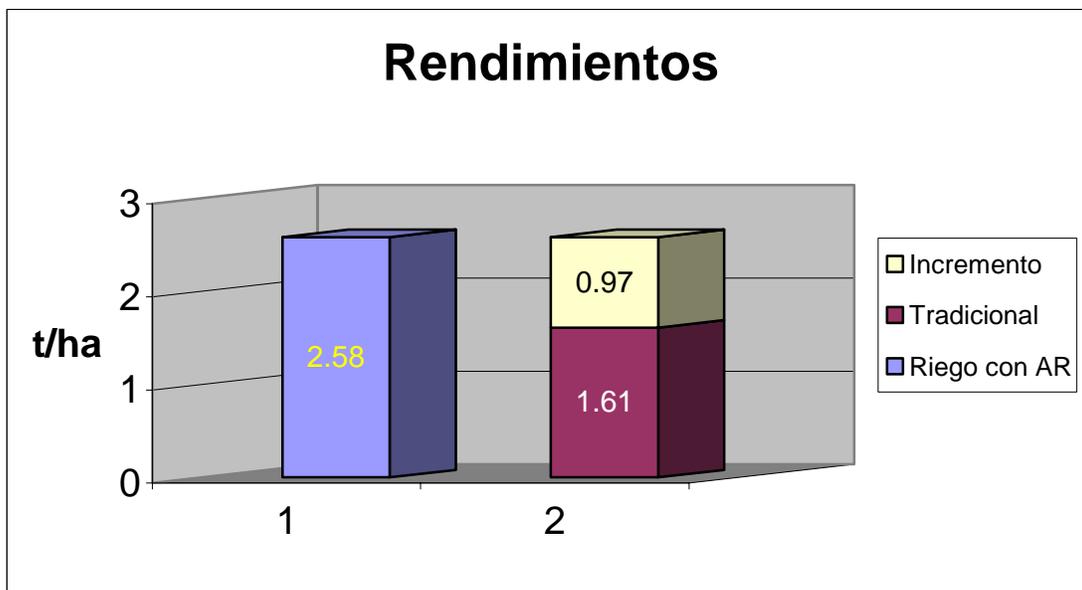


Gráfico 11. Rendimientos promedio del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) con y sin riego con aguas residuales tratadas.

Como se puede observar en el Gráfico 11, los rendimientos obtenidos en la parcela estudiada y regada con agua residual tratada, son de 2.58 t/ha lo que está muy por encima de los rendimientos obtenidos tradicionalmente en la zona en la época lluviosa para el cultivo que fue de 1.61 t/ha aún con el uso de fertilizantes.

El incremento refleja un valor de 0.97 t/ha que representa un 60 % que se puede traducir en mayores ingresos para los agricultores en la zona que puedan aprovechar las aguas residuales tratadas.

Lo anterior coincide con lo reportado por Sáenz (2002) quien indica que para el cultivo de maíz regado con aguas residuales en México se obtuvieron rendimientos de hasta 5 t/ha mientras que regando con aguas normales solamente se obtuvieron 2 t/ha.

También reporta Sáenz (2002) experiencias en Perú en donde se obtuvieron rendimientos de maíz regado con aguas residuales de 3 t/ha en tanto el cultivo regado con aguas normales obtuvo solamente 2 t/ha.

Es importante señalar que considerando la topografía natural del terreno, aguas abajo de la salida de los efluentes de la planta de tratamiento, hay aproximadamente 8 hectáreas de tierra potencialmente regables que se podrían beneficiar con el aprovechamiento de estos efluentes.

4.6 Aceptación de la práctica

El uso de aguas residuales para la irrigación es una práctica que en Nicaragua no se ha difundido y aunque en algunos lugares ya se ha venido haciendo, ha tenido un matiz semiclandestino por cuanto no se tiene seguridad de la calidad de los efluentes y de los efectos que esta práctica puede tener. Sin embargo, el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas para la agricultura ha sido promovida desde hace muchos años por organismos como la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y ya existen muchas experiencias en muchos países sobre este tema.

La percepción de los agricultores sobre el uso del agua residual para regar sus cultivos es variada. En la Tabla 6 se presenta los resultados de la consulta sobre la percepción que tienen los agricultores de la zona sobre la aceptación de esta práctica, tanto aspectos que se consideran positivos, como aspectos que se consideran negativos.

Tabla 6 Percepción de agricultores de la zona sobre la experiencia en reúso de aguas con el cultivo de maíz

PERCEPCIÓN DE LA ACEPTACIÓN DE LA PRÁCTICA Variables evaluadas mediante entrevista con agricultores de la zona.	
POSITIVOS	NEGATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Buen desarrollo del cultivo y mejor rendimiento ➤ Economía por el no uso de fertilizantes ➤ Aprovechamiento de terrenos ociosos en el período seco ➤ Disminución de la contaminación del río 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Olores desagradables en la parcela ➤ Inexperiencia en la práctica del riego con esta agua. ➤ Recelo al consumir los productos

De los resultados de las consultas con agricultores de la zona se puede señalar que la implementación del riego con agua residual en el país no será una tarea fácil ya que a pesar de las bondades que esta práctica puede tener, existen prejuicios que hay que diluir. Por otro lado, la calidad del efluente en la planta de tratamiento no cumple con los niveles requeridos en algunos parámetros como los Coliformes fecales y la DQO. Sin embargo existen muchas posibilidades que a partir de algunos ensayos se pueden promover.

Un aspecto importante que se extrae de la consulta, es la necesidad de acompañar la promoción de esta práctica con un fuerte componente de capacitación no solo a los agricultores sino que también a los potenciales consumidores de los productos que se obtengan de estas prácticas.

V CONCLUSIONES

- El uso de aguas residuales para riego en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) con los efluentes de la Planta de Tratamiento de la ciudad de Jinotepe, no representó para el suelo variaciones significativas en sus características físicas y químicas evaluadas.
- El desarrollo del cultivo de maíz regado con agua residual tratada es normal y los rendimientos obtenidos superaron hasta en un 60 % con respecto a los rendimientos medios tradicionales en la zona donde se realizó el estudio.
- El contenido de nutrientes de los efluentes de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de Jinotepe utilizada en el riego del cultivo de maíz, garantizó el no uso de fertilizantes significando con ello, un ahorro sustancial en comparación con el manejo tradicional de este cultivo en la zona sin el uso de aguas residuales.
- La práctica del riego con aguas residuales tratadas es aceptada por los agricultores de la zona por sus bondades visibles durante el estudio, sin embargo, hay aspectos negativos como la inexperiencia en el riego y recelos por lo nuevo de esta práctica, por lo que el reúso de aguas debe considerarse como un proceso integral, no solo tomando en cuenta tanto la oferta como la demanda del recurso sino también la percepción de la población usuaria y consumidora.
- Los efluentes de la planta de tratamiento pueden ser usados para el riego de cultivos bajo la restricción de no contacto con el fruto. Sin embargo, la calidad de estos efluentes no cumplía en su totalidad con las normas establecidas para el uso de estos en el riego de cultivos al momento de realizar el estudio.
- El reúso de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, debe llevarse a cabo como un proceso integral considerando la oferta y demanda actual y potencial del agua tratada, los requerimientos del tratamiento y la percepción de la población usuaria y consumidora.

- El uso de aguas residuales para riego no solo representa una alternativa para la disposición final de aguas servidas tratadas sino también una alternativa productiva por cuando además de mantener la humedad necesaria para los cultivos, es fuente de abastecimiento de nutrientes para estos.

VI RECOMENDACIONES

- Impulsar a nivel experimental estudios de reúso de agua con otros cultivos que tradicionalmente se desarrollan en la zona, bajo la restricción de cultivos cuyo fruto no tenga contacto con el agua, para conocer las bondades de esta práctica, sus oportunidades y limitaciones.
- Establecer planes de capacitación sobre la práctica del riego con aguas residuales en la zona para los agricultores que potencialmente se pueden involucrar en esta actividad, tomando en cuenta para ello tanto los aspectos técnicos como los aspectos sanitarios.
- Fomentar el reúso del agua en el establecimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el país para aquellas áreas potencialmente regables como una contribución al enfoque de Sistemas Integrados de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Implementar la técnica de riego por surcos cuando se aprovechen aguas residuales tratadas en la planta de tratamiento para agricultura tomando las medidas de seguridad necesarias en cuanto a la vestimenta de los trabajadores, manejo del agua y del cultivo.
- Difundir la práctica del reúso de agua como una alternativa para algunas zonas donde se prestan condiciones siempre cuando los efluentes cumplan con los requerimientos necesarios.
- Hacer monitoreo de las aguas subterráneas o del perfil de movilidad de los contaminantes en las zonas donde se utilice aguas residuales en riego de cultivos para establecer la influencia que esta práctica puede tener sobre el acuífero.

VII BIBLIOGRAFIA

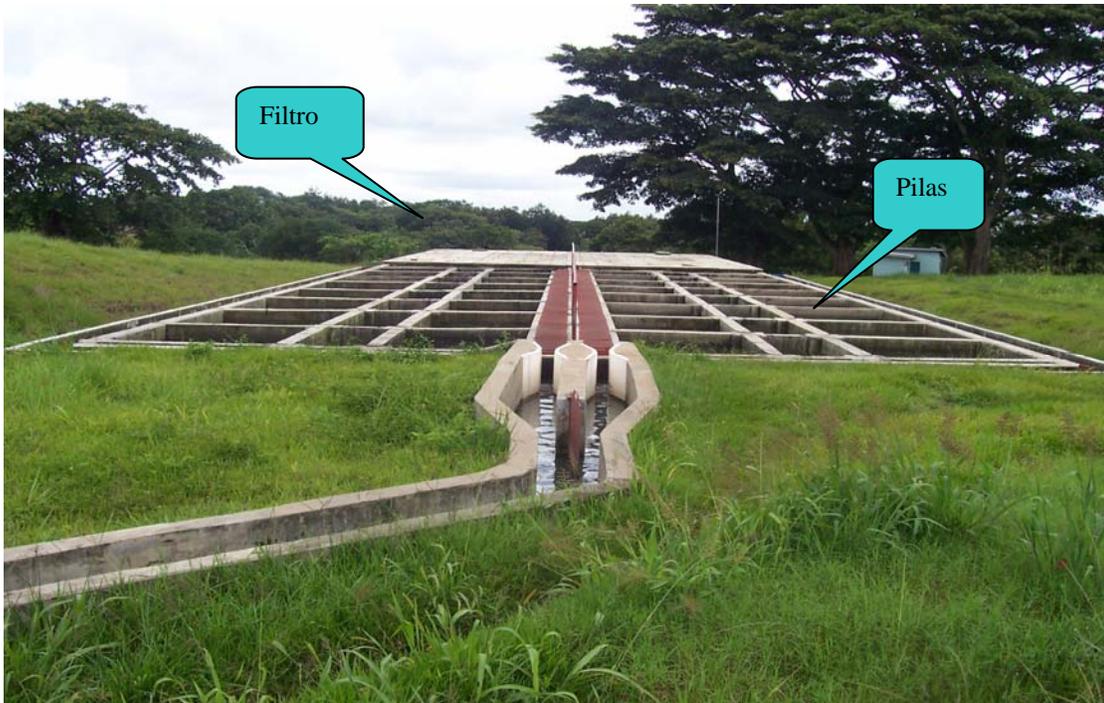
- ABES (Asociacao Brasileira de Engenharia Sanitaria e Ambiental) 2002. XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Maracaibo, Venezuela. Consultado 13 de agosto 2003. Disponible en <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/aresidua/i-193.pdf>
- Aguilera, C, M; Martínez, E, R. 1980. Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. México. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Enseñanza Investigación y Servicio en Irrigación. 321p.
- Arteaga, T, E. 1983. Hidráulica General. México. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Irrigación. 267p.
- Beecher, C; Chaparro, J; Del Hoyo, V; Korín, M.ennichelli, N. 2005. Diagnóstico y Evaluación de la Planta Depuradora de la Ciudad de Plotierr. Argentina. Consultado el 15 de agosto 2005. Disponible en <http://riie.com.ar/?a=9619>
- Buckman, H. O; Brady, N. C. 1985. Naturaleza y Propiedades de los Suelos. México DF. UTEHA. 590p
- CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas). 1996. Regadíos y Medio Ambiente. Reutilización de Aguas Residuales para Riego Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente. Madrid.
- CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). 2002. Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Eds. J Moscoso; L Egocheaga. Lima Perú. 33p.
- CIEMA (Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente) 1999. Estudio Microbiológico de los cultivos irrigados con el efluente del Biofiltro de Masaya. Universidad Nacional de Ingeniería. Proyecto ASTEC. Nicaragua,
- CIEMA (Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente) 2003. Resultados de Análisis físico químico de agua y Microbiología. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 1980. Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudios FAO: Riego y Drenaje. Boletín N° 33. Roma.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 1984. Calidad del agua para la agricultura. Estudios FAO: Riego y Drenaje. Boletín N° 29. Roma. 85p.

- Gómez, S. 2001. Estudio general del caso de la ciudad de Jinotepe, Carazo, Nicaragua. Proyecto Regional Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales En América Latina. Convenio: IDRC-OPS/HEP/CEPIS. Disponible en <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaar/e/proyecto/generales/casos/jinotepe.pdf>
- García, R; García, M; Cañas, P. 1992. Nitratos, Nitritos y Compuestos de N-Nitroso. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. División de Salud y Ambiente. La Habana Cuba Organización Panamericana de la Salud OPS. Organización Mundial de la Salud OMS.
- Gavande, S. A 1982. Física de Suelos. Principios y Aplicaciones México, DF. Edit. Limusa. 35p
- Glynn, H. J; Heinke, G. W. 1999. Ingeniería Ambiental. Segunda Edición. México DF. Edit. Prentice Hall.
- Gutiérrez Díaz, J. 1998. Reúso de agua y nutrientes: Principales tipos y aplicaciones del reuso (en línea). Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental (CIGEA). Consultado 13 de agosto 2003. Disponible en <http://www.medioambiente.cu/revistama/articulo41.htm>
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios territoriales) 1988. Mapa Topográfico Nandaime hoja 2951-II.
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios territoriales) 2003. Resumen Meteorológico Anual. Dirección General de Meteorología.
- INIFOM (Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal) 2000. Caracterizaciones Municipales 2000. Ficha Municipal de Jinotepe. Consultado el 15 de agosto 2005. Disponible en www.inifom.gob.ni/docs/caracterizaciones/jinotepe.pdf
- LABSA-UNA (Laboratorio de Suelos y Agua – Universidad Nacional Agraria) 2003. Resultados de análisis de suelos. Universidad Nacional Agraria, Managua.
- León, G; Moscoso, J. 1996 Curso de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales (Capítulo 3). Protección sanitaria en el uso de aguas residuales y Lodos de plantas de tratamiento. CEPIS Hoja de divulgación técnica. Disponible en http://www.ruaf.org/conference/info_market/econf/_papers/6suematsu.doc
- López Piñeiro. 1996. Reutilización de Aguas Residuales para Riego. Módulo Regadíos y Medio Ambiente. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX. Madrid España Ministerio de Obras Públicas Transportes y Medio Ambiente.
- Marrero, M; Delgado, S; Aguilar, E. s.f. Reutilización de aguas para Agricultura en Canarias. Consultado el 17 de Enero 2005. Disponible en <http://www.us.es/ciberico/ciphn/pdf/marrero.pdf>

- Moscoso, J León, G 1994 Uso de Aguas residuales en Agricultura. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria. Consultado el 17 de Enero 2005. Disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt059/html>
- Moscoso, J. 1993. Reúso de Aguas Residuales en Perú. Taller Regional para América Latina sobre aspectos de Salud, Agricultura y Ambiente. Morelos, México. Disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind53/arp/arp02.html>
- OPS/OMS (Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud) 1992. Nitratos, Nitritos y Compuestos de N-Nitroso. La Habana, Cuba. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud 115p (Serie Vigilancia n° 13)
- Pèrez, Duarte,W; Fundora Piñeyro,R. s.f. Agua residuales. Depuración de las aguas residuales. Calidad del agua para la agricultura. Consultado 13 de Agosto. Disponible en <http://www.isch.edu.cu/biblioteca/campus/Residuales.htm>
- POSAF- MARENA (Programa Sociambiental y de Desarrollo Forestal – Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales) 2002. Plan de Ordenamiento de la Subcuenca Río grande de Carazo. Helsinki Consulting Group Ltd. Managua, Nicaragua. 60p.
- Presidencia de la República de Nicaragua. 1995. Disposiciones para el Control de la Contaminación Proveniente de las Descargas de Aguas Residuales Domésticas y Agropecuarias. Decreto N° 33-95. La Gaceta, Diario Oficial de Nicaragua. N° 118. Managua, 26-6-95.
- Quintana, J; Blandón, J; Flores, A; Mayorga, E. 1992 Manual de Fertilización para Suelos de Nicaragua. Universidad Nacional Agraria e INDOCONSUL S. A. Managua, Nicaragua.
- Ramos, C. 1997. El uso de aguas residuales en riegos localizados y en cultivos hidropónicos. Instituto valenciano de investigaciones agrarias Consultado el 27 Diciembre 2003 Disponible en <http://www.horticom.com/fitech3/ponencia/text/cramos.html>
- Reuter, D; Robinson, J. 1986 Plant analysis and interpretation manual. Innata Press. Sydney, Australia.
- Sáenz, R. 2002. Introducción y Uso de Aguas Residuales Tratadas en Agricultura y Acuicultura. Modernización y Avances en el Uso de Aguas Negras para la irrigación. División de Salud y Ambiente OPS/OMS. Consultado el 17 de enero 2005. Disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fultext/repind53/rys/rys.html>
- Seoanez Calvo, M. 1995 Aguas Residuales Urbanas Tratamientos Naturales a bajo costo y aprovechamiento. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa.

ANEXO 1

Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jinotepe



ANEXO 2

Datos climáticos correspondientes a la Estación Agro meteorológica de Campos Azules

Estación: - CAMPOS AZULES (MASATEPE) / CAMPOS AZULES (MASATEPE)

Latitud: 11° 53' 59" N

Código: 69 129

Longitud: 86° 08' 59" W

Años: 1990 - 2003

Elevación: 470 msnm

Valores medios Mensuales

Tipo: AG

Parámetros	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Brillo Solar (horas)	284.5	261.0	210.6	173.8	177.2
Evaporación de pana (mm)	244.4	241.7	187.7	132.7	137.0
Precipitación (mm)	6.9	16.3	217.1	259.5	162.0
Viento medio máximo 10m (m/seg)	6.2	5.5	4.1	4.2	5.1
Evaporación de piche (ml)	197.2	193.7	144.8	75.0	78.4
Temperatura media °C	24.9	26.1	26.0	25	24.5
Humedad Relativa (%)	74.9	74.3	80.5	87.2	88.1

**Fuente: INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES
DIRECCION GENERAL DE METEOROLOGIA
RESUMEN METEOROLOGICO ANUAL**

ANEXO 3

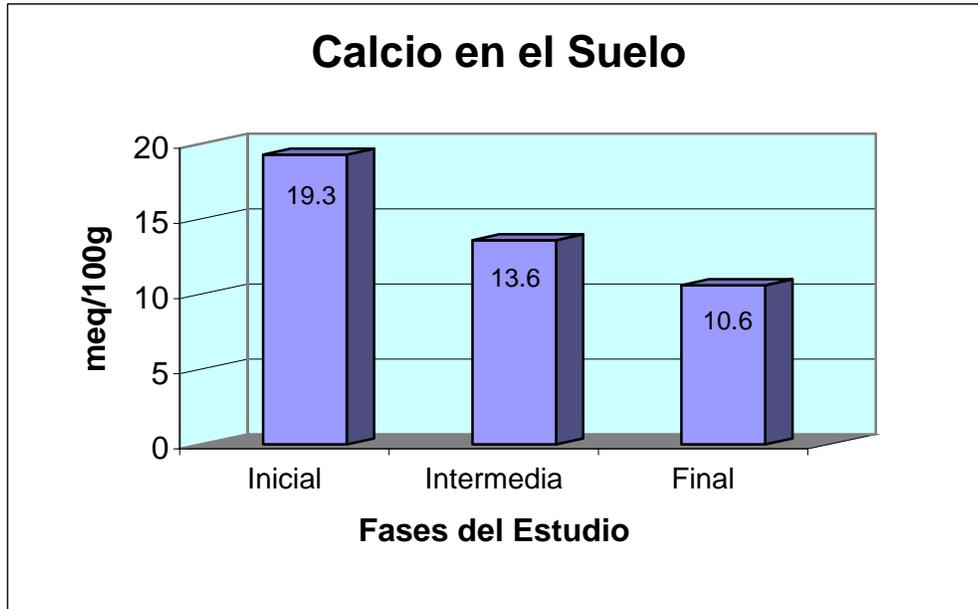
Características químicas del suelo

Parámetro	Muestra	Unidad	Fase Inicial	Fase Intermedia	Fase Final
pH	1		5.8	6.9	6.8
	2		6.2	7.0	7.7
	3		6.6	6.6	6.8
Materia Orgánica (MO)	1	%	3.18	3.43	3.47
	2	%	3.50	3.67	3.47
	3	%	3.77	4.56	2.67
Nitrógeno (N)	1	%	0.19	0.17	0.17
	2	%	0.17	0.18	0.17
	3	%	0.13	0.22	0.13
Fósforo (P)	1	ppm	2.09	6.4	0.62
	2	ppm	1.47	7.3	nd
	3	ppm	1.72	6.8	0.18
Potasio (K)	1	meq/100g	0.7	1.62	0.71
	2	meq/100g	0.78	2.11	0.37
	3	meq/100g	0.62	1.16	0.38
Calcio (Ca)	1	meq/100g	19.8	13.1	10.29
	2	meq/100g	18.44	14.66	10.15
	3	meq/100g	19.61	13.16	11.5
Magnesio (Mg)	1	meq/100g	6.76	4.99	4.11
	2	meq/100g	6.54	4.94	3.75
	3	meq/100g	5.77	4.58	3.72
Sodio (Na)	1	meq/100g	Nd	0.26	0.24
	2	meq/100g	Nd	0.01	0.1
	3	meq/100g	Nd	0.03	0.09
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	1	meq/100g	26.26	29.3	22.16
	2	meq/100g	27.82	33.2	24.3
	3	meq/100g	29.32	37	23.46
Nitratos (NO ₃)	1	ppm	1.56	111.01	2.12
	2	ppm	1.27	41.21	5.10
	3	ppm	1.66	90.4	28.10

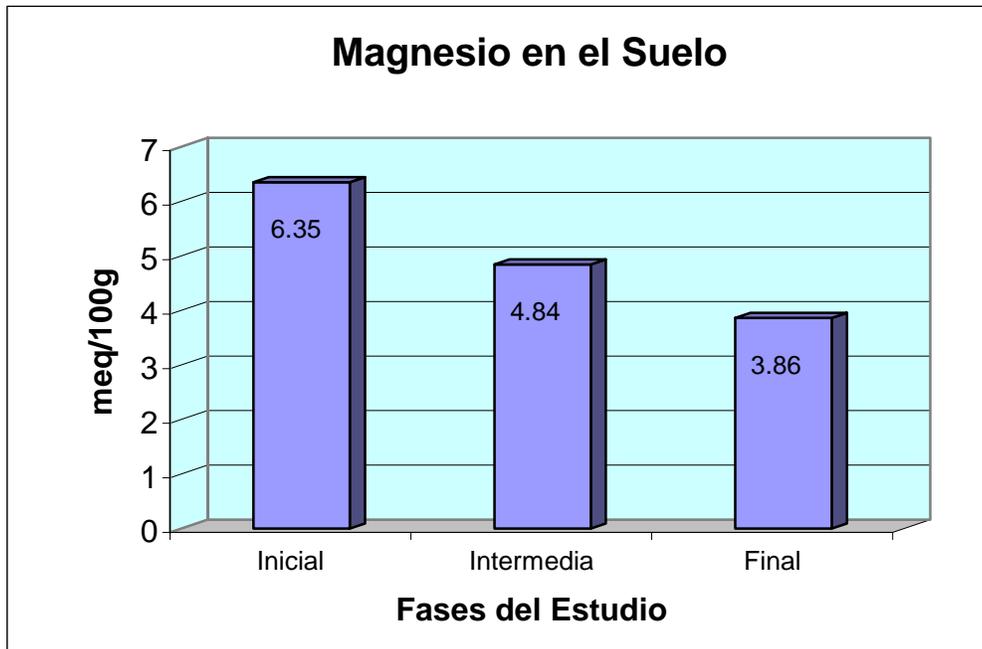
MICROELEMENTOS EN EL SUELO (Valores medios)

Parámetro	Unidad	Fase Inicial	Fase Intermedia	Fase Final
Hierro	ppm	38	80	30
Cobre	ppm	17	38	16
Zinc	ppm	9	21	8
Manganeso	ppm	14	31	27

ANEXO 4



Contenido de calcio en el suelo en las tres fases del estudio de reúso de aguas residuales para el riego del cultivo de maíz



Contenido de magnesio en el suelo en las tres fases del estudio de reúso de aguas residuales para el riego del cultivo de maíz.

ANEXO 5

RANGOS Y LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES QUE DEBERAN CUMPLIR LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS UTILIZADAS PARA EL RIEGO AGRICOLA, EN LA PRODUCCION DE CULTIVOS HORTICOLAS.

PARAMETROS	RANGOS Y LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES (PROMEDIO DIARIO)
pH	6.5 – 8.5
Conductividad Eléctrica (micromhos/cm)	200
DBO (mg/l)	120
DQO (mg/l)	200
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	120
Aluminio (mg/l)	5.0
Arsénico (mg/l)	0.1
Boro (mg/l)	1.0
Cadmio (mg/l)	0.01
Cianuros (mg/l)	0.02
Cobre (mg/l)	0.2
Cromo Total (mg/l)	0.1
Hierro (mg/l)	5.0
Fluoruros (mg/l)	3.0
Manganeso (mg/l)	0.2
Níquel (mg/l)	0.2
Plomo Total (mg/l)	0.5
Selenio mg/l)	0.02
Zinc mg/l)	2.0
Califormes Fecales (cada 100 ml)	1000
Huevos de Helminto (cada 1000 ml)	1
Tasa de Adsorción de sodio (mg/l)	6

Fuente: La Gaceta – Diario Oficial de Nicaragua N° 118 26-6-95 (Decreto 33-95)

OCT	288	-9.60	11.73	15.32	13.97	6.2	5.39	1.00	1.05	4.25	131.87
NOV	319	-19.15	11.44	15.55	12.77	6.8	5.24	1.16	1.02	4.26	127.85
DIC	349	-23.34	11.31	15.68	12.15	8.0	5.50	1.40	0.38	6.48	200.94

BALANCE HIDRICO

Capac. almacenamiento = 80 mm
 Dosis de riego neta = 50 mm
 Aportacion inicial = 0 mm/mes

MES	ETo mm/dia	Sin cultivo		Con cultivo		ETc mm/mes	Precip.	Precip.	Precip.	BALANCE mm/mes	NETA mm/mes
		Dias	Kc	Dias	Kc		total mm/mes	efect. mm/dia	efect. mm/mes		
ENE	5.09	31	1.00	0	0.00	157.91	0.00	0.00	0.00	157.91	
FEB	6.18	28	1.00	0	0.00	172.94	0.00	0.00	0.00	172.94	
MAR	6.94	0	0.00	31	0.65	139.84	0.00	0.00	0.00	139.84	139.84
ABR	6.94	0	0.00	30	0.90	187.32	0.00	0.00	0.00	187.32	187.32
MAY	5.46	0	0.00	31	1.05	177.66	0.00	0.00	0.00	177.66	177.66
JUN	4.59	0	0.00	30	0.95	130.77	0.00	0.00	0.00	130.77	130.77
JUL	5.59	0	0.00	31	0.80	138.67	0.00	0.00	0.00	138.67	138.67
AGO	4.82	31	1.00	0	0.00	149.43	0.00	0.00	0.00	149.43	
SET	4.35	30	1.00	0	0.00	130.35	0.00	0.00	0.00	130.35	
OCT	4.25	31	1.00	0	0.00	131.87	0.00	0.00	0.00	131.87	
NOV	4.26	30	1.00	0	0.00	127.85	0.00	0.00	0.00	127.85	
DIC	6.48	31	1.00	0	0.00	200.94	0.00	0.00	0.00	200.94	
ANUAL						1845.57	0.00		0.00	1845.57	

Necesidad hidrica
 en periodo punta = 7.743 mm/dia
 CAUDAL NETO PUNTA = 0.896 l/seg/ha

LEYENDA

TEMP. MEDIA = temperatura media mensual (C)

HRmed = humedad relativa media mensual (%)

HRmax = humedad relativa maxima mensual (%)

U = velocidad del viento (km/dia)

U2 = valor equivalente de U tomado a 2 m. sobre el terreno

DIA = días transcurridos

n = horas diarias con sol despejado

ea = presión saturante del vapor (mbar)

ed = presión de vapor (mbar)

f(U) = función de la velocidad del viento

Delta = pendiente curva de presión de vapor de saturación (mbar/ C)

Gamma = constante psicrometrica (mbar/ C)

W = factor de ponderación

DEC = declinación solar (grados)

N = número máximo de horas de sol

Is = constante solar

Ra = radiación extraterrestre (mm/día)

Rns = radiación solar neta de ondas cortas (mm/día)

Rnl = radiación neta de ondas largas (mm/día)

C = factor de corrección

ETo = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

Kc = coeficiente del cultivo

ETc = evapotranspiración del cultivo (mm/día)

TEMP. MEDIA (C)

HRmed
(%)

HRmax
(%)

U (km/dia)

n (horas)

Dias sin cultivo

Kc sin cultivo

Dias con cultivo

Kc con cultivo

ANEXO 7

Características del suelo y cultivo consideradas para estimar las láminas de riego a aplicar en el estudio.

Período de Ciclo Veg. (meses)	Capacidad de Campo % del peso	Punto de Marchitez %	Densidad Aparente gr/cm³	Descenso Tolerable de Humedad %	Profundidad radicular cm
Marzo	8.48	16	1.31	40	30
Abril	8.48	16	1.31	40	40
Mayo	8.48	16	1.31	40	50
Junio	8.48	16	1.31	40	50

ANEXO 8

Comparación de medias y grado de significancia en los valores de las características químicas del suelo en una etapa inicial, intermedia y final del estudio

Descriptives		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
MUESTRA	Inicio	3	2.00	1.00	.58	-.48	4.48	1	3
	Intermedia	3	2.00	1.00	.58	-.48	4.48	1	3
	Final	3	2.00	1.00	.58	-.48	4.48	1	3
	Total	9	2.00	.87	.29	1.33	2.67	1	3
Mat. Organ.	Inicio	3	3.4833	.2954	.1705	2.7496	4.2170	3.18	3.77
	Intermedia	3	3.8867	.5953	.3437	2.4078	5.3656	3.43	4.56
	Final	3	3.2033	.4619	.2667	2.0560	4.3507	2.67	3.47
	Total	9	3.5244	.5022	.1674	3.1384	3.9105	2.67	4.56
Nitrógeno	Inicio	3	.1633	3.055E-02	1.764E-02	8.744E-02	.2392	.13	.19
	Intermedia	3	.1900	2.646E-02	1.528E-02	.1243	.2557	.17	.22
	Final	3	.1567	2.309E-02	1.333E-02	9.930E-02	.2140	.13	.17
	Total	9	.1700	2.784E-02	9.280E-03	.1486	.1914	.13	.22
FÓSFORO	Inicio	3	1.7600	.3119	.1801	.9851	2.5349	1.47	2.09
	Intermedia	3	6.8333	.4509	.2603	5.7132	7.9535	6.40	7.30
	Final	3	.2700	.3148	.1818	-.5120	1.0520	.01	.62
	Total	9	2.9544	2.9966	.9989	.6511	5.2578	.01	7.30
POTASIO	Inicio	3	.9167	.4464	.2577	-.1921	2.0255	.62	1.43
	Intermedia	3	1.6300	.4751	.2743	.4498	2.8102	1.16	2.11
	Final	3	.4867	.1935	.1117	6.043E-03	.9673	.37	.71
	Total	9	1.0111	.6047	.2016	.5463	1.4760	.37	2.11
CALCIO	Inicio	3	19.2833	.7365	.4252	17.4538	21.1129	18.44	19.80
	Intermedia	3	13.6400	.8839	.5103	11.4444	15.8356	13.10	14.66
	Final	3	10.6467	.7423	.4286	8.8027	12.4907	10.15	11.50
	Total	9	14.5233	3.8592	1.2864	11.5569	17.4898	10.15	19.80
MAGNESIO	Inicio	3	6.3567	.5198	.3001	5.0653	7.6480	5.77	6.76
	Intermedia	3	4.8367	.2237	.1291	4.2810	5.3923	4.58	4.99
	Final	3	3.8600	.2170	.1253	3.3209	4.3991	3.72	4.11
	Total	9	5.0178	1.1309	.3770	4.1485	5.8871	3.72	6.76
SODIO	Inicio	3	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	.00
	Intermedia	3	.1000	.1389	8.021E-02	-.2451	.4451	.01	.26
	Final	3	.1433	8.386E-02	4.842E-02	-6.4999E-02	.3517	.09	.24
	Total	9	8.111E-02	.1031	3.438E-02	1.837E-03	.1604	.00	.26
CIC	Inicio	3	27.8000	1.5301	.8834	23.9990	31.6010	26.26	29.32
	Intermedia	3	33.1667	3.8501	2.2229	23.6025	42.7309	29.30	37.00
	Final	3	23.3067	1.0782	.6225	20.6282	25.9851	22.16	24.30
	Total	9	28.0911	4.7810	1.5937	24.4161	31.7661	22.16	37.00

MUESTRA

		N	Subset for alpha = .05
	ETAPA		1
Tukey HSD	Inicio	3	2.00
	Intermedia	3	2.00
	Final	3	2.00
	Sig.		1.000
Duncan	Inicio	3	2.00
	Intermedia	3	2.00
	Final	3	2.00
	Sig.		1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

MATERIA ORGÁNICA.

		N	Subset for alpha = .05
	ETAPA		1
Tukey HSD	Final	3	3.2033
	Inicio	3	3.4833
	Intermedia	3	3.8867
	Sig.		.251
Duncan	Final	3	3.2033
	Inicio	3	3.4833
	Intermedia	3	3.8867
	Sig.		.134

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

NITRÓGENO

		N	Subset for alpha = .05
	ETAPA		1
Tukey HSD	Final	3	.1567
	Inicio	3	.1633
	Intermedia	3	.1900
	Sig.		.348
Duncan	Final	3	.1567
	Inicio	3	.1633
	Intermedia	3	.1900
	Sig.		.192

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

FÓSFORO

		N	Subset for alpha = .05		
Tukey HSD	ETAPA		1	2	3
	Final	3	.2700		
	Inicio	3		1.7600	
	Intermedia	3			6.8333
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Duncan	Final	3	.2700		
	Inicio	3		1.7600	
	Intermedia	3			6.8333
	Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

POTASIO

		N	Subset for alpha = .05	
Tukey HSD	ETAPA		1	2
	Final	3	.4867	
	Inicio	3	.9167	.9167
	Intermedia	3		1.6300
	Sig.		.426	.145
Duncan	Final	3	.4867	
	Inicio	3	.9167	.9167
	Intermedia	3		1.6300
	Sig.		.228	.068

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

CALCIO

		N	Subset for alpha = .05		
Tukey HSD	ETAPA		1	2	3
	Final	3	10.6467		
	Intermedia	3		13.6400	
	Inicio	3			19.2833
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Duncan	Final	3	10.6467		
	Intermedia	3		13.6400	
	Inicio	3			19.2833
	Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

MAGNESIO

		N Subset for alpha = .05			
Tukey HSD	ETAPA		1	2	3
	Final	3	3.8600		
	Intermedia	3		4.8367	
	Inicio	3			6.3567
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Duncan	Final	3	3.8600		
	Intermedia	3		4.8367	
	Inicio	3			6.3567
	Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

SODIO

		N Subset for alpha = .05	
Tukey HSD	ETAPA		1
	Inicio	3	.0000
	Intermedia	3	.1000
	Final	3	.1433
	Sig.		.226
Duncan	Inicio	3	.0000
	Intermedia	3	.1000
	Final	3	.1433
	Sig.		.120

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

CIC

		N Subset for alpha = .05		
Tukey HSD	ETAPA		1	2
	Final	3	23.3067	
	Inicio	3	27.8000	27.8000
	Intermedia	3		33.1667
	Sig.		.145	.083
Duncan	Final	3	23.3067	
	Inicio	3	27.8000	
	Intermedia	3		33.1667
	Sig.		.068	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.