

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
Y DEL AMBIENTE**

ESCUELA DE SUELOS Y AGUAS

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y CONSERVACION DE SUELOS

TRABAJO DE DIPLOMA

**ANALISIS DEL MANEJO DEL
RIEGO POR ASPERSION EN EL
CENTRO NACIONAL DE
INVESTIGACION AGROPECUARIA.**

**AUTORES: Br. Norman Castro Espinoza.
Br. Oscar Antonio Obando.**

**ASESORES: Ing. Henry González. Msc.
Ing. Isidro Salinas.**

MANAGUA, NOVIEMBRE 1994.

DEDICATORIA

El fruto de nuestro trabajo, que con la ayuda de nobles personas llegamos a concluir, lo dedicamos enteramente a nuestros padres, que con su apoyo, consejos y persistencia nos dieron los ánimos en los momentos difíciles y el motivo de orgullo en las horas de triunfo, así como a nuestros hermanos y novias que mantuvieron siempre la confianza en nosotros.

I N D I C E

	Pág.
I. INTRODUCCION.....	01
II. OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	04
Generales.....	04
Específicos.....	04
Hipótesis.....	04
III. REVISION DE LITERATURA.....	05
3.1. Caracterización Climática del Departamento de Managua... 05	
3.2. Institucionalidad del C.N.I.A.....	05
3.3. Riego por Aspersión.....	07
3.4. El Aire y el Riego por Aspersión.....	07
3.5. Ventajas del riego por aspersión.....	08
3.6. Desventajas del riego por aspersión.....	08
3.7. Calidad del agua de riego.....	09
3.8. Clasificación de aguas para riego.....	10
3.9. Medición de humedad del suelo con sonda de Neutrones....	10
3.10. Propiedades Físicas.....	11
3.10.1. Textura.....	11
3.10.2. Densidad Aparente.....	13
3.11. Cultivo y Necesidades de Agua. Maiz: (<i>Zea mays</i> L).....	14
3.11.1. Necesidades de Agua.....	14
3.11.2. Suministro de agua.....	14
3.11.3. Absorción de agua por el cultivo.....	15
3.11.4. Programación del riego.....	15
3.12. Cultivo y Necesidades de Agua. Sorgo: (<i>Sorghum bicolor</i>)..	16
3.12.1. Necesidades de Agua.....	16
3.12.2. Suministro de Agua.....	16
3.12.3. Absorción de Agua por el Cultivo.....	16
3.12.4. Programación del Riego.....	17
3.13. Cultivo y Necesidades de Agua. Leguminosas.....	17
3.13.1. Necesidades de Agua.....	17
3.13.2. Suministro de Agua.....	18
3.13.3. Absorción de Agua por el cultivo.....	18
3.13.4. Programación del Riego.....	18
3.14. Resistencia Mecánica.....	19

3.15. Prueba de Uniformidad y Eficiencia.....	20
3.15.1. Método del coeficiente de uniformidad de Christiansen.....	20
3.15.2. Eficiencia de aplicación (Ea).....	22
3.15.3. Eficiencia de Almacenamiento (Eal).....	24
3.15.4. Eficiencia de Distribución (Ed).....	25
3.15.5. Eficiencia Agronómica (Eu).....	25
3.15.6. Eficiencia de Riego del Sistema (Ei).....	26
3.16. Tiempo y Frecuencia de Riego.....	26
IV. MATERIALES Y METODOS.....	28
V. RESULTADOS.....	34
5.1. DESCRIPCION DE LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO.....	34
5.1.1. Inventario de equipos y accesorios.....	34
5.1.2. Prueba de Uniformidad.....	35
5.1.2.1. Relación Eficiencia de Aplicación y Uniformidad.....	37
5.1.2.2. Resultado de Eficiencia de Aplicación...	38
5.1.2.3. Relación Eficiencia de Aplicación y Eficiencia de Almacenamiento.....	38
5.1.2.4. Eficiencia Agronómica.....	39
5.1.2.5. Eficiencia de Riego.....	39
5.1.3. Aforo de bomba y aspersores.....	40
5.2. PROPIEDADES HIDROFISICAS ANALIZADAS.....	42
5.2.1. Propiedades Hidrofísicas	
5.2.1.1. Textura.....	42
5.2.1.2. Densidad Aparente.....	43
5.2.1.3. Constantes de Humedad.....	44
5.2.1.4. Humedad Aprovechable.....	46
5.2.1.5. Calidad del agua de riego.....	47
5.2.2. Resistencia Mecánica del Suelo.....	48
5.2.3. Prueba de Infiltración.....	50
5.2.4. Descripción de perfiles.....	51
5.2.4.1. Información del sitio de descripción...	51
5.2.4.2. Usos y zonas de vida.....	52
5.2.4.3. Descripción de cada uno de los perfiles.	52
5.2.4.4. Identificación.....	55
5.3. PROBLEMATICA SOBRE MANEJO DEL RIEGO.....	56
5.3.1. Manejo del área agrícola y sistema de riego.....	56
5.3.2. El agua en la parcela.....	58
VI. CONCLUSIONES.....	61
VII. RECOMENDACIONES.....	66
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	69
IX. ANEXOS.....	70

AGRADECIMIENTOS

Debemos expresar nuestros agradecimientos a DIOS por habernos dado la fuerza necesaria en nuestros años de estudios.

Queremos reconocer la valiosa ayuda que nos brindaron los Ingenieros del Proyecto Suelos y Aguas, Investigadores y personal de riego del Centro Nacional de Investigación Agropecuaria, así como a los docentes de la Escuela de Suelos y Aguas, en especial al colectivo del Departamento de Riego y Conservación, que con sus sugerencias y consejos fortalecieron nuestro trabajo.

Una especial mención a los asesores de este trabajo, Ing. Henry González e Ing. Isidro Salinas, quienes dieron su máximo esfuerzo para que esta Investigación llegase a feliz término. Al Ing. Roberto Boza Arce, quien con sus aportes enriqueció este humilde trabajo.

También merecen nuestro reconocimiento por toda la ayuda y enseñanza recibida, el personal del laboratorio de Suelos y Aguas, Química de Suelos y Biblioteca.

A nuestros compañeros de clases y demás personas que de una u otra forma apoyaron el esfuerzo realizado.

INDICE DE CUADROS

No.	Pág.
1. Clasificación textural.....	12
2. Clasificación de la Densidad Aparente.....	13
3. Eficiencias del Sistema de Riego.....	37
4. Resultados de Textura.....	42
5. Densidad Aparente en cada perfil.....	43
6. Constantes de Humedad en Lámina por Perfil.....	45
7. Humedad Aprovechable en lámina por Perfil.....	46
8. Resultados de las Pruebas de Infiltración.....	50
9. Resultados de la Prueba de Uniformidad para la separación de 12 x 12 m.....	72
10. Resultados de la Prueba de Uniformidad para la separación de 12 x 18 m.....	73
11. Descripción del equipo y accesorios.....	74
12. Datos de Prueba de Uniformidad.....	75
13. Datos de aforo de bomba.....	76
14. Resultados del Laboratorio en el análisis de agua.....	77
15. Datos de Resistencia Mecánica en el perfil No. 4.....	78
16. Datos de Resistencia Mecánica en el perfil No. 3.....	79
17. Datos de Resistencia Mecánica en el perfil No. 2.....	80
18. Datos de Resistencia Mecánica en el perfil No. 1.....	81

INDICE DE FIGURAS

No.	Pág.
1. Resistencia Mecánica en el perfil No. 3.....	49
2. Control de Humedad en el Cultivo de Leguminosas.....	59
3. Diagrama para la clasificación del agua de riego.....	82
4. Triángulo Textural.....	83
5. Nomograma para aforo de bombas.....	84
6. Esquema del área de estudio.....	85
7. Densidad Aparente en el perfil No. 1.....	86
8. Densidad Aparente en el perfil No. 2.....	87
9. Densidad Aparente en el perfil No. 3.....	88
10. Densidad Aparente en el perfil No. 4.....	89
11. Resistencia Mecánica en el perfil No. 1.....	90
12. Resistencia Mecánica en el perfil No. 2.....	91
13. Resistencia Mecánica en el perfil No. 4.....	92
14. Velocidad de Infiltración e Infiltración acumulada en el perfil No. 2.....	93
15. Velocidad de Infiltración e Infiltración acumulada en el perfil No. 3.....	94
16. Velocidad de Infiltración e Infiltración acumulada en el perfil No. 4.....	95
17. Control de Humedad en el cultivo de pasto.....	96
18. Control de Humedad en el ensayo de maíz.....	97
19. Control de Humedad en el cultivo de mucuna.....	98

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó, en coordinación con el Departamento de Riego y Conservación de Suelos de la Escuela de Suelos y Aguas, y el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria (C.N.I.A.).

Este trabajo tuvo como finalidad, analizar una serie de factores que influyen en la explotación del sistema de riego por aspersión convencional. Este sistema está instalado en el C.N.I.A., ubicado en el departamento de Managua sobre el Km 13 ½ de la carretera Managua-Tipitapa.

Los resultados obtenidos se dividen en tres aspectos: a) Descripción de la infraestructura de riego, b) Caracterización de algunas propiedades hidrofísicas de los suelos y c) Análisis de la problemática sobre el manejo del riego. La interacción de estos componentes permitió establecer las pautas necesarias para un mejor manejo del sistema de riego y de los recursos disponibles con que cuenta el C.N.I.A.

Un manejo adecuado del sistema de riego, permite explotar racionalmente tanto la infraestructura como el recurso agua. Lo anterior significa una disminución en los costos de operación, además de ser un ejemplo a los productores en cuanto al manejo de sistemas de riego se refiere.

SUMMARY

This work of investigation it did in coordination with the Department of Irrigation and Ground Conservation of the Ground and Water School and the Agriculture Investigation National Center (C.N.I.A.).

This work had as purpose analyze one series of factors that have influence in the explocting of Irrigation Conventional System. This system is installed in the C.N.I.A., in the department of Managua on the Km 13 $\frac{1}{2}$ road to Managua-Tipitapa.

The results obtained is divided in three aspects: a) Irrigation Infraestructure Description, b) Description of some properties hidrophysicals of the ground and c) Analysis of the problematic about handling of the irrigation. The interaction of these components permit establishment of rule-guide necessary for an better managment of the Irrigation System and the available resource with what the C.N.I.A. count.

An suitable managment of the Irrigation System permit to exploit rationally the infraestructure so much as the water resource. This previous meant a disminution in the operation cost also it is an example to all the productives farmers as much as the irrigation system managment it self to refer.

I. INTRODUCCION

El desarrollo de la agricultura bajo riego, en Nicaragua, está considerado como la alternativa más viable para potencializar la producción agropecuaria. Su función se puede enmarcar en dos aspectos, por un lado, el agua es el insumo indispensable para la producción durante la época seca; por otro lado constituye la garantía de producción, como riego complementario durante la época lluviosa; más ahora que el régimen de lluvia se presenta de una forma más irregular, tanto espacial como temporalmente.

Aparte, el uso de sistemas de irrigación de cultivos anuales, tiene que ser visto como una herramienta que brinde eficiencia, rentabilidad y alta producción de los cultivos, sin detrimento de los recursos naturales, principalmente suelos y aguas.

La historia describe que se produjo una creciente instalación de equipos de riego en el país, sobre todo en la década de los años 80, llegándose a tener hasta 93,000 ha bajo riego. Sin embargo, problemas de origen político aunados a la baja eficiencia en la planificación, control y manejo de los diferentes sistemas, ha generado que actualmente se cuente con menos de 30,000 ha bajo riego (Dato obtenido en comunicación personal con el M.A.G., Agosto 1994).

Diferentes foros realizados en Nicaragua, por diversas instituciones públicas y privadas, han reconocido que la lista de problemas en torno al riego es encabezada por los problemas de orden técnico y de manejo, sobre todo en lo que a riego por gravedad y aspersión se refieren.

González et-al, (1992) concluye que de las 169 unidades de producción inventariadas en 11 departamentos, el 91% utilizan riego superficial y aspersión. Además González concluye que: Las problemáticas de riego encontradas en los departamentos, se pueden agrupar en las siguientes categorías: Técnica, Conocimiento/Actitud, Organizativa, Contactos (asistencia técnica) y Económica.

Tratando de contribuir positivamente en la problemática del riego en Nicaragua y consolidar la relación interinstitucional entre la Universidad Nacional Agraria (U.N.A.) y el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria (C.N.I.A.) del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (I.N.T.A.), la cual surgió de la necesidad de realizar un estudio de la problemática que afronta el C.N.I.A. en el área agrícola que se ha destinado para la investigación agropecuaria, ya que existe un potencial de riego y una infraestructura que en determinado momento resultó beneficiosa, pero que actualmente podría generar problemas a corto y largo plazo. Pues, se trata de identificar, cuantificar y resolver.

Esta investigación realizado enmarcada dentro de las líneas de investigación propuestas por la U.N.A. En este sentido el Departamento de Riego y Conservación de Suelos de la Escuela de Suelos y Aguas, en coordinación con el C.N.I.A., apoyan el estudio del sistema de riego, instalado dentro del área agrícola del C.N.I.A.

Se presenta una caracterización del área bajo riego del C.N.I.A. considerando tres aspectos fundamentales:

- a) Descripción de la infraestructura de riego; en la que se detalla el equipo con que se cuenta, y el área en que está montado.

- b) Propiedades hidrofísica analizadas; aquí se hace referencia de algunas propiedades del suelo, y también se incluyen algunas descripciones de perfiles.

- c) Problemática sobre el manejo del riego; se muestran los principales problemas para el eficiente desarrollo de la investigación agropecuaria.

II. OBJETIVOS E HIPOTESIS

Generales

1. Analizar y valorar los factores que influyen en el área agrícola bajo el sistema de riego por aspersión en el C.N.I.A.
2. Contribuir al fortalecimiento de los vínculos de trabajo entre la Universidad Nacional Agraria y el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria para que incidan positivamente sobre el medio agropecuario en el que se encuentran, así como fortalecer la proyección que tienen a nivel nacional como instituciones formadoras de profesionales y garante de la investigación agropecuaria.

Específicos

1. Realizar un reconocimiento y valoración del área de estudio así como de los elementos del sistema de riego para conocer la capacidad de infraestructura y equipo de riego que posee el C.N.I.A.
2. Conocer el potencial hidrofísico con que se cuenta para determinar la aptitud del suelo para el riego.
3. Describir la problemática en torno al manejo del riego, basado en el conocimiento de la infraestructura, potencial disponible y las intenciones de desarrollo del CNIA.

Hipótesis

"El sistema de riego, establecido en el C.N.I.A. con fines de establecimiento de cultivos experimentales y producción de semilla, posee una alta eficiencia en la aplicación del agua dado que las condiciones hídricas y edáficas han sido analizadas para la planificación y ejecución de los experimentos agrícolas."

III. REVISION DE LITERATURA

3.1. Caracterización Climática del Departamento de Managua.

El Departamento de Managua se caracteriza por presentar un regimen climático constituido por dos estaciones, una seca y otra lluviosa, ésta última se presenta entre los meses de Mayo y Octubre.

Los registro pluviométricos de la estación del Aeropuerto Internacional de Managua, indican que durante el año precipitan un promedio histórico total, de 1106 mm. Mientras que la demanda climática (Evapotranspiración Potencial) es de 1739 mm, siendo más acentuado el déficit durante los meses de Marzo y Abril, donde se han estimado valores hasta de 7 mm en un día.

De acuerdo, a las características pluviométricas y demanda climática, en el Departamento se han definido dos estrategias de siembra, conocidas como Primera y Postrera, para el establecimiento de cultivos anuales de secano. Para producir durante la epoca seca, es necesario la utilización de métodos de irrigación. (Dato obtenido en comunicación personal con el I.N.T.A., Septiembre 1994).

3.2. Institucionalidad del C.N.I.A.

El I.N.T.A. tiene dos direcciones sobre las cuales descansa la implementación del plan de trabajo técnico operativo; éstas son: Dirección de Generación y Transferencia de Tecnología y la Dirección de Servicios de Apoyo. Dentro de la Dirección de Generación y Transferencia de Tecnología, se encuentra el C.N.I.A.,

el cual lleva a cabo programas como: Manejo Integrado de Plagas; Suelos y Aguas; Granos Básicos; Ganadería/Pastos, Cultivos Diversos y Producción de Semilla. Muchos de éstos programas se realizan en coordinación con las delegaciones del I.N.T.A. de las regiones del país aunque otros se materializan en las instalaciones del C.N.I.A.

El objetivo del C.N.I.A. como apéndice investigativo del I.N.T.A. es el de ser receptor de la problemática agropecuaria nacional y dar respuesta en la medida de sus posibilidades a esas necesidades.

Las funciones del C.N.I.A. son las siguientes:

- Diseña y ejecuta los programas de investigación/validación de tecnología agropecuaria del I.N.T.A., en base a la demanda de los técnicos y productores.
- Elabora planes operativos e informes de las investigaciones realizadas para su posterior evaluación metodológica y socioeconómica, y su disposición a los demandantes.
- Proporciona apoyo a las estaciones experimentales y a los equipos multidisciplinarios de profesionales, en las regiones.
- Produce la semilla básica de acuerdo a las necesidades de los Programas Nacionales y regionales.

3.3. Riego por Aspersión

El riego por aspersión modifica por completo el medio ambiental de la planta mojando el suelo y las hojas, éstos tipos de sistemas tienen ventajas especiales en donde las tasas de infiltración son elevadas o la topografía del terreno impide que se haga una nivelación adecuada para el riego superficial, también con sistemas de riego por aspersión es posible controlar cuidadosamente la tasa de aplicación del agua en el suelo. (Foth, 1987)

3.4. El Aire y el Riego por Aspersión

Existen aspectos del aire ambiental que pueden tener un efecto señalado sobre el riego por aspersión. El más importante es el viento, capaz de modificar apreciablemente la uniformidad de recubrimiento por perturbar su distribución. (Pillsbury, 1968). Los aspersores con una trayectoria alta pueden quedar más afectados por el viento que los de trayectoria baja. Sin embargo, con vientos fuertes (de más de 4 m/s), el viento es más turbulento inmediatamente por encima de la vegetación y puede en estas condiciones que la trayectoria sea relativamente alta. (Wiersna, 1955 citado por Pillsbury, 1968)

Cuando la humedad relativa es baja y la temperatura elevada, se puede producir una apreciable evaporación de las gotas de agua en el aire (Frost y Schwalen, 1955 citado por Pillsbury, 1968). Además, hay una evaporación en las hojas y de la superficie del suelo que se prolonga cierto tiempo después del riego.

3.5. Ventajas del riego por aspersión (Tomado de CIDIAT, 1988)

- Factibilidad de regar tierras que por sus características no pueden ser irrigadas con riego por gravedad.
- No hay necesidad de nivelación de tierras.
- Prevención de escorrentía y consecuentemente la erosión.
- Se puede utilizar pequeños caudales.
- Mayor superficie disponible al no construirse canales.
- Ahorro de mano de obra.
- Mejor control de la humedad del suelo.
- Factibilidad de automatización.
- Reutilización del equipo en caso de problemas con el uso de la tierra.
- Control de temperatura de los cultivos.
- Menor tiempo para implementación.
- Alta eficiencia de aplicación del agua y uniformidad en su penetración en el perfil del suelo.
- En la aplicación de agua para germinación de las semillas aventaja a los métodos superficiales.
- Se puede aplicar junto con el riego fertilizantes líquidos o solubles y sustancias de uso fitosanitario.

3.6. Desventajas del riego por aspersión (Tomado de CIDIAT, 1988)

- Elevado costo inicial.
 - Alto requerimiento de energía.
 - Inconveniente cuando el caudal no es continuo.
- La movilización del equipo en terrenos humedecidos es problemático.
- El viento afecta la distribución y eficiencia en la aplicación del agua.

- Dependencia de equipos mecánicos.
- Problemas con la calidad del agua.
- No es aplicable en suelos con baja velocidad de infiltración.

3.7. Calidad del agua de riego.

La calidad del agua se define en función de tres criterios: salinidad en sentido restringido, sodicidad y toxicidad. El criterio de salinidad evalúa el riesgo de que el uso del agua ocasione altas concentraciones de sales, con el correspondiente efecto osmótico y disminución de rendimientos de los cultivos. El criterio de sodicidad analiza el riesgo de que se induzca un elevado PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable), con deterioro de la estructura. El criterio de toxicidad estudia los problemas que pueden crear determinados iones. (Pizarro, 1990)

Las características que determinan la calidad del agua de riego son:

1. La concentración total de sólidos en suspensión (sedimentación de origen erosivo)
2. La concentración total de sales solubles.
3. La concentración relativa de sodio en relación a otros cationes.
4. La concentración de boro u otros elementos tóxicos.
5. La dureza del agua, o sea la concentración de bicarbonato en relación a los cationes divalentes.
6. La presencia de semillas de malezas, esporas de hongos patógenos y huevos o larva de insectos. (Gurovich, 1985)

3.8. Clasificación de aguas para riego

El Diagrama para la clasificación de aguas para riego (ANEXO 21) está basado en la conductividad eléctrica en micromhos por centímetro y en la relación de adsorción de sodio. Este diagrama es propuesto por el Laboratorio de Salinidad de los EE.UU., 1953 (Allison et-al, 1980)

La conductividad eléctrica es sinónimo de conductancia eléctrica específica y se usa para indicar la concentración total de constituyentes ionizados en el agua natural. La RAS (Relación de Adsorción del Sodio) en una solución del suelo, se relaciona con la adsorción de Sodio y en consecuencia, esta relación puede usarse como "índice de Sodio" o "del peligro de sodificación que tiene dicha agua". Esta relación es la siguiente:

$$RAS = Na^+ / \sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})} / 2 \quad (\text{Allison et-al, 1980})$$

3.9. Medición de humedad del suelo con sonda de Neutrones.

Las probetas de neutrones son los instrumentos para realizar las mediciones y constan de una Fuente radiactiva de neutrones rápidos y un detector sensible sólo a neutrones lentos. (Gurovich, 1985)

La probeta es un cilindro metálico de 40 cm de alto y 3.8 cm de diámetro que se mantiene dentro de un escudo de Plomo y parafina. La fuente radiactiva colocada en medio de la probeta mide 7 x 7.5 mm. Además de actuar como envase de la probeta el escudo sirve para chequear el sistema; emite neutrones rápidos dentro de él y mide los termalizados. (Gurovich, 1985)

Los aparatos comerciales traen una curva de calibración estándar que en general se adecúa a una gran variedad de suelos. Cuando se requieren mediciones en extremo precisas, se debe establecer una curva de calibración particular, haciendo mediciones y obteniendo muestras para la determinación del agua por gravimetría. (Gurovich, 1985)

Muchas curvas de calibración son realizadas en arenas; sin embargo dan valores adecuados para suelos de texturas medias y finas, con errores máximos del 5%. Las curvas relacionan las cuentas de neutrones lentos en el escalímetro con el contenido de agua expresado en porcentaje basados en volumen (Gurovich, 1985)

Los factores que afectan la calibración son: a) contenidos altos de materia orgánica (mayores al 5%; b) presencia de sales con altos contenidos de Boro, Litio, Cloro y Hierro. Para estos casos deben hacerse nuevas curvas que representan las nuevas condiciones (Gurovich, 1985)

También pueden afectar la calibración las mediciones a menos de 18 cm de la superficie pues debido a la discontinuidad aire-suelo los neutrones escapan y no son registrados (Gurovich, 1985)

3.10. Propiedades Físicas

3.10.1. Textura

De manera muy específica textura se refiere a la proporción relativa de las partículas de arena, limo y arcilla. (Foth, 1987). Esta proporción establece la textura de los suelos lo que se realiza mediante el triángulo textural. (ANEXO 4)

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, presenta una clasificación de la clase textural según el diámetro de las partículas de suelo.

Cuadro No. 1 Clasificación Textural

Partículas	Diámetro (mm)
Arena muy gruesa	2.00 - 1.00
Arena gruesa	1.00 - 0.50
Arena mediana	0.50 - 0.25
Area fina	0.25 - 0.10
Arena muy fina	0.10 - 0.05
Limo	0.05 - 0.02
Arcilla	< 0.02

Según Pillsburry, (1968) expresa que los suelos arenosos tienen una área superficial relativamente pequeña por unidad de volumen y, por ello una baja capacidad de retención hídrica. Presentan pocos poros, pero de gran tamaño y el agua tiende a penetrar y circular con relativa rapidez. Los suelos arenosos exigen aplicaciones ligeras y frecuentes de riego.

El suelo de textura gruesas tiende a ser menos poroso que el de texturas finas, aunque el tamaño promedio de los poros individuales es mayor en el primero que en el segundo.(Gurovich, 1985)

En suelos arenosos el valor de humedad volumétrica en saturación es del orden de 40-50%, aumentando a medida que la textura del suelo se hace más arcillosa.(Gurovich, 1985)

3.10.2. Densidad Aparente

La densidad aparente del suelo es la relación entre la masa (secada al horno) de las partículas de suelo y el volumen total, incluyendo el espacio poroso que ocupan, Forsythe, 1980.

A continuación se presenta un cuadro de valores de Densidad Aparente de acuerdo al aspecto cualitativo de los suelos, presentado por Kachinski, citado por Forsythe, 1980.

Cuadro No. 2 Clasificación de la Densidad Aparente

Densidad Aparente g/cm ³	Apreciación Cualitativa
< 0.1	Suelos ricos en materia orgánica.
1.0 - 1.1	Valores típicos de suelos arables recientemente labrados.
1.2	Campo labrado compacto.
1.3 - 1.4	Campo labrado muy compacto.
1.4 - 1.6	Valores típicos de horizontes yacentes bajo los horizontes arables de distintos suelos.
1.6 - 1.8	Horizontes iluviales muy compactados.

Según Foth, (1987) la regla general de que los suelos de textura fina tienen más espacios porosos y menor densidad aparente que los suelos de textura gruesa, puede ser válida cuando existen condiciones estructurales comparables, como es el caso cuando se comparan muestras de capas labradas. Este argumento debe proporcionar una base para comprender que es posible que la mayor cantidad de agua disponible no se encuentra necesariamente en el horizonte de mayor contenido de arcilla, ya que el agua que se almacena en los espacios porosos del suelo arcilloso es retenida con mayor fuerza.

La densidad aparente es afectada por la estructura del suelo, es decir por su grado de compactación, así como por sus características de expansión y contracción que dependen a su vez del grado de humedad. (Gurovich, 1985)

3.11. Cultivo y Necesidades de Agua. Maíz: (*Zea mays* L)

3.11.1. Necesidades de Agua

Este cultivo es un usuario eficiente del agua ya que para obtener una producción máxima, el cultivo en el período de madurez exige de 500 mm a 800 mm de precipitación. El coeficiente de cultivo que relaciona las necesidades hídricas (Evapotranspiración máxima) y la Evapotranspiración de referencia en distintas etapas de su desarrollo son: en la etapa inicial de 15 a 30 días (0.3 a 0.5), en la etapa de desarrollo 30 a 45 días (0.7 a 0.85), en la etapa media del ciclo 1.05 a 1.2, etapa final del ciclo 10 a 30 días 0.8 a 0.9 y en la recolección 10 a 30 días de 0.55 a 0.60. (Doorenbos, 1986)

3.11.2. Suministro de agua

La frecuencia y la profundidad del riego tienen un efecto considerable sobre el rendimiento. Un déficit de agua durante la floración provoca una disminución del número de granos por mazorca y por ende de los rendimientos. El cultivo del maíz es relativamente tolerante a los déficit de agua durante el período vegetativo y maduración. (Doorenbos, 1986)

3.11.3. Absorción de agua por el cultivo

Para estimular el desarrollo rápido y profundo de las raíces puede ser ventajoso un alto valor del agotamiento del agua durante los períodos iniciales de desarrollo, durante el período de maduración puede llegarse a un agotamiento del 80% del agua en el suelo o más. (Doorenbos, 1986)

Aunque en suelos profundos las raíces pueden llegar a una profundidad de 2 metros, el sistema radicular muy ramificado se sitúa en la capa superior a 0.8 metros produciéndose cerca del 80% de la absorción de agua del suelo dentro de ésta capa. (Doorenbos, 1986)

3.11.4. Programación del riego

Para obtener un desarrollo rápido de las raíces, la zona radical debe, si es posible estar húmeda en el momento de la siembra o poco después de ésta. Cuando las lluvias son escasas y el suministro de agua de riego es limitado la programación del riego debe basarse en evitar un déficit de agua durante el período de floración, seguido por el período de formación de cosecha. En condiciones de suministro limitado del agua de riego el número de aplicaciones posibles de riego varía entre 2 y 5. (Doorenbos, 1986)

3.12. Cultivo y Necesidades de Agua. Sorgo: (*Sorghum bicolor*)

3.12.1. Necesidades de Agua

Para obtener una producción elevada las necesidades de agua del cultivo del sorgo, con un ciclo de 110 a 130 días están entre 450 mm y 600 mm. El coeficiente del cultivo que relaciona la evapotranspiración máxima y la evapotranspiración de referencia tiene los valores siguientes en la etapa inicial del cultivo es 0.40 (20 a 25 días); en la etapa de desarrollo 0,70 a 0.75 (30 a 40 días); en la etapa media del ciclo 1.0 a 1.15 (40 a 45 días); en la etapa final del ciclo 0.75 a 0.80 (30 días) y en la recolección 0.50 a 0.55. (Doorenbos, 1986)

3.12.2. Suministro de Agua

El sorgo es relativamente más resistente a la sequía que muchos otros cultivos, por ejemplo el maíz. Esto se debe a su extenso sistema radicular, al control efectivo de la evapotranspiración y a estomas con capacidad de recuperación rápida después de períodos de penuria de agua. Las deficiencias rigurosas de agua durante el período de floración motivan el fracaso de la polinización o el secado de la espiga. (Doorenbos, 1986)

3.12.3. Absorción de Agua por el Cultivo

El sistema radical principal, es poco ramificado, crece rápidamente en suelos profundos desde 1 a 1.50 m. El sistema radical secundario comienza varias semanas después de la nascencia y se extiende rápidamente, dependiendo de la profundidad de la humedad del suelo. En suelos profundos, el

extenso sistema radicular permite flexibilidad en la frecuencia del riego. (Doorenbos, 1986)

3.12.4. Programación del Riego

El suministro del agua de riego debe basarse en evitar los déficit de agua durante los períodos picos de uso del agua que comprende desde la floración hasta el período inicial de formación de cosecha. El número de riegos varían de 1-4, dependiendo de las condiciones climáticas y de la textura del suelo. La mayor eficiencia de utilización del agua se obtiene cuando estos riegos están bien programados en el tiempo con relación a la sensibilidad del cultivo a los déficit de agua. (Doorenbos, 1986)

3.13. Cultivo y Necesidades de Agua. Leguminosas

3.13.1. Necesidades de Agua

Las necesidades de agua para obtener una producción máxima con un cultivo de 60 a 120 días, varía entre 300 mm y 500 mm, dependiendo del clima. Las necesidades de agua durante el período de maduración depende de que la vaina se coseche verde o seca. Cuando se cultiva para su producción en verde, el período vegetativo total del cultivo es relativamente corto y durante la maduración que tiene unos 10 días de duración, la evapotranspiración del cultivo es relativamente pequeña, debido a la desecación de las hojas.

Cuando el cultivo se realiza para producción de semilla, el período de maduración es más largo y la disminución de la evapotranspiración del cultivo es relativamente mayor.

(Doorenbos, 1986)

3.13.2. Suministro de Agua

El suministro de agua necesario para un rendimiento máximo, tanto para la producción en verde como en seco, es parecido durante gran parte del período vegetativo, pero varía durante el período de maduración. Para la producción en verde el suministro es permanente hasta inmediatamente antes de la última recolección, pero en el caso de la producción en seco el suministro se interrumpe unos 20 a 25 días antes de la recolección. (Doorenbos, 1986)

3.13.3. Absorción del Agua por el cultivo

Las raíces de las leguminosas pueden alcanzar una profundidad de 1 a 1.50 mts; el sistema radical lateral es extenso y se concentra principalmente en los primeros 30 cm. En el momento de la nascencia la profundidad de las raíces es de unos 7 cm, al comienzo de la floración es de 30 a 40 cm y en la madurez es de 1 a 1.50 mts. La absorción del agua se produce principalmente en los primeros 50 a 70 cm de profundidad.

3.13.4. Programación del Riego

Cuando el cultivo de leguminosas se realiza con riego suplementario, el suministro de agua debe dirigirse a atender las necesidades durante el período de establecimiento y durante la

etapa inicial del período de floración. Cuando el cultivo se realiza totalmente con riego, el agotamiento del agua del suelo durante los períodos de floración y formación de cosecha, no debe exceder del 40 a 50% del total del agua disponible del suelo. (Doorenbos, 1986)

3.14. Resistencia Mecánica

Veihmeyer, et-al, citado por Forsythe (1975), usaron la densidad aparente como índice de la penetrabilidad del suelo, y en sus trabajos encontraron que ninguna raíz penetraba los suelos con una densidad aparente de 1.90 g/cm^3 o mayor. Sin embargo, en los suelos estudiados los valores limitantes de densidad aparente variaron entre 1.47 g/cm^3 a 1.90 g/cm^3 , dependió del valor de densidad de los sólidos, la cual varía de acuerdo al tipo de suelo. (Taylor, et-al, citado por Forsythe (1975) encontraron que el factor básico que afecta la penetración de las raíces de plantas de algodón es la resistencia del suelo, la cual midieron con un penetrómetro estático. Estos investigadores encontraron que en un determinado suelo, la densidad aparente influye sobre la resistencia, pero que también influyen otros factores, como la succión del agua en el suelo.

Alegría, (1991) establece en su informe, que los valores considerados bajos de Densidad Aparente (g/cm^3) son < 1.1 , el límite crítico ideal oscila entre 1.2 y 1.3 , así también establece como rango alto valores > 1.3 . De la misma manera manifiesta que los rangos bajo y alto de Resistencia Mecánica en Kilo Pascales corresponden a < 50 y > 150 respectivamente, manteniendose como límite crítico ideal los valores comprendidos entre 50 y 150 .

3.15. Prueba de Uniformidad y Eficiencia

3.15.1. Método del coeficiente de uniformidad de Christiansen

El cálculo se basa en la determinación de la cantidad de agua promedio por recipiente y las desviaciones de la cantidad promedio. El resultado es expresado en porcentaje. En la medida que la distribución es mejor, menores son las desviaciones y, consecuentemente, el valor que se obtiene se acerca a 100%. Este coeficiente está afectado por las relaciones en tamaño de boquilla-presión, espaciamiento de los aspersorios y por las condiciones del viento. (Shani et-al, 1984)

Determinación del coeficiente de uniformidad de acuerdo con Christiansen:

$$Cu = 100 \left(1 - \frac{\sum |X_i - X|}{X \cdot n} \right)$$

Cu: coeficiente de uniformidad en %.

Σ : Sumatoria.

X_i : lectura de la cantidad de agua en cada recipiente, en mm.

X: promedio de las lecturas de los recipientes, en mm.

n: número de recipientes.

Un valor Cu = 84% es considerado como el mínimo necesario para la aprobación de aspersores para el riego de cultivos de campo, de acuerdo con los requerimientos. (Shani et-al, 1984)

Gurovich L, (1985), expresa que la eficiencia con que los agricultores aplican su dotación de agua de riego al suelo depende de dos factores fundamentales: el manejo del agua durante el riego y las características hídricas del suelo que se esté regando. En el primer factor se distinguen varios aspectos que

interactúan e inciden en forma determinante en la eficiencia de aplicación del agua de riego:

- El diseño del sistema (dimensiones y orientación del campo regado).
- Los caudales utilizados.
- La frecuencia de riego, que en este caso determina el contenido de agua del suelo en el momento previo a una aplicación de agua.
- El tiempo de riego utilizado durante el cual el agua está en contacto con la superficie del suelo, permitiéndose en esta forma que tenga lugar el proceso de infiltración.

De acuerdo al segundo factor, las cuáles son características hídricas de los suelos regados, tienen los siguientes aspectos determinantes en la eficiencia de aplicación del agua:

- La velocidad de infiltración del agua, o sea la propiedad del perfil de suelo de permitir el flujo descendente del agua que está en contacto con la superficie, a través del perfil, en profundidad.
- Las características de retención del agua del suelo.
- La profundidad del perfil del suelo y sus condiciones de estratificación, que determinan las diferentes capacidades c conductivas del perfil total frente al agua.
- La densidad aparente de los diferentes estratos del perfil.

3.15.2. Eficiencia de aplicación (Ea)

Aguilera, et-al (1980). Definen (Ea) como la relación entre el requerimiento de riego del cultivo y el agua servida a la parcela.

Gurovich, L. (1985). Define esta eficiencia como la relación que existe entre el agua que entra al sector del riego y el agua que efectivamente quedó retenida en la zona radicular. Se presenta la siguiente ecuación:

$$Ea = (V \text{ de entrada} - V \text{ de salida}) / V \text{ de entrada}$$

de donde V = Volumen

El volumen de entrada corresponde a la cantidad total de agua que se hace entrar al sector de riego durante el tiempo que dure ésta práctica. El volumen de salida está representado por dos tipos de pérdidas:

- La cantidad total de agua que sale del sector de riego por escurrimiento superficial y no tiene la posibilidad de infiltrar al perfil.
- La cantidad total de agua que sale del sector de riego por percolación bajo la zona de arraigamiento del cultivo y no queda a disposición del cultivo.

$$Ea = \text{Lámina requerida} \text{ ó } VMR / VMS * 100$$

de dónde:

Ea = Eficiencia de Aplicación (%)

VMR = Valor Mínimo Recibido (mm) que es igual al promedio del 25% de los datos mas bajos del total.

VMS = Valor Medio Suministrado (mm) que es igual a
el caudal del aspersor (L/Hr) / Ea * El

Ea = Espaciamiento entre aspersores (m)

El = Espaciamiento entre laterales (m)

Si bien es cierto que la Eficiencia de Aplicación no determina si el riego es satisfactorio desde el punto de vista agronómico, es el parámetro que indica cuánta agua, del volumen total que se aplica por unidad de superficie, se utiliza para regar el suelo. (Gurovich, L. 1985)

Cuando se encuentran eficiencias de Aplicación muy bajas, se entiende que las pérdidas por percolación profunda y/o escurrimiento superficial han sido grandes. Si se trata de una gran percolación es probable que la causa sea un tiempo de riego demasiado prolongado, en un suelo con una velocidad de infiltración relativamente alta. El manejo de este caso debe modificarse a tiempos de riegos más cortos y, por lo tanto, también a láminas de riego más pequeñas. (Gurovich, L. 1985)

Una eficiencia de aplicación cercana al 100% no indica necesariamente un buen riego; por ejemplo al agregar un litro de agua a una Ha de suelo relativamente seco, tendría una eficiencia de aplicación del 100%, pues no habría pérdidas de percolación, ni por escorrentía superficial; sin embargo no sería un riego muy efectivo para el cultivo. (Gurovich, L. 1985)

3.15.3. Eficiencia de Almacenamiento (Eal)

Se define como la relación del agua almacenada en el perfil como efecto del riego y el agua necesaria para llevar a ese mismo perfil hasta la capacidad de campo en toda la profundidad de arraigamiento del cultivo. (Gurovich, L. 1985)

$$Eal = Yr/Y$$

de dónde:

Eal = Eficiencia de Almacenamiento.

Yr = Lámina de agua requerida o valor mínimo recibido

$$Yr = (CC - LP) * Da * Profundidad/100 \text{ (mm)}.$$

Y = Lámina almacenada en la zona radicular

$$Y = Ya - Yr \text{ (mm)}$$

Ya = Lámina total aplicada ó sumatoria de láminas traslapadas (mm).

Para un suelo con una velocidad de infiltración determinada, el volumen almacenado dependerá del tiempo de riego. El volumen necesario para el perfil hasta la profundidad de arraigamiento del cultivo a la capacidad de campo depende del contenido de agua antes del riego. Tampoco en este caso una eficiencia de almacenamiento del 100% está indicando un riego adecuado, ya que es posible llevar el perfil de suelo hasta la capacidad de campo pero con una pérdida por escurrimiento superficial y/o percolación profunda significativamente altas. (Gurovich, L. 1985)

3.15.4. Eficiencia de Distribución (Ed) o Uniformidad

Gurovich, L. (1985). Define (Ed) como la relación entre el promedio de profundidad alcanzado por el agua en el perfil durante el riego y la desviación de este promedio para un número de puntos específicos de muestreo. Así, mientras más pequeña sea la desviación con respecto al promedio, o sea mientras más uniforme sea la profundidad de mojado del perfil regado, mayor será la eficiencia de uniformidad.

$Ed = \text{Valor mínimo recibido} / \text{Valor medio recibido} * 100$. El valor mínimo recibido es igual al promedio del 25% de los datos más bajos del total de datos (mm/hr). El Valor medio recibido es igual al promedio de los datos.

3.15.5. Eficiencia Agronómica (Eu)

Esta indica en buena medida que proporción del agua realmente infiltrada en el perfil y retenida por el suelo, está en condiciones de ser evapotranspirada por todas las plantas en una superficie determinada. El valor de ésta es la resultante de la interacción de la Eficiencia de Aplicación, Eficiencia de Almacenamiento y Eficiencia de Distribución. (Gurovich, L. 1985)

$$Eu = Ea * Eal * Ed$$

de dónde:

Eu = Eficiencia Agronómica

Ea = Eficiencia de Aplicación

Eal = Eficiencia de Almacenamiento

Ed = Eficiencia de Distribución

3.15.6. Eficiencia de Riego del Sistema (Ei)

Este parámetro refleja hasta que punto el sistema puede trabajar correctamente cuando suministra la cantidad de agua adecuada. También se define como la relación entre el volumen de agua consumido (evapotranspirado por el cultivo) y el volumen de agua aplicado. (Gurovich, L. 1985)

Las eficiencias posibles de alcanzar en el riego por aspersión, en una situación óptima de diseño y operación son las siguientes: Eficiencia de Aplicación (Ea), 90%; Eficiencia de Almacenamiento (Eal), 100%; Eficiencia de Distribución (Ed), 85%; Eficiencia Agronómica, 76% (Gurovich, L. 1985)

3.16. Tiempo y Frecuencia de Riego

El aforo de los aspersores permite obtener el caudal del aspersor, para lo cual se utiliza la fórmula siguiente: $Q = V/t$ (CIDIAT, 1988)

de donde Q: Caudal de aspersor (m^3/min)

V: Volumen del recipiente (m^3)

t: tiempo de medición (min)

La intensidad de aplicación se obtiene a través de la fórmula siguiente: $I_{ap} = q*1000/a$ (CIDIAT, 1988)

de donde I_{ap} : Intensidad de aplicación (mm/h)

q: caudal del aspersor m^3/h

a: espaciamiento entre aspersores x espaciamiento entre laterales m^2

La lámina neta a aplicar por riego depende de las condiciones físicas de humedad y de la planta, por lo que se utiliza la fórmula siguiente: (Gurovich, 1985)

$$\text{LNR} = \frac{(\text{CC}-\text{LP}) * \text{Da} * \text{P}}{100}$$

de donde: CC: Capacidad de Campo (%)

LP: Límite Productivo (%)

Da: Densidad Aparente (g/cm³)

P: Profundidad (cm)

García, (1983) Establece que el tiempo de riego se determina dividiendo la norma de riego (neta) a aplicar entre la intensidad de aplicación neta del aspersor, o sea:

$$t \text{ riego} = \frac{\text{Lámina neta requerida}}{\text{intensidad de aplicación}}$$

Gurovich, (1985) Afirma que para obtener la frecuencia de riego se puede aplicar la siguiente fórmula:

$F = \text{Ln}/\text{ETP}(\text{máxima})$, de donde:

Ln: Lámina neta requerida (mm)

ETP: Evapotranspiración (mm/día)

IV. MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo de investigación está ubicado entre las coordenadas geográficas 12°05' - 12°06', latitud Norte y 86°09' - 86°08' longitud Oeste en el Departamento de Managua, sobre el Km 13 $\frac{1}{2}$ c. Norte en el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria (C.N.I.A.); éste trabajo vincula la descripción de los principales problemas de producción y la evaluación del sistema de riego por aspersión.

El C.N.I.A. posee un área para realización de experimentos de aproximadamente 63.5 ha de las cuales 35 ha son beneficiadas por un sistema de riego por aspersión. Este sistema fué diseñado, según Boza, 1986: "Con el fin de contar con un lote para experimentación", lo que en la actualidad sigue en vigencia, puesto que brinda a los experimentos las condiciones hídricas necesarias para su desarrollo y ofrece un área en la cual los productores pueden comprobar y extrapolar los resultados de los experimentos ahí establecidos.

El área irrigada cuenta con una lotificación en la cual los investigadores montan sus experimentos. Al momento del inicio del presente estudio se presentaban cultivos como: maíz, sorgo, pasto, diferentes tipos de leguminosas e incluso lotes que tenían 1 año de no ser utilizadas. Estos lotes tiene extensiones de 2 a 3 ha con pendientes de 0-1.5%

La metodología empleada se divide en tres aspectos fundamentales, correspondientes a: 1) La descripción del área de estudio, 2) La caracterización de las propiedades hidrofísicas del área agrícola, 3) Comunicación directa (entrevistas abiertas) con

personas ligadas al manejo del sistema de riego (responsables del área agrícola, investigadores, operarios) y recolección de información referente al comportamiento del acuífero del área.

El desarrollo de la metodología empleada consistió en mediciones directas en el campo, en total se realizaron 9 actividades tipos (ejemplo, prueba de infiltración del agua en el suelo) y cuyos resultados se muestran en su capítulo correspondiente. También se realizó una recopilación de resultados de investigaciones científicas pertinentes, adicionándose datos y/o información vertida por profesionales que laboran en el C.N.I.A. y el Departamento de Riego y Conservación de Suelos de la U.N.A.

La metodología desarrollada en el proceso de observación directa consistió en una caracterización del área en la que se revisó la infraestructura del sistema de riego, se describieron las propiedades hidrofísicas del suelo y se detectó la problemática general en torno a la agricultura bajo riego.

En el caso de las propiedades físicas de suelo y su clasificación, las muestras de suelo fueron llevadas al laboratorio de suelos y aguas de la Universidad Nacional Agraria donde se realizaron los análisis físicos mediante los métodos tradicionales para tales fines; se determinó la textura del suelo a través del método del Hidrómetro de Bouyucos. La densidad aparente con el método del cilindro de volumen conocido. La determinación de la capacidad de campo (CC) y el punto de marchites permanente (PMP) se determinaron con el método de la olla de presión.

Se incluyen dentro de los análisis de laboratorio el correspondiente al agua de riego, el cual fue realizado según los métodos tradicionales. Se analizaron los datos del laboratorio para determinar la clasificación del agua, utilizando el gráfico de calidad del agua propuesto por el Laboratorio de Salinidad de los EE.UU en 1953.

La prueba de infiltración del suelo por el método del doble cilindro; el modelo matemático utilizado para obtener las curvas de Infiltración e Infiltración acumulada es el desarrollado por Kostiakov-Lewis. La prueba se efectuó en tres lotes en los que se encontraban establecidos cultivos de sorgo, maíz y leguminosas. En la realización de ésta prueba se implementaron algunas variables, por ejemplo: lote No. 4 (cultivado con maíz) se llevó a cabo la prueba en el surco y en el camellón, lo mismo se hizo en el lote No. 3 (sorgo), dando como resultado diferentes para cada sitio y variante efectuada, en el caso del lote No. 2 (leguminosas) no sufrió esta modificación pero también el dato de velocidad de infiltración cambió. De la prueba de infiltración se obtuvo información referente a la velocidad de infiltración y la infiltración acumulada para cada sitio.

La penetrabilidad del suelo se midió a través de un penetrómetro estático de bolsillo de punta roma (POCKET PENETROMETER MODELO CL-700 SOIL TEST INC CHICAGO USA). Esta medición se realizó en cuatro calicatas, ubicadas en los lotes No. 1, 2, 3 y 4, previo a un humedecimiento del perfil, tomándose el promedio de diez lecturas a las profundidades de 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70 cm.

El aforo de la estación de bombeo se hizo mediante el método balístico, con la ayuda de una escuadra graduada, de 150 cm de longitud en su lado más largo y de 30 cm por el lado más corto y el nomograma de aforo para tubos horizontales (ANEXO 5). El procedimiento de aforo consistió en determinar una distancia D en centímetros (longitud del chorro), dónde la parte mas corta de la escuadra (30 cm) se interceptó con el agua. Al ser determinada la distancia de D y conocer el diámetro de la tubería de descarga (pulgadas) y utilizando el nomograma en donde el eje de las ordenadas representa las distancias D , cuyo valor se interceptó con la curva que corresponde al diámetro de la tubería y así se determinó en el eje de las abcisas, el gasto de la bomba en litros por segundo.

El coeficiente de uniformidad fue obtenido mediante datos referentes a volúmenes que alcanzaron los botes ubicados a distancias de $3 * 3$ m dentro de un área de acción de un aspersor durante dos horas de funcionamiento. El área de recolección de los botes fue dividida en 4 cuadrantes, de los cuales se tomaron 2 (a la izquierda y derecha del aspersor). La parte de la derecha, puede solaparse, como si fuera otra posición del ala de riego, con la parte izquierda. Cuando la separación que se va a realizar es múltiplo de la distancia entre los botes, la suma, de las alturas de agua recogidas en los botes coincidentes en el solape, representa un riego completo, (ANEXOS 9 Y 10). Se indica la forma de efectuar dicho solape. Estos datos fueron procesados e introducidos en la fórmula de Christiansen.

Continuando con la evaluación del sistema de riego implementado se estimaron las eficiencias de Aplicación (E_a), Eficiencia de Almacenamiento (E_{al}), Eficiencia de Distribución

(Ed), Eficiencia de Utilización o Agronómica (Eu) y Eficiencia de riego del sistema (Ei); a través de los datos proporcionados por la prueba de Uniformidad de Distribución del agua.

Para realizar las lecturas de humedad del suelo, con la sonda de neutrones es necesario realizar su calibración. La calibración de la sonda es el establecimiento de una correlación lineal entre los conteos de la sonda y los datos de humedad volumétrica, éstos datos de humedad se tomaron en el momento en que se instalaron los tubos en los dispositivos experimentales. De la correlación se obtiene una ecuación en la cual se introduce el conteo relativo (conteo directo entre el conteo estándar); que da la sonda y se obtiene la humedad volumétrica. Los conteos directos y estándar se obtienen mediante la medición de la humedad, directamente en el campo y con el promedio de diez lecturas proporcionadas por la sonda en límite seco, respectivamente. Se realizaron calibraciones para cada uno de los sitios en donde se llevó a cabo el seguimiento de los cultivos. Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes:

$$Y = -30.7235 + 36.31192X \text{ (Ensayo de maíz)}$$

$$Y = -24.1365 + 36.7274X \text{ (Mucuna)}$$

$$Y = -12.5377 + 28.48339X \text{ (Leguminosas)}$$

$$Y = -6.91548 + 23.5538X \text{ (Pasto)}$$

dónde Y: Humedad Volumétrica y X: Conteo Relativo de la sonda.

Se instalaron dispositivos experimentales dentro del área agrícola, en los que se encontraban cultivos establecidos de, maíz (ensayo), leguminosas, mucuna y pasto. Estos dispositivos experimentales consistieron en una área relativamente pequeña en la que se instalaron dos tubos para medición de humedad con sonda de neutrones a profundidades que iban de 15 a 70 cm.

La información que se obtuvo de los dispositivos experimentales consistió en la cantidad de humedad que tenía el suelo a una profundidad determinada y en un tiempo dado, mediante la sonda; estos datos nos dan información referente al contenido de humedad que la planta puede aprovechar. Los datos arrojados por los dispositivos experimentales estaban directamente influenciados por los días y el tiempo de riego que se aplicaban indistintamente en cada dispositivo experimental. La recolección de la información se realizó procurando obtener datos previos y posteriores a un riego y en la medida de lo posible, diarios.

V. RESULTADOS OBTENIDOS

5.1.- DESCRIPCION DE LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO

5.1.1. Inventario de equipos y accesorios

El diseño del sistema de riego por aspersión cubre una superficie rectangular en el que el sistema de bombeo comprende el equipo de bombeo y el arreglo completo de las tuberías y accesorios de control y protección.

El equipo de bombeo ocupa aproximadamente el centro del campo y se encuentra una bomba de turbina vertical, de ella parten, paralelo al camino de acceso, la tubería principal, con un diámetro de 6 Pulg. En dirección Norte de la bomba se encuentran 9 válvulas de codo y en dirección Sur, otras 7 válvulas de codo a distancias variables; estas válvulas están conectadas, por un extremo, a tuberías de 4 Pulg. que atraviesan el camino de acceso transversalmente y permite acoplar laterales.

Se detalla todo el equipo y accesorios encontrados en el campo (Anexo 11); según éste inventario se observa que existe un 4% de tubos de extensión de 4 Pulg dañados. Se entiende como daño a perforaciones en la tubería. Un 1 % de tubos con toma para aspersor dañados, 23% de tubos con estabilizadores quebrados, a esto se agrega un 85% de acoples con fuga de agua producto de empaques en mal estado.

Boza, (1986) establece un diseño con 20 válvulas de codo, es decir existen 4 válvulas menos en funcionamiento que en el diseño original, lo que indica que la capacidad del sistema se está subutilizando porque se reduce el área irrigable al poner menos laterales y aspersores en funcionamiento; además se presenta un

déficit de un 50% en tubos con toma para aspersor, elevadores y aspersores en relación a lo que el sistema está destinado, de éste 50% en ocasiones un 33% es utilizado simultáneamente para irrigación, en pocas palabras, de 160 aspersores que deberían trabajar, sólo 30 o 50 trabajan en la actualidad.

La presencia de dos tipos de aspersores es otra característica que presenta el sistema, se observa un 41.11% de aspersores modelo Mar 90 Z, que es un aspersor de doble boquilla (no contemplado en el diseño original) y un 59% de aspersores modelo Bauer B-60 con una sola boquilla. En la tubería principal de 6 Pulg, se presenta un 9% de tubos dañados. Relacionado a la tubería principal se observa una Te de Hierro que reduce diámetro de 8 a 6 Pulg. con dos llaves de pase y una de ellas permanece abierta (inoperante). Cabe destacar que la llave en cuestión permite el abastecimiento de flujo hacia la parte norte de la bomba.

El equipo de bombeo se encuentra semi protegido por una caseta que carece de las condiciones necesarias de seguridad y resguardo. En el (ANEXO 6) se presenta un esquema del área de estudio.

5.1.2. Prueba de uniformidad

La prueba de uniformidad realizada permitió obtener información referente a la forma en que el equipo que se utiliza está funcionando, en éste sentido se confirmó ciertos prejuicios relacionados a una mala distribución del agua, tales como: áreas que reciben más cantidad de agua que otras durante mayor tiempo, cultivos con crecimiento no uniforme, necesidad de utilizar mayor cantidad de tuberías y aspersores.

Los valores individuales de coeficientes de uniformidad determinados en dicha prueba, proporcionan de manera general, la forma del manejo que se realiza con el sistema de riego. De acuerdo con la clasificación de coeficientes de uniformidad, realizada por (Lordelo, A. 1984); el coeficiente para el espaciamiento de 12m * 12m el cual es del 78% nos indica que el manejo que se lleva a cabo bajo este coeficiente, es de riego complementario, para cultivo de frutales con sistemas radiculares profundos. En lo que respecta al espaciamiento de 12m * 18m, el coeficiente de uniformidad encontrado (86%), indica un manejo para cultivos anuales con un valor económico aceptable. De lo anteriormente expresado podemos decir que el espaciamiento de 12m * 18m es el necesario para darle un buen manejo al sistema de acuerdo a las exigencias de producción que persigue este centro de investigación. En el (ANEXO 12) se presentan los datos de la prueba de uniformidad.

La interacción entre el manejo del agua de riego y las características hídricas del suelo, constituye la causa que determina obtener una eficiencia en el uso del agua de riego, la cual está sujeta a otros conceptos de eficiencia que son parte fundamental de un sistema de riego instalado.

A continuación se presentan los valores de eficiencias calculados para este sistema de riego.

Cuadro No. 3 Eficiencias del Sistema de Riego.

EFICIENCIAS	E. asp. * E. lat.	
	12 m * 12 m	12 m * 18 m
Distribución	72 %	79 %
Aplicación	41 %	57 %
Almacenamiento	76 %	53 %
Agronómica	22 %	24 %
Sistema	41 %	57 %
Coefficiente de Uniformidad	78 %	86 %

E. asp = Espaciamiento entre Aspersores
E. lat = Espaciamiento entre Laterales

5.1.2.1. Relación Eficiencia de Aplicación (Ea) y Uniformidad

La relación directamente proporcional que se establece entre la eficiencia de aplicación y los porcentajes de uniformidades determinadas para cada uno de los espaciamientos descritos, está relacionada con la presión de operación de los aspersores (64 psi), el cual presenta un 42% de aumento con respecto a la presión de diseño del sistema puesto que funcionan de 30 a 50 aspersores, de 160 que el sistema puede hacer funcionar simultáneamente.

Este exceso de presión mostrado por el sistema trae como consecuencia la modificación de la lluvia del aspersor, formando gotas más finas, las que caen alrededor del aspersor, producto de que las gotas con tamaños menores se distorsionan fácilmente por el viento (Los valores de velocidad del viento durante la prueba oscilaban entre 2.5 a 4 m/seg, clasificado como viento fuerte).

Otro aspecto importante el cual está vinculado al exceso de presión, es el aumento del caudal del aspersor (21%), con respecto al caudal de diseño lo que provoca un exceso del agua aplicada, lo que relacionado a la calidad de la lluvia, permiten una deposición excesiva del agua cerca del aspersor, afectando considerablemente la eficiencia de distribución y el coeficiente de uniformidad de distribución de la lluvia. Es necesario destacar que la disposición de los laterales y de los surcos es de Norte a Sur, lo que no está acorde con la dirección del viento ni con el diseño original.

5.1.2.2. Resultado de Eficiencia de Aplicación (Ea)

Aunque la Eficiencia de Aplicación (Ea), mostró un aumento del 28% con respecto al cambio de espaciamiento realizado de 12m * 12m a 12m * 18m, este incremento no es significativo ya que se sigue considerando como una eficiencia de aplicación baja, la que es causada por el aumento del caudal del aspersor, que incide en la aplicación de una lámina de agua mayor, lo cual es producto de la excesiva presión de operación del sistema.

5.1.2.3. Relación Eficiencia de Aplicación y Eficiencia de Almacenamiento

Para el espaciamiento de diseño (12m * 12m), los valores determinados de estas eficiencias demuestran que la eficiencia de aplicación del agua al predio agrícola es baja a lo contrario de la eficiencia de almacenamiento, que con este espaciamiento se ve incrementada, esta relación inversa entre estas dos eficiencias trae consigo el incremento de las pérdidas de agua por percolación profunda, la cual no queda a disposición del cultivo.

Con respecto al espaciamiento de 12m * 18m, la eficiencia de aplicación mostró un aumento del 28% y la eficiencia de almacenamiento obtuvo una disminución del 31%; el significado de estos valores obtenidos demuestran que debe existir una relación adecuada en el manejo técnico del sistema y el conocimiento de los aspectos hidrofísicos de los suelos en el cual se implemente un sistema de riego.

5.1.2.4. Eficiencia Agronómica (Eu)

El incremento de ésta eficiencia de acuerdo al aumento de espaciamiento es del 8%, el cual no se considera significativo, debido a que ésta eficiencia está en dependencia de la distribución, aplicación y almacenamiento; lo que indica que los valores bajos de eficiencia de aplicación y almacenamiento inciden negativamente sobre la proporción del agua que realmente es infiltrada y retenida por el suelo, para ser aprovechada por el cultivo, a lo largo del campo regado.

5.1.2.5. Eficiencia de Riego del Sistema (Ei)

La magnitud del valor de ésta eficiencia, obtuvo un incremento del 28%, con respecto al cambio de menor a mayor espaciamiento lo que indica que el suministro de agua a la parcela con el espaciamiento de 12m * 18m se acerca al volumen requerido por el cultivo. Sin embargo a pesar del aumento mostrado de estos valores son bajos, lo que demuestra que el sistema no está operando con los volúmenes de agua adecuados para la satisfacción hídrica de los cultivos.

5.1.3. Aforo de bomba y aspersores

Según los datos proporcionados del diseño de este sistema de riego, se tiene que el caudal de la bomba es de 1100 gpm lo que es igual a 69.4 lps, la profundidad del agua subterránea se encuentra entre los 2 m y 16 m, la fluctuaciones del nivel del agua se pueden considerar de 2 m, la potencia del motor entregada a la bomba es de 100 H.P. y el área para la cual se diseñó este sistema es de 35 Ha.

Al realizar comparaciones de estos datos iniciales de diseño con los resultados proporcionados actualmente por la prueba de bombeo expresan claramente que el nivel estático del agua se alcanza aproximadamente a 6 m de profundidad. Esto coincide con el rango establecido de niveles de aguas subterráneas en el estudio inicial a la implementación de éste sistema.

El nivel dinámico del pozo, producto de la extracción del agua, desciende hasta unos 23 m. Después de los primeros cinco minutos de extracción se obtuvo el caudal de diseño presentado; lográndose estabilizarse a los 22 m y por consiguiente alcanzar su caudal constante, el cual tiene una magnitud de 62 lps. Los datos correspondientes a esta prueba se presentan en (ANEXO 13).

La evidente disminución del caudal extraído por la bomba, con respecto al caudal de diseño se explica claramente con la explotación irracional del recurso agua, realizada por instituciones tales como el I.N.A.A. La perforación de una batería de pozos cercana a la zona de estudio (C.N.I.A.), provoca la baja sensible de los niveles alcanzados por el agua y disminuciones en las extracciones del vital recurso. Lo anterior se fundamenta en estudios realizados en el Istmo Centroamericano sobre el manejo de

recursos hídricos de la región y presentados en ciudad de Guatemala en Agosto de 1994.

Según la capacidad mostrada por este equipo de bombeo, se puede decir que no se está aprovechando al máximo este sistema, ya que el área que actualmente se riegan, es de 20 Ha, las que representan un 57 % del área potencial a irrigarse según la capacidad que tiene dicho sistema.

Con respecto al aforo del aspersor, éste tiene un gasto de 0.53 lps, que es más alto que el caudal de diseño presentado, el cual presenta 0.42 lps, esto se explica por un aumento de presión de operación de los aspersores, lo que implica la mayor entrega de agua a la parcela, afectando también la intensidad de aplicación que está estrechamente relacionada con la capacidad de infiltración del agua que tenga el perfil de suelo.

5.2. PROPIEDADES HIDROFISICAS ANALIZADAS

5.2.1. Propiedades Hidrofísicas

5.2.1.1. Textura

Los resultados obtenidos de ésta propiedad física en los suelos del C.N.I.A., oscilan entre Franco-arenosa a Arena-francosa; según la profundidad a que se encuentre en el perfil. Los datos encontrados se asemeja a encontrados por (Boza, 1986).

Con la descripción de perfiles se realizó la textura al tacto, la cual coincidió en 90% de los casos, en relación con el método de laboratorio. A continuación se detalla la información obtenida en cada uno de los perfiles descritos.

Cuadro No 4. Resultados de Textura

Profundidad (cm)	T E X T U R A			
	Perfil 4	Perfil 3	Perfil 2	Perfil 1
10	F - a	F - a	F - a	A - F
20	F - a	A - F	F - a	A - F
30	A - F	A - F	F - a	F - a
40	A - F	A - F	F - a	F - a
50	A - F	F - a	F - a	
60	F - a	F - a	F - a	
70	F - a		F - a	
80	F - a		A - F	

F-a : Franco Arenoso
A-F : Areno Francoso

Los resultados presentados demuestran que existe un mayor porcentaje de texturas Franco-arenosas en los perfiles descritos, lo que generalmente está asociado a una baja fertilidad y poca capacidad de retención de agua; contrario a ésta particularidad, los suelos arenosos presentan una alta aireación y absorción del

agua del suelo debido al mayor tamaño de sus poros, lo que permite la fácil circulación del agua y el aire a través del perfil; lo que explica también su reducida capacidad de retención de humedad.

Con respecto a las limitaciones de fertilidad presentadas con los suelos arenosos y en relación al riego por aspersión, la productividad de éstos puede verse incrementada, al relacionar el aporte del agua necesaria al cultivo y las cantidades de fertilizantes; los cuales deben añadirse con bastante frecuencia. La aplicación de grandes cantidades de fertilizantes dan lugar a pérdidas considerables por efecto de la lixiviación. (Alonso, 1977).

5.2.1.2. Densidad Aparente

Ortiz et-al, (1990). Expresa que la densidad aparente es una propiedad física muy valiosa ya que ésta se utiliza en la realización de diferentes cálculos y caracterización de los suelos tales como: presencias de capas endurecidas y láminas de riego. A continuación se presentan los resultados de ésta propiedad, encontrados en los perfiles descritos.

Cuadro No. 5 Densidad Aparente de cada perfil

Profundidad (cm)	Densidad Aparente g/cm ³			
	Perfil 4	Perfil 3	Perfil 2	Perfil 1
10	1.24	1.20	1.28	1.22
20	1.26	1.36	1.21	1.25
30	1.31	1.34	1.26	1.29
40	1.33	1.36	1.29	1.38
50	1.32	1.48	1.28	1.35
60	1.25	1.61	1.34	
70	1.33		1.31	
80	1.42			

De la tabla anterior se observa que los valores son ligeramente elevados en los perfiles 4 y 3, siendo lo contrario en los perfiles 2 y 1. En referencia a la profundidad los valores promedio en los primeros centímetros son menores y aumentan sutilmente a medida que se profundiza en el perfil, aunque a partir de los 20 cm los valores sufren un incremento un tanto brusco. Se puede afirmar que el valor promedio de Densidad Aparente de los suelos en estudio es de 1.33 g/cm^3 . En (ANEXOS 7, 8, 9 y 10), se presentan los gráficos de Densidad Aparente de cada perfil.

5.2.1.3. Constantes de Humedad

Las constantes de humedad tienen su importancia para el manejo del riego debido a que permiten saber hasta que punto se puede ampliar la frecuencia del riego sin que el cultivo llegue al llamado Punto de Marchitez Permanente, además de saber cuando se está aplicando agua por encima de la capacidad de infiltración que tiene el suelo.

A continuación se presenta un cuadro donde se muestran los límites Productivos, de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente.

Cuadro No. 6 Constantes de Humedad en lámina por perfil

Profundidad cm	Perfil 4			Perfil 3			Perfil 2			Perfil 1		
	Lámina cm			Lámina cm			Lámina cm			Lámina cm		
	CC	LP	PMP									
10	2.4	1.9	1.3	2.0	1.6	0.8	3.2	2.6	1.7	3.0	2.4	1.9
20	2.6	2.0	1.3	2.1	1.7	0.9	2.9	2.3	1.6	2.9	2.3	1.8
30	2.7	1.7	1.4	1.9	1.5	0.9	3.1	2.4	1.8	2.8	2.2	1.6
40	2.7	2.2	1.4	2.1	1.7	0.9	3.1	2.4	1.7	3.3	2.6	1.8
50	2.7	2.2	1.3	1.9	1.5	1.1	3.1	2.4	1.7	2.8	2.2	1.9
60	2.5	2.0	1.3	1.6	1.3	0.8	3.7	2.9	2.2			
70	3.1	2.3	1.6				3.9	3.1	2.2			
80	3.8	3.0	1.8									

Del cuadro anterior se observa que los valores de Capacidad de Campo en los perfiles 2 y 1 son ligeramente mayores que en los perfiles 4 y 3 aunque no se observa ninguna tendencia en cuanto a la profundidad. De igual manera se puede afirmar que para los datos de Límite Productivo (80% de la Capacidad de Campo) y Punto de Marchitez Permanente el comportamiento es el mismo.

Para una profundidad efectiva de 40 cm existe un rango desde 21 hasta 28% de Capacidad de Campo; obteniéndose una lámina de agua a la misma profundidad de 10.19 cm. Para valores de Punto de Marchitez Permanente y tomando siempre una profundidad efectiva de 40 cm, el dato promedio es de un 14%; con una lámina acumulada de 5.7 cm. Las magnitudes encontradas de las constantes de humedad permite tener un parámetro que sirve para relacionar las cantidades de agua aplicadas en cada práctica de riego con respecto a la capacidad de retención de los suelos en estudio y de esta forma tomar decisiones adecuadas en cuánto al suministro de agua de riego.

5.2.1.4. Humedad Aprovechable

Es importante conocer la cantidad de agua disponible o utilizable de los suelos; ya que la determinación del valor de esta constante de humedad permite ser característica de los suelos utilizables, tanto para la planificación de los programas de riego, como para verificar si los suelos son adecuados para determinado cultivo. En la determinación de la cantidad disponible de agua, es necesario establecer parámetros importantes como: la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente de los suelos. A continuación se presentan los resultados de humedad aprovechable o agua disponible obtenidos en los suelos en estudio.

Cuadro No. 7 Humedad Aprovechable en lámina por perfil

Profundidad (cm)	HUMEDAD APROVECHABLE EN LAMINA (cm)			
	Perfil 4	Perfil 3	Perfil 2	Perfil 1
10	1.14	1.22	1.49	1.13
20	1.36	1.22	1.41	1.07
30	1.30	1.07	1.34	1.16
40	1.32	1.15	1.32	1.51
50	1.42	0.77	1.34	1.03
60	1.21	0.85	1.49	
70	1.57		1.66	
80	2.02			
T O T A L	11.34	6.28	10.05	5.90

En los resultados de humedad aprovechable, se destaca el perfil 2, el cual presenta valores altos y poco variables en toda la profundidad del perfil. La característica principal, de alta retención de humedad y poca variabilidad de ésta, se atribuye a la influencia directa que tiene la cobertura vegetal del cultivo establecido (leguminosa) sobre la superficie del suelo.

Para los suelos en estudio se presenta un valor de 138 mm/m de profundidad, éste resultado obtenido es un valor que toma en cuenta los cultivos establecidos al momento de describir el perfil, éstos corresponden a: maíz (perfil No. 4), sorgo (perfil No. 3) y leguminosa (perfil No. 2), y además el lote en el cual no se estableció ningún cultivo (perfil No. 1). Esta magnitud encontrada en los suelos en estudio, es un dato importante, para el establecimiento de nuevos ensayos, ya que éste valor permite conocer con que cantidad de agua se dispone en determinado momento que se requiera realizar un riego y así hacer un mejor manejo del regimen de riego que se implemente.

5.2.1.5. Calidad del agua de riego

El conocimiento de la calidad del agua utilizada en el sistema de riego obedece a la necesidad de saber el grado de influencia que pueda tener el agua sobre el desarrollo normal de los cultivos y su efecto en el suelo. El agua en el C.N.I.A. está clasificada según el diagrama propuesto por el Laboratorio de Salinidad de los EE.UU en 1953, (Thorne, 1966), como C3S2, lo que significa aguas de salinidad media a elevada con cantidades medias de Sodio.

Los análisis respectivos de calidad del agua realizados previamente al diseño del sistema expresan que el agua era clasificada como C3S1 lo que en relación a los análisis actuales demuestra que la salinidad siempre se a mantenido en dicho rango, no siendo así las concentraciones de sodio ya que anteriormente estas aguas se consideraban bajas en sodio y se podía utilizar en la mayoría de suelos, existiendo poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos en las concentraciones de este elemento. Los datos de laboratorio se presentan en el (ANEXO 14).

Potencialmente, dadas las condiciones actuales presentadas en los suelos de este centro de investigación; las concentraciones de Sodio y otras sales representan una problemática futura, debido a los datos elevado de resistencia mecánica que predicen una compactación progresiva si el manejo actual continúa, lo que permitiría la acumulación sucesiva de sales en distintos estratos a través de calidad, cantidad y frecuencia de agua aplicada actualmente.

5.2.2. Resistencia Mecánica del suelo

Esta característica del suelo, proporcionará el grado de compactabilidad que tengan los suelos de este centro de investigación; los resultados se presentan en KPa, existiendo un rango que proporciona una clasificación de los grados de Resistencia Mecánica. En los Anexos No. 15, 16, 17, y 18 se presentan cuadros con los resultados obtenidos para cada perfil estudiado.

El siguiente gráfico es un ejemplo claro de la tendencia que tiene los suelos respecto a la compactabilidad.

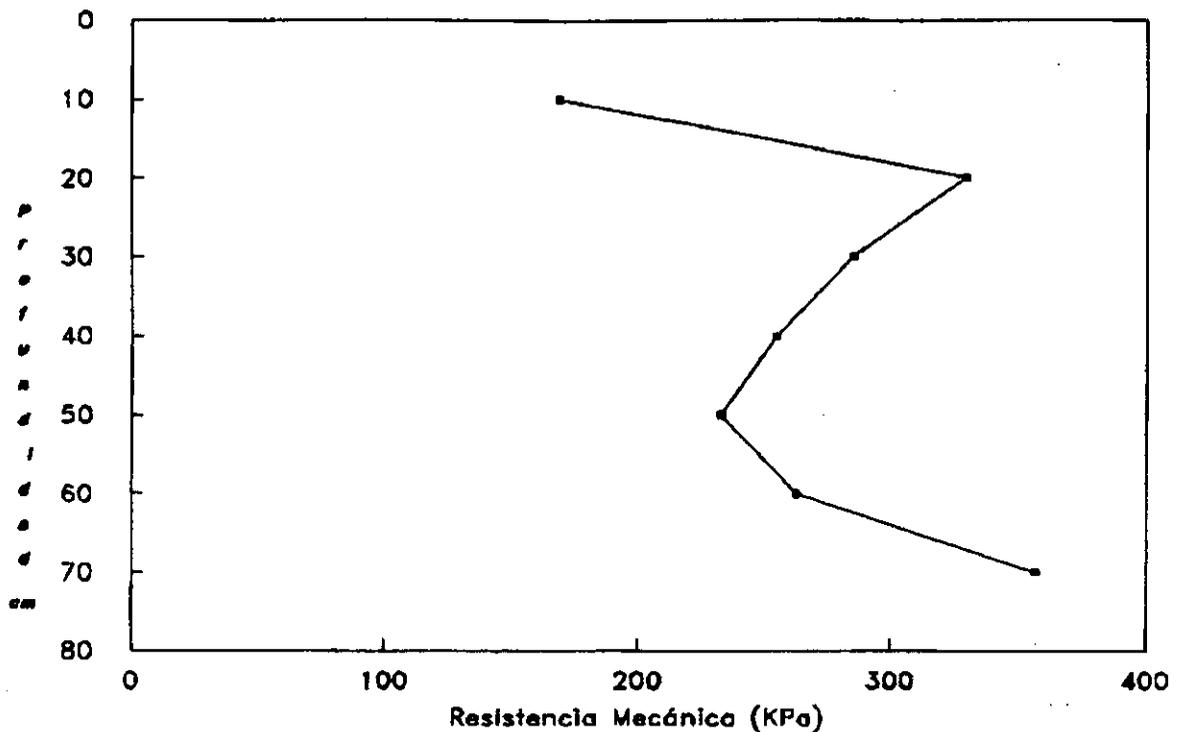


Figura No.1 Resistencia Mecánica en el perfil No. 03.

La gráfica anterior demuestra que los valores de resistencia mecánica están siempre por encima del límite crítico ideal planteado por Alegría, 1991. A partir de los 20 cm la resistencia del suelo a ser penetrado se hace más visible, luego los valores bajan pero nunca llegan al límite crítico ideal, maxime que al aumentar la profundidad en el perfil, se aproxima al sustrato rocoso en donde el material es mas duro.

Esta gráfica indica que en el perfil 3 existe una compactación a los 20 cm de profundidad. Es necesario señalar que los investigadores del C.N.I.A. observaron problemas en el desarrollo del cultivo ahí establecido (sorgo) al presentarse lugares en donde el sorgo no crecía de manera uniforme aún dándole todas las condiciones para un desarrollo óptimo. Otro dato importante es la

Densidad Aparente, para éste aspecto también se observa un aumento a los 20 cm aunque se mantiene en el límite ideal, según Alegría, 1991 es de 1.2 a 1.3 g/cm³, posiblemente por la textura del suelo que es Franco-arenosa.

Este mismo comportamiento se observó en los perfiles No. 2, 4, e incluso en el lote No. 1, lo que indica que los métodos de labranza y el uso de la tierra influyen en éste comportamiento. En (ANEXOS No. 11, 12 y 13), se presentan las gráficas de resistencia mecánica para los perfiles en mención.

5.2.3. Prueba de Infiltración

Uno de los objetivos de la realización de la prueba de infiltración fue el de buscar elementos que pudieran indicar una cierta compactación en el área agrícola, sin embargo la textura Franco-Arenosa hace suponer una velocidad de infiltración alta comparada con suelos arcillosos, tal y como se encontró. Esta velocidad de infiltración alta se debe a la realización de la prueba en campos donde los cultivos ya estaban establecidos. No obstante en el lote No. 4 en donde estaba el cultivo de maíz, la infiltración básica disminuyó en comparación con los lotes No. 2 y 3. En el siguiente cuadro se reflejan los resultados de las pruebas de infiltración:

Cuadro No. 8 Resultados de las Pruebas de Infiltración.

Prueba #	Ubicación	IA (cm)	VI (cm/h)	Ib (cm/h)
1	Lote 2	1.09 t ^{0.684}	44.88 t ^{-0.315}	7.85
2	Lote 3	0.73 t ^{0.739}	31.98 t ^{-0.260}	7.59
3	Lote 4	0.36 t ^{0.775}	16.38 t ^{-0.224}	4.75

Según las gráficas de velocidad de infiltración presentadas en (ANEXOS 14, 15 y 16) se observa que la capacidad de penetración del agua en el perfil de los suelos dónde se ubican los cultivos de Maíz, sorgo y leguminosas, presentan una infiltración básica de 4.75, 7.59 y 7.85 cm/h respectivamente; la cual se considera como una infiltración moderada del agua en el suelo; por lo que se infiere en una penetración del agua aceptable con relación a la tasa de aplicación del agua de riego; ya que ésta última, presenta un valor de 1.34 cm/h. La cual es considerablemente menor que velocidades de infiltración encontradas en los lotes con los cultivos antes mencionados.

5.2.4. Descripción de perfiles

5.2.4.1. Información del sitio de descripción

Los suelos donde se llevó a cabo el trabajo de investigación pertenecen a la Serie Cofradías, los cuales son suelos con texturas gruesas predominando principalmente la Franco-Arenosas, pendientes que oscilan de 0-1.5%, permeabilidad moderada y una capacidad de retención de humedad disponible moderadamente alta; estos suelos tienen su origen de ceniza volcánica depositada en la planicie aluvial; la ceniza volcánica forma una capa endurecida cementado por Sílice, formado por sedimentos aluviales. El contenido de materia orgánica es moderado y normalmente son suelos moderadamente altos en bases; el contenido de fósforo y potasio asimilable es alto.

5.2.4.2. Usos y zonas de vida

Estos suelos se encuentran ubicados en la zona de vida de bosque tropical seco, en transición a subtropical; estos suelos son utilizados para cultivos tradicionales como: pastos, maíz, sorgo, maní y cultivos para fibra. Estos suelos no son recomendables para arroz y musáceas. El escurrimiento superficial es medio y se necesitan prácticas simples de conservación de suelos para evitar la erosión hídrica.

5.2.4.3. Descripción de cada perfil

Perfil No 1 (predio vacío)

- Nombre de la serie : Cofradías
- Fecha de observación: 05-04-94
- Ubicación : Portón, 50 mts al Sur
- Altitud : 56 msnm
- Pendiente : 0-1.5%, plano
- Uso de la tierra : Barbecho

0 - 30 cm - Color en húmedo 5 YR 2/1 y 7.5 YR 3/3 en seco. La textura es Arena-francosa, estructura granular, la consistencia en húmedo es muy friable, pocos poros finos, pocas raíces finas, el límite es plano y difuso.

30 - 60 cm - Color en húmedo 10 YR 2/3 y 10 YR 4/4 en seco. La textura es Arena-francosa, estructura en bloques angulares gruesos, consistencia en húmedo es suelta, pocos poros finos, pocas raíces medias y finas, el límite es plano y brusco.

60 - 75 cm - Color en húmedo 2.5 Y 3/2 y 2.5 Y 5/4 en seco. La textura Arena-Francosa, estructura en bloques angulares y subangulares, consistencia en húmedo es suelta, pocos poros finos, pocas raíces finas, límite ondulado y gradual, presencia de gravas.

75 - 100 cm - Color en húmedo 10 Y 2/1 y 10 Y 4/1 en seco. La textura es Arena-francosa, estructura granular, consistencia en húmedo es sin coherencia, pocos poros finos, no hay presencia de raíces.

Perfil No. 2 (Leguminosas)

- Nombre de la serie : Cofradías
- Fecha de observación : 05-04-94
- Ubicación : Portón, 100 mts al sur
- Altitud : 56 msnm
- Pendiente : 0-1.5%, plano
- Uso de la tierra : Cultivo de Leguminosas

0 - 28 cm - Color en húmedo 7.5 YR 2/2 y 7.5 YR 4/3 en seco. La textura es Franco-Arenoso, estructura granular, consistencia en húmedo es friable, pocos poros finos, abundantes raíces finas, límite plano y gradual. Clasificación: Ap

28 - 53 cm - Color en húmedo 10 YR 3/3 y 7.5 YR 4/3 en seco. La textura es Franco-Arenosa, estructura en bloques angulares y subangulares, consistencia en húmedo es friable, pocos poros finos, pocas raíces finas, límite plano y neto. Clasificación: A1

53 - 72 cm - Color en húmedo 2.5 YR 2/1, textura franco-Arenosa, estructura granular, consistencia en húmedo es extremadamente firme, pocos poros finos y pocas raíces finas. Clasificación: C

Perfil No 3 (sorgo)

- Nombre de la serie : Cofradías
- Fecha de observación : 05-04-94
- Ubicación : Frente a la Bomba
- Altitud : 56 msnm
- Pendiente : 0-1.5%, plano
- Uso de la tierra : Cultivo de Sorgo

0 - 18 cm - Color en húmedo 7.5 YR 2/2 y 7.5 YR 4/3 en seco. La textura Franco-Arenoso, estructura granular, consistencia en húmedo es suelta, pocos poros finos, abundantes raíces medias y finas, límite ondulado y difuso.

18 - 53 cm - Color en húmedo 10 YR 2/2 y 10 YR 4/4 en seco. La textura Franco-Arenosa, presencia de gravas, estructura granular, consistencia en húmedo es suelta, pocos poros finos, abundantes raíces finas, límite plano y brusco.

53 - 92 cm - Color en húmedo 7.5 YR 3/1, textura Arena-Francosa, consistencia en húmedo es muy firme, pocas raíces finas, límite plano y brusco.

92 - 130 cm - Estrato de ceniza volcánica.

5.2.4.4. Identificación

Los perfiles de suelos descritos demuestran que pertenecen a la serie Cofradías, lo que coincide con la clasificación mostrada en los fotomapas de Nicaragua a escala 1:20,000 y que están a disposición en el CENIDA. A continuación se presenta una identificación general de los perfiles descritos:

Orden : Andisol
Suborden : Eutrandepts
Gran Grupo : Typic Eutrandepts
Serie : Cofradías

5.3.- PROBLEMATICA SOBRE MANEJO DEL RIEGO

5.3.1. Manejo del área agrícola y sistema de riego

La organización del I.N.T.A. y su repercusión a nivel nacional hacen que su funcionamiento tenga características singulares. Esto se pone de manifiesto en la parte media y baja de su organigrama puesto que los investigadores dan seguimiento a proyectos nacionales para una generación y transferencia de tecnología dirigida principalmente a los pequeños y medianos productores.

Tomando en cuenta las actividades de los investigadores se hace una distribución del área agrícola según la línea investigativa a seguir (mejoramiento genético, obtención de semilla, rendimiento productivo y fertilidad). Todo esto conlleva a que cada investigador selecciona su propia área de siembra y conduce un experimento en el cual determina las condiciones agronómicas del cultivo, así como, cuándo y qué tiempo debe regarse su parcela experimental.

No existe en el C.N.I.A. un profesional encargado de dirigir y coordinar todas las actividades en cuanto al uso y manejo del sistema de riego, y sólo se cuenta con un jefe de campo encargado junto con su personal permanente y/o temporal, que ejecutan las labores agronómicas en toda el área experimental, así como operar el sistema de riego.

A nivel institucional éste personal recibe un seguimiento por parte del área administrativa del C.N.I.A., pero también es orientado para la realización de las distintas labores por cada uno de los investigadores de la institución, lo que significa que las labores agronómicas son diferentes y se llevan a cabo en forma y

tiempo distintos, pudiendose generar en determinado momento una doble solicitud de servicios por parte de los investigadores hacia el personal de campo y uso del sistema de riego.

Desde el punto de vista del sistema de riego, los operadores reciben orientaciones diversas en las cuales las dosis y frecuencias de riego cambian al igual que los lugares de riego. Esto repercute en la eficiencia del sistema, es decir, no es posible tener un orden operacional sobre el área irrigada, por ejemplo: se riegan tres lotes con una frecuencia y dosis diferentes y cada lote se ubica en puntos extremos del área irrigada provocando la utilización de mayor cantidad de tubería y accesorios.

Otro problema de orden técnico en el manejo del sistema de riego es la capacidad del sistema con respecto a la superficie irrigada, ya que el área potencial de riego es de 35 Ha y normalmente se riegan hasta un máximo de 20 Ha, debido a que se dispone de un 56% del total de aspersores de diseño, lo que origina que los aspersores sirvan un caudal mayor y bajo una presión de trabajo superior para la que fueron diseñados, esto expresa claramente la dificultad existente en cuanto al manejo agrícola del riego ya que esta problemática influye sustancialmente en la eficiencia del sistema.

La eficiencia del sistema de Riego es menor del 50% ya que inmediatamente después de la extracción se presentan dos salidas, una de las cuales distribuye el agua sobre la parcela, y la otra salida en la cual el vital recurso no tiene ninguna ocupación. La eficiencia, es más reducida aún por cuanto hay una baja calidad de la tubería de distribución, las pérdidas por fricción y localizadas

presentada en un sistema cerrado y la mala uniformidad en la entrega del agua por parte de los aspersores.

Algunas causas de esta baja eficiencia pueden ser :

- * Capacidad de extracción del agua (potencia de la bomba) es muy superior al área bajo riego.
- * El diseño original del sistema de riego, no contempló correctamente, la demanda de agua de los cultivos y de las intenciones de investigación actuales, más aún, actualmente hay insuficiente tubería para regar, simultáneamente, el área contemplada en el diseño del sistema.
- * El fluido del sistema eléctrico es frecuentemente interrumpido, por causas nacionales conocidas, y la bomba sufre de continuos desperfectos que no son atendidos oportunamente, por lo que, en muchos casos, existe el temor que un cultivo determinado quede mucho tiempo sin irrigarse y se pierda; como respuesta a este problema, debe aprovecharse el momento que hay disponibilidad de agua para regar el cultivo establecido y se debe hacer con la suficiente humedad como para que resista cualquier posible período de escasez de agua que se presente.

5.3.2. El agua en la parcela

El uso de la Sonda de Neutrones sirve como una herramienta de obtención de datos para analizar la eficiencia del manejo del riego puesto que se tiene información acerca del comportamiento del agua en el suelo.

El conocimiento de la tendencia de la humedad, brinda suficientes elementos para saber si la frecuencia de riego es adecuada o no, por lo que es necesario conocer las constantes de humedad que el suelo tiene por naturaleza y así darse cuenta cuando el riego repone tanto el agua consumida por el cultivo como evapotranspirada, así como cuando el riego sobrepasa la capacidad del suelo de retener el agua aplicada.

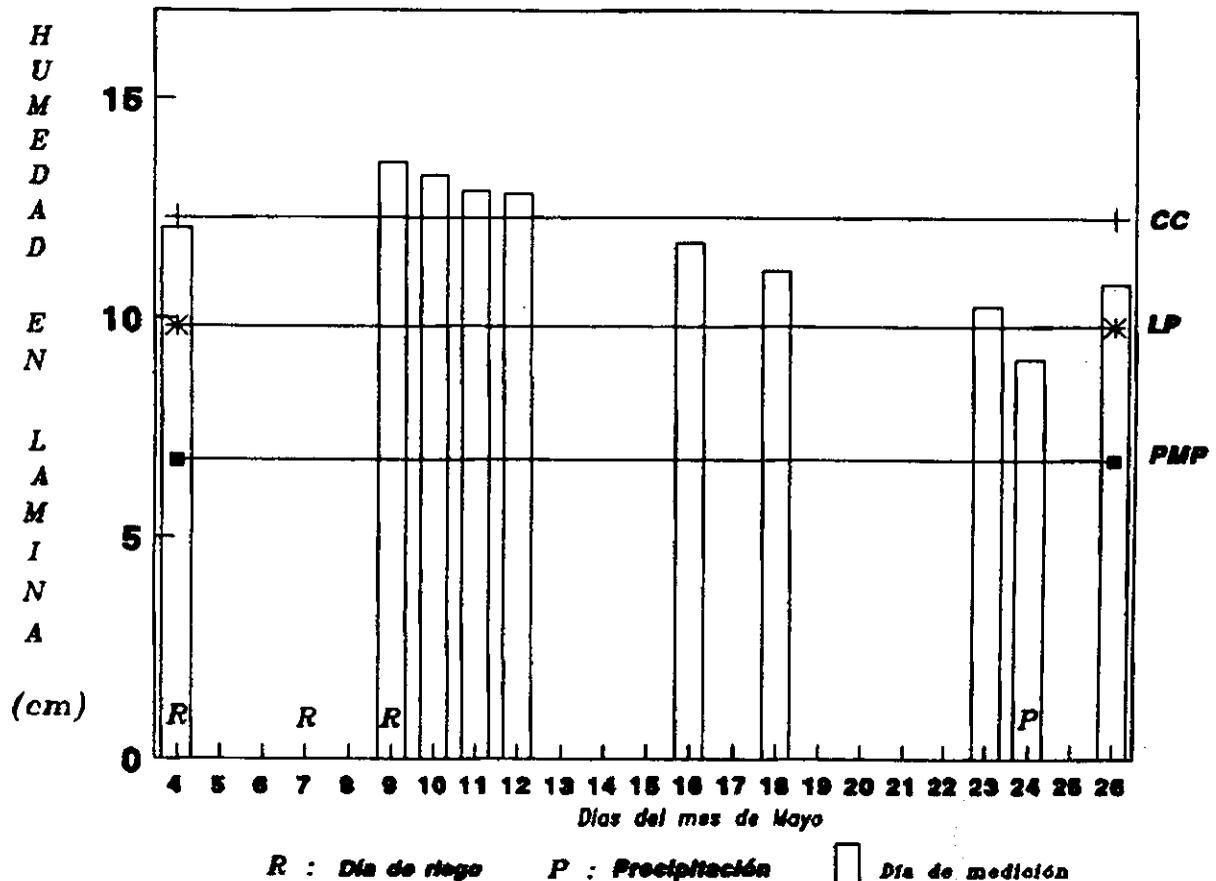


Figura No. 2 Control de Humedad en el cultivo de Leguminosas.

El gráfico anterior muestra como las aplicaciones de agua mantienen la humedad por encima de la capacidad de campo en casi la mitad del tiempo medido, lo que indica que existe una excesiva cantidad de agua durante un periodo de 9 días, tiempo durante el cual se aplicaron tres riegos con intervalos diferentes.

Luego del tercer riego el gradiente de humedad aumenta y llega a estar por debajo del Límite Productivo, momento durante el cual la presencia de una precipitación hace que la humedad llegue a estar en niveles mas óptimos para el cultivo.

Las aplicaciones de riego, en el gráfico, indica que la frecuencia no es la adecuada puesto que los riegos se dan en momentos en que el suelo, y por ende el cultivo, no lo requieren; esto trae como consecuencia un mayor gasto volumétrico de agua, lo que viene en detrimento del acuífero. De igual manera los costos de producción aumentan puesto que existe un vínculo estrecho entre el número de horas irrigadas y el consumo de energía eléctrica, a tal punto que con la actual forma de manejo del sistema de riego se están incrementado dichos costos. Similares fenómenos se observan en otros gráficos con diferentes cultivos que se encuentran en los (ANEXOS 17, 18 y 19).

VI. CONCLUSIONES

El objetivo fundamental de las pruebas de campo y análisis efectuados durante la investigación es el de ser herramientas que permitan definir características hidrofísicas del suelo, así como particularidades técnicas y del manejo del sistema de riego, encontrándose de manera rápida los factores que afectan el sistema; con lo cual se concluye que:

1. Se fortaleció el vínculo de trabajo existente entre la U.N.A y el C.N.I.A, a través de la realización de este trabajo de investigación, el cual proporcionó la descripción de los principales problemas que afectan sistema de riego por aspersión en este centro de investigación y brindó los aportes necesarios para afrontar la problemática existente.
2. No existe un ordenamiento en la explotación para el uso del área agrícola investigada, así como del manejo del sistema de riego y por ende en el aprovechamiento racional del recurso agua.
3. La responsabilidad de explotación del sistema de riego recae en un jefe de campo cuyo nivel cultural no está acorde a las exigencias de ese trabajo.
4. El programa de mantenimiento del sistema de riego y los sistemas de operación son insuficientes, lo cual ha ocasionado un deterioro muy significativo de la infraestructura existente.

5. No existía información referente a las características hidrofísicas del área agrícola, así como del sistema de riego que sirva de parámetro para un manejo adecuado, en consecuencia el sistema de riego no es manejado de acuerdo a las características hidrofísicas del área agrícola investigada del C.N.I.A. y a los objetivos para lo cual fue diseñado inicialmente.

6. El actual manejo del sistema de riego, basado en altas dosis y frecuencias cortas nos permite aseverar lo siguiente:
 - Se aplican volúmenes excesivos de agua.
 - Si se realizara una evaluación económica, necesariamente se tendría que considerar el uso innecesario de mayor tiempo de aplicación de agua. La premisa anterior implica explotar mayor tiempo la bomba de riego y por consiguiente mayor uso de energía eléctrica; los Kw/hr consumidos innecesariamente multiplicados por su costo unitario eleva sensiblemente los costos de producción. Al tenerse planes de extensión, lo expuesto anteriormente es lo que se le transmitiría al productor, quien llega al C.N.I.A en búsqueda de mejorar su eficiencia agraria.

7. Las pruebas de compactación indican que ésta existe en todo el perfil del suelo, acentuándose en los 20 cm de profundidad. Además el resultado del análisis químico del agua demuestra un aumento de la concentración de sodio; ambos factores en un futuro nos podría presentar un cuadro de problemas de salinidad al no tomarse medidas de drenaje agrícola.

8. El radio de acción del pozo que explota el acuífero está afectado por una batería de pozos instalados por el INAA u otros del área del C.N.I.A. La explotación no planificada del acuífero está llevando a una sensible baja del nivel estático y dinámico del pozo, afectando el caudal de la prueba y así mismo la infraestructura instalada.
9. La evaluación del sistema de Riego de acuerdo al valor individual del coeficiente de uniformidad, nos indica que el espaciamiento de 12m * 12m el cual toma un valor de 78%; no es el distanciamiento adecuado para cumplir con los objetivos de producción e investigación trazados por el C.N.I.A .
10. Para realizar una evaluación completa del manejo realizado sobre la práctica del riego; además de la obtención del coeficiente de uniformidad, es necesario determinar otros parámetros que evalúan sistemas de riego tales como; eficiencias de aplicación, almacenamiento, distribución, agronómica y del sistema implementado.
11. Debido a que en la práctica de riego solo operan el 41% del total de aspersores que demanda la capacidad del sistema; existe un exceso de presión de operación de los aspersores (42%), lo que incide en la mayor pulverización de las gotas, diámetro cubierto y y el aumento del caudal y por ende en los volúmenes de agua suministrados; decreciendo la eficiencia de distribución de la lluvia.

12. La Eficiencia de Aplicación determinada para el cambio de menor a mayor espaciamiento 41% y 57% respectivamente, considerados como bajos; no representan un incremento significativo, lo cual se concluye que la excesiva presión de operación de los aspersores influye negativamente en la eficiencia de aplicación de los dos distanciamientos comparados.
13. Los bajos valores de eficiencia de aplicación determinados para los espaciamientos en estudio, indican que existen altas pérdidas por percolación profunda como consecuencia de la alta tasa de aplicación suministrada y acumulada alrededor del aspersor.
14. Al aumentar el distanciamiento de la prueba a 12m * 18m, se redujo en un 30% la eficiencia de almacenamiento del suelo, de lo que se deduce que los volúmenes de agua almacenados en el perfil disminuyen a medida que la superficie de aplicación es mayor.
15. En la práctica del riego incrementar la eficiencia de aplicación y disminuir considerablemente la eficiencia de almacenamiento o lo contrario, no indica necesariamente un buen riego; ya que en el primer caso no existen pérdidas de ningún tipo, pero no sería un riego efectivo para el cultivo; para el segundo caso es posible llevar el suelo hasta capacidad de campo pero con una pérdida por percolación significativamente altas.

16. El aumento del 8% de la eficiencia agronómica del sistema con respecto al cambio de menor a mayor espaciamiento, no representa un incremento significativo debido a que las eficiencias de distribución, aplicación y almacenamiento del sistema son bajas, las cuales influyen directamente en la eficiencia de utilización del agua ó eficiencia agronómica del sistema.
17. Existe un 28% de incremento de la eficiencia del sistema de riego de acuerdo al aumento de los espaciamientos, el cual no es significativo, por considerarse que los valores obtenidos para los distanciamientos son bajos; de lo que se concluye que el sistema no opera con los volúmenes adecuados para la satisfacción hídrica de los cultivos.
18. La metodología utilizada es eficaz para un diagnóstico y valoración rápida del manejo de un sistema de riego.
19. La hipótesis planteada para realizar este trabajo investigativo no es aceptada para continuar trabajando en pro de alcanzar los fines y funciones desempeñadas por este centro de investigación nacional.

VII. RECOMENDACIONES

En el C.N.I.A., a partir de mediados de 1994, han mejorado las condiciones para optimizar el aprovechamiento del área potencial agrícola, por lo que recomendamos :

1. Continuar fortaleciendo el apoyo interinstitucional, a través de la ejecución de otros trabajos de investigación que contribuyan a resolver problemáticas planteadas en este centro experimental; como también de los productores demandantes de investigación a nivel nacional.
2. Elaboración de un plan de manejo del área agrícola con énfasis en el aprovechamiento del recurso agua. Este plan deberá mantener gran coordinación entre el que es responsable de explotar el sistema, el investigador y el área administrativa. Lo anterior debe asegurar la correcta explotación y el mantenimiento del sistema.
3. Es necesario nombrar a un profesional responsable de la planificación, ejecución y evaluación correspondiente al uso y manejo del sistema de riego.
4. Brindar a los investigadores del C.N.I.A., la información obtenida como resultado del presente trabajo, con el objetivo de conocer el potencial agrícola disponible y las principales limitantes observadas.

5. Realizar un estudio técnico-económico del sistema por aspersión que lleve como objetivo final el rediseño e instalación en el área investigada, que esté acorde con las necesidades actuales y futuras de la investigación agropecuaria.
6. Realizar un estudio investigativo que pronostique el estado del drenaje agrícola en los próximos años de continuarse con el régimen actual de explotación.
7. Realizar un estudio que pronostique el estado actual del acuífero y su comportamiento futuro.
8. Si el sistema de riego se mantiene en las condiciones actuales, debe manejarse con las presiones de operación adecuadas, mediante la colocación de reguladores de presión en el elevador de cada aspersor para aumentar la eficiencia de aplicación y mejorar el patrón de distribución.
9. Debido a que las eficiencias de aplicación y almacenamiento son inversamente proporcionales se recomienda evaluar en un ensayo, parcelas que tengan eficiencia altas y bajas, tomando como parámetros de medición: costos de energía y producción total.
10. Para futuros experimentos se hace necesario, además de determinar eficiencias y el coeficiente de uniformidad por sobreposición, medir el comportamiento del agua en el suelo a través de la utilización de la sonda de neutrones.

11. Si fuese necesario inferir en mejoras de la eficiencia de aplicación del sistema, se recomienda cambiar las láminas aplicadas y requeridas con respecto al agua caída en los botes, haciendo la lámina requerida igual a la máxima, media o mínima recolectadas en los botes para determinar el coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación adecuada.
12. Los resultados obtenidos en la metodología utilizada se verán maximizados en la medida que se aumenten tanto el número de repeticiones como el nivel de detalle de las pruebas.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- AGUILERA, M. 1980
Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera, 310 Pág.
- ARTEAGA, O. 1994.
Taller sobre la Gestión de los Recursos Hídricos del Istmo Centro-Americano. Parlamento Centroamericano, 30 Pág. Guatemala.
- ALEGRIA, J. C. 1991.
Informe sobre la consultoría en manejo de suelos, en las regiones I, II y IV de Nicaragua. FAO, 26 Pág. Managua-Nicaragua.
- ALLISON L, 1980.
Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Editorial Limusa, México, 171 pág.
- BARROSO, F. A.
Relación entre Compactación de suelos y Usos de la Tierra a nivel de cuencas hidrográficas, Río Aquiares, Turrialba, Costa Rica. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- CIDIAT, 1988.
Manual de Riego por Aspersión. 2^a ed. Mérida, Venezuela. 135 pág.
- BOZA, Roberto. 1986
Proyecto Semilla Certificada de Granos Básicos, Informe final. Agroinversiones de Reforma Agraria. Managua, Nicaragua. 93 Pág.
- DOORENBOS, J. y Puit, W.D. 1975.
Guideline for Preciding Crop Water Requirements, Editorial FAO. Roma, Italia.
- FORSYTHE, W. 1975.
Física de Suelos, Manual de Laboratorio; Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Editorial IICA; San José, Costa Rica.
- FOTH, Henry D. 1987.
Fundamentos de la Ciencia del Suelo, editorial CECOSA, Mexico, 425 Pág.
- GARCIA, 1983.
Diseño Hidráulico de Sistemas de Riego por Aspersión con Rociadores Giratorios. Universidad Habana, Cuba. 104 pág.
- GONZALEZ, Henry. 1992.
Proyecto Inventario, Diagnóstico y Evaluación de los sistemas de riego en Nicaragua; etapa I, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. 111 Pág.
- GUROVICH, Luis Alberto. 1985
Fundamentos y Diseño de Sistemas de Riego. Editorial IICA, San José, Costa Rica, 433p.

- ISRAELSEN, W.O. 1963.
Principios y Aplicaciones del Riego. 2^{da} edición, editorial
Revolucionaria, Habana, Cuba. pag. 387.
- LORDELO, A. 1984.
Los Métodos de Irrigación. Universidad de Sao Paulo,
Brazil.
- ORTIZ, Carlos. A. y ORTIZ, B, 1990
Edafología, 7ma Edición. Universidad Nacional de Chapingo,
Mejico. 394 Pág.
- PILLSBURY. F.A, 1968
El Empleo del Riego por Aspersión. Editorial F.A.O.,
3^{ra} impresión, 1976, Roma, Italia. 188 Pág.
- PIZARRO, Fernando. 1990
Riego Localizado de Alta Frecuencia, 2^{da} edición, editorial
Mundi-Prensa. Madrid, España. 471 Pág.
- THORNE, D.W. 1963.
Técnica del Riego. 1^{ra} edición, Editorial Revolucionaria,
Habana, Cuba. 487 Pág.
- SHANI, M y Sapir, L. 1984.
El Riego por Aspersión. Equipos y Métodos. Ministerio de
Agricultura, Centro de Cooperación Internacional para el
Desarrollo Agrícola, Israel. 67 pág.
- TSCHAPER, M.W, 1966.
El Agua en el Suelo. Consejo Superior de Investigaciones
Científicas, Madrid. 517 Pág.
- WITHERS, B. y VIPOND, S. 1978.
El Riego, Diseño y Práctica, 1^{ra} edición, editorial Diana
Mexico.

ANEXOS

ANEXO No. 9 Resultados obtenidos para separacion 12 x 12 m.'

0.00*	0.00	0.00	0.00
<u>6.06</u>	<u>7.19</u>	<u>6.06</u>	<u>4.27</u>
6.06	7.19	6.06	4.27
(-1.61)	(-0.48)	(-1.61)	(-3.40)
0.00	0.00	0.00	0.00
<u>6.74</u>	<u>10.33</u>	<u>6.96</u>	<u>5.61</u>
6.74	10.33	6.96	5.61
(-0.93)	(2.66)	(-0.71)	(-2.06)
0.89	0.89	0.67	0.67
<u>6.51</u>	<u>8.54</u>	<u>6.29</u>	<u>5.39</u>
7.40	9.43	6.96	6.06
(-0.27)	(1.76)	(-0.71)	(-1.61)
3.14	4.49	4.49	3.14
<u>6.96</u>	<u>7.19</u>	<u>5.84</u>	<u>4.49</u>
10.10	11.68	10.33	7.63
(2.43)	(4.01)	(2.66)	(-0.04)

LORDELO, 1984.

0.00	Lámina de agua en mm	*
<u>6.06</u>	Lámina de agua en mm	
6.06	Lámina de agua traslapada en mm	
(-1.61)	Desviación con respecto a la media	

ANEXO No. 10 Resultados obtenidos para separacion 12 x 18 m.'

0.00*	0.00	0.00	0.00
<u>6.06</u>	<u>7.19</u>	<u>6.06</u>	<u>4.27</u>
6.06	7.19	6.06	4.27
(-0.33)	(-0.80)	(-0.33)	(-2.12)
0.00	0.00	0.00	0.00
<u>6.74</u>	<u>10.33</u>	<u>6.96</u>	<u>5.61</u>
6.74	10.33	6.96	5.61
(0.35)	(3.94)	(0.57)	(-0.78)
0.00	0.00	0.00	0.00
<u>6.51</u>	<u>8.54</u>	<u>6.29</u>	<u>5.39</u>
6.51	8.54	6.29	5.39
(0.12)	(2.15)	(-0.10)	(-1.04)
0.00	0.00	0.00	0.00
<u>6.96</u>	<u>7.19</u>	<u>5.84</u>	<u>4.49</u>
6.96	7.19	5.84	4.49
(0.57)	(0.80)	(-0.55)	(-1.90)
0.89	0.89	0.67	0.67
<u>5.39</u>	<u>5.84</u>	<u>4.94</u>	<u>4.49</u>
6.28	6.73	5.61	5.16
(-0.11)	(0.34)	(-0.78)	(-1.23)
3.14	4.49	4.49	3.14
<u>2.69</u>	<u>2.24</u>	<u>2.69</u>	<u>2.47</u>
5.83	6.73	7.18	5.61
(0.53)	(0.34)	(0.79)	(-0.78)

LORDELO, 1984.

0.00	Lámina de agua en mm	*
<u>6.06</u>	Lámina de agua en mm	
6.06	Lámina de agua traslapada en mm	
(-0.33)	Desviación con respecto a la media	

ANEXO No. 11 Descripción del equipo y accesorios'

E Q U I P O	CANTIDAD
Total de tubos de 4 Pulg.	268
Tubos de extensión de 4 Pulg.	168
Tubos de extensión dañados de 4 Pulg.	7
Tubos con toma para aspersor	93
Tubos con toma para aspersor dañados	1
Tubos con estabilizadores quebrados	21
Aspersores Bauer B - 60	53
Aspersores Mar 90 - Z	37
Codos rectangulares	9
T Standar	1
Válvulas para tubería de 6 Pulg.	17
Elevadores	92
Tapones	2
Total de tubos de 6 Pulg.	105
Tubos dañados de 6 Pulg.	9
Conos	2
Reductor	1

'Elaboración propia.

ANEXO No. 12 Prueba de Uniformidad¹

Fecha de realización	07-06-94	Presión de prueba: m de altura de agua	45.00	
Comienzo de la prueba: hora	11:55	Descarga del aspersor: m ³ /h	2.44	
Duración de la prueba: min.	122	Velocidad de giro: vueltas/min	1.62	
Velocidad promedio del viento: m/seg		Movimiento del martillo: golpes/min	126	
Entorno de la velocidad del viento: m/seg		Altura del tubo elevador: cm	150	
Temperatura: °C		Espaciamiento de los recipientes: m * m	3 * 3	
Humedad relativa: %		Evaporación: ml/h	10	
Dirección del Viento SE → NW	Espaciamiento m * m	Tasa de Aspersión mm/h	Coefficiente de Uniformidad Cu (%)	Observaciones
	12 x 12	13.35	78.00	
	12 x 18	8.90	86.00	
		CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACION AGROPECUARIA Aspersor BAUER B - 60, boquilla 4.5 mm PRUEBA DE DISTRIBUCION		

¹SHANI, 1984.

ANEXO No. 13 Aforo de bomba¹

Tiempo (min)	Distancia Horizontal (cm)			Caudal (L/s)	Profundidad (cm)	
	Isquierda	Derecha	Total		Nivel Dinámico	Nivel Estático
0						5.93
1	62.23	62.23	124.46	90.00	22.80	
5	48.26	45.72	93.98	70.00		
10	49.53	45.72	95.25	70.00	21.89	
15	43.18	39.37	82.55	62.00	21.64	
20	41.25	41.91	83.91	62.00	21.71	
25	43.18	40.64	83.82	62.00	21.71	

¹ Elaboración propia.



ANALISIS DE AGUAS DE RIEGO

Nº _____

Muestra Nº CNIA - INTA Fecha de muestreo.

Nombre del sitio muestreado :
 (Rio, pozo, canal, ...etc.)

Lugar :
 (Comarca, Municipio, Departamento.)

DATOS DE LA ZONA DE RIEGO

Características de los cultivos y del suelo. (Textura, etc.)

DATOS DE LABORATORIO

Registro Nº. Fecha de análisis 24/05/95.

CE x 10⁶ a 25°C. 1127 T°C 20.6 Micromhos/cm pH. 7.3

Boro p.p.m. Sólidos disueltos 721.28 p.p.m

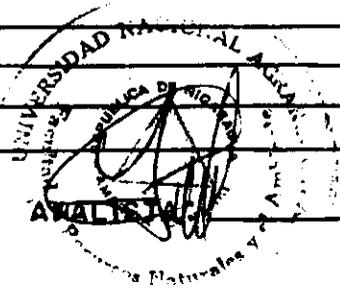
Aniones en m.e./l					Cationes en m.e./l				
CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	SUMA	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SUMA
0	15	2.16	0.19	17.35	3	0.16	12.60	1.59	17.35

CO₃⁼ + HCO₃⁻ 15 M.E./l Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺ 3.16 m.e./l.

Salinidad efectiva m. e/l.	Salinidad potencial m. e./l	RAS	Na CO ₃ Residual m.e./l	% de sodio posible	Clasificación según USDA	Clasific. según

Interpretación y recomendaciones

SOLICITANTE: ANALISTA: INTERPRETO:



ANEXO No. 15 Resultados de la Prueba de Resistencia Mecánica y su Clasificación' (perfil No. 04)

Profundidad cm	Límite Crítico KPa	Resistencia Mecánica KPa	Clasificación
0 - 10	50 - 150	218	alta
10 - 20		286	alta
20 - 30		294	alta
30 - 40		365	alta
40 - 50		316	alta
50 - 60		222	alta
60 - 70		230	alta
70 - 80		271	alta

' Alegría, 1991.

ANEXO No. 16 Resultados de la Prueba de Resistencia Mecánica y su Clasificación' (perfil No. 03)

Profundidad cm	Límite Crítico KPa	Resistencia Mecánica KPa	Clasificación
0 - 10	50 - 150	169	alta
10 - 20		330	alta
20 - 30		285	alta
30 - 40		254	alta
40 - 50		232	alta
50 - 60		262	alta
60 - 70		357	alta

' Alegría, 1991.

ANEXO No. 17 Resultados de la Prueba de Resistencia Mecánica y su Clasificación¹ (perfil No. 02)

Profundidad cm	Límite Crítico KPa	Resistencia Mecánica KPa	Clasificación
0 - 10	50 - 150	162	alta
10 - 20		257	alta
20 - 30		245	alta
30 - 40		231	alta
40 - 50		245	alta
50 - 60		269	alta
60 - 70		220	alta
70 - 80		220	alta

¹ Alegría, 1991.

ANEXO No. 17 Resultados de la Prueba de Resistencia Mecánica y su Clasificación' (perfil No. 02)

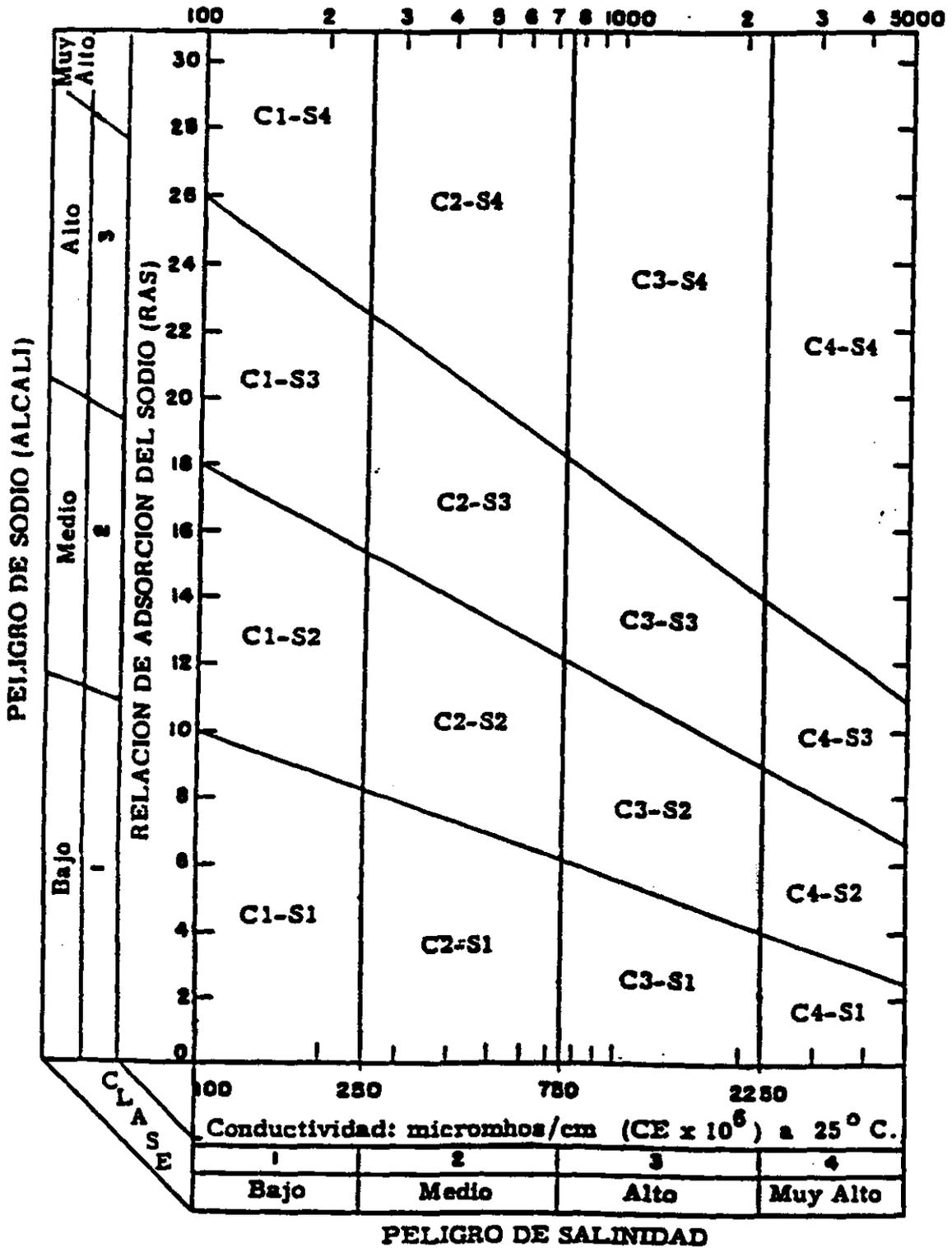
Profundidad cm	Límite Crítico KPa	Resistencia Mecánica KPa	Clasificación
0 - 10	50 - 150	162	alta
10 - 20		257	alta
20 - 30		245	alta
30 - 40		231	alta
40 - 50		245	alta
50 - 60		269	alta
60 - 70		220	alta
70 - 80		220	alta

' Alegría, 1991.

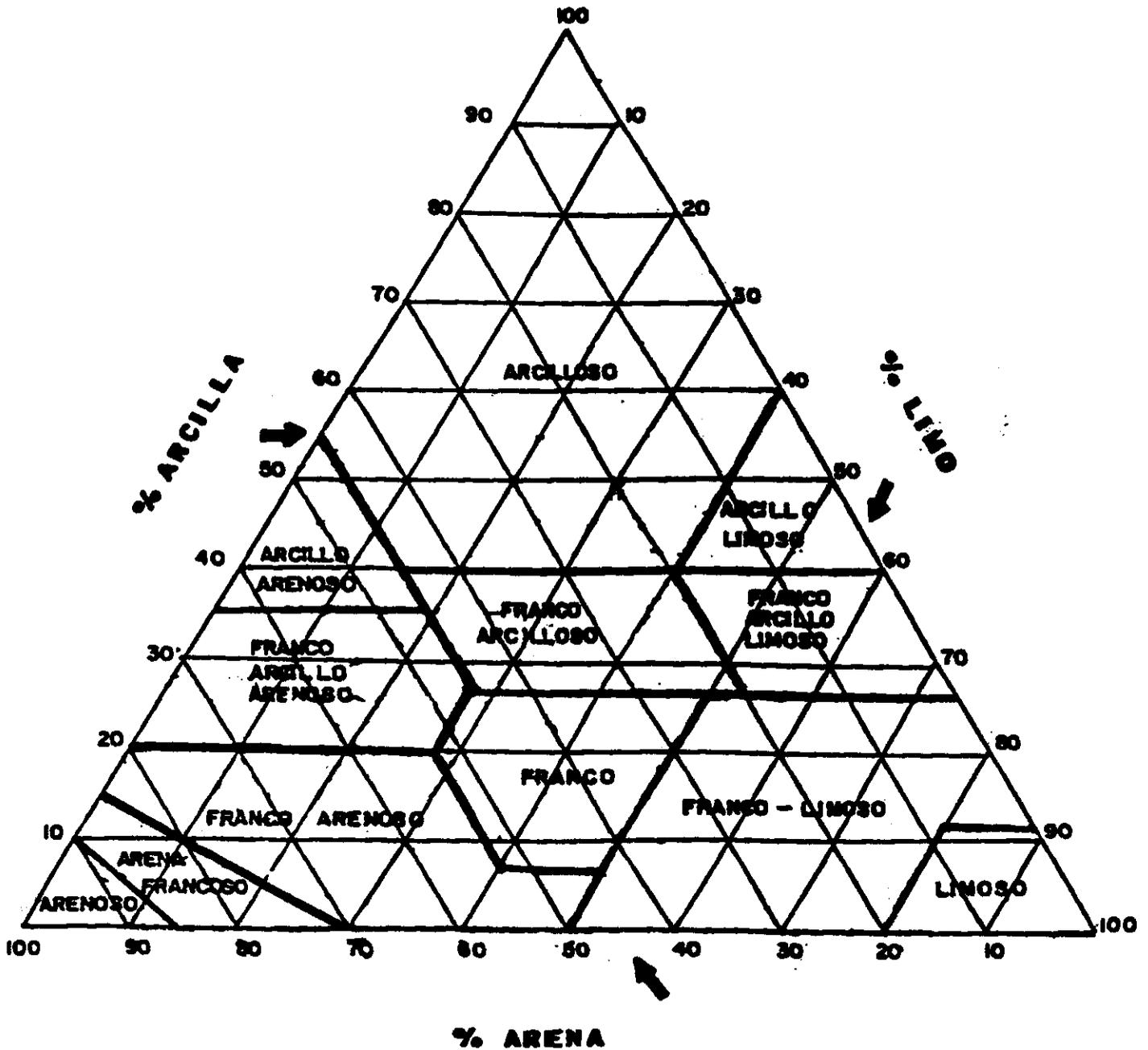
ANEXO No. 18 Resultados de la Prueba de Resistencia Mecánica y su Clasificación' (perfil No. 01)

Profundidad cm	Límite Crítico KPa	Resistencia Mecánica KPa	Clasificación
0 - 10	50 - 150	132	ideal
10 - 20		313	alta
20 - 30		347	alta
30 - 40		245	alta
40 - 50		225	alta

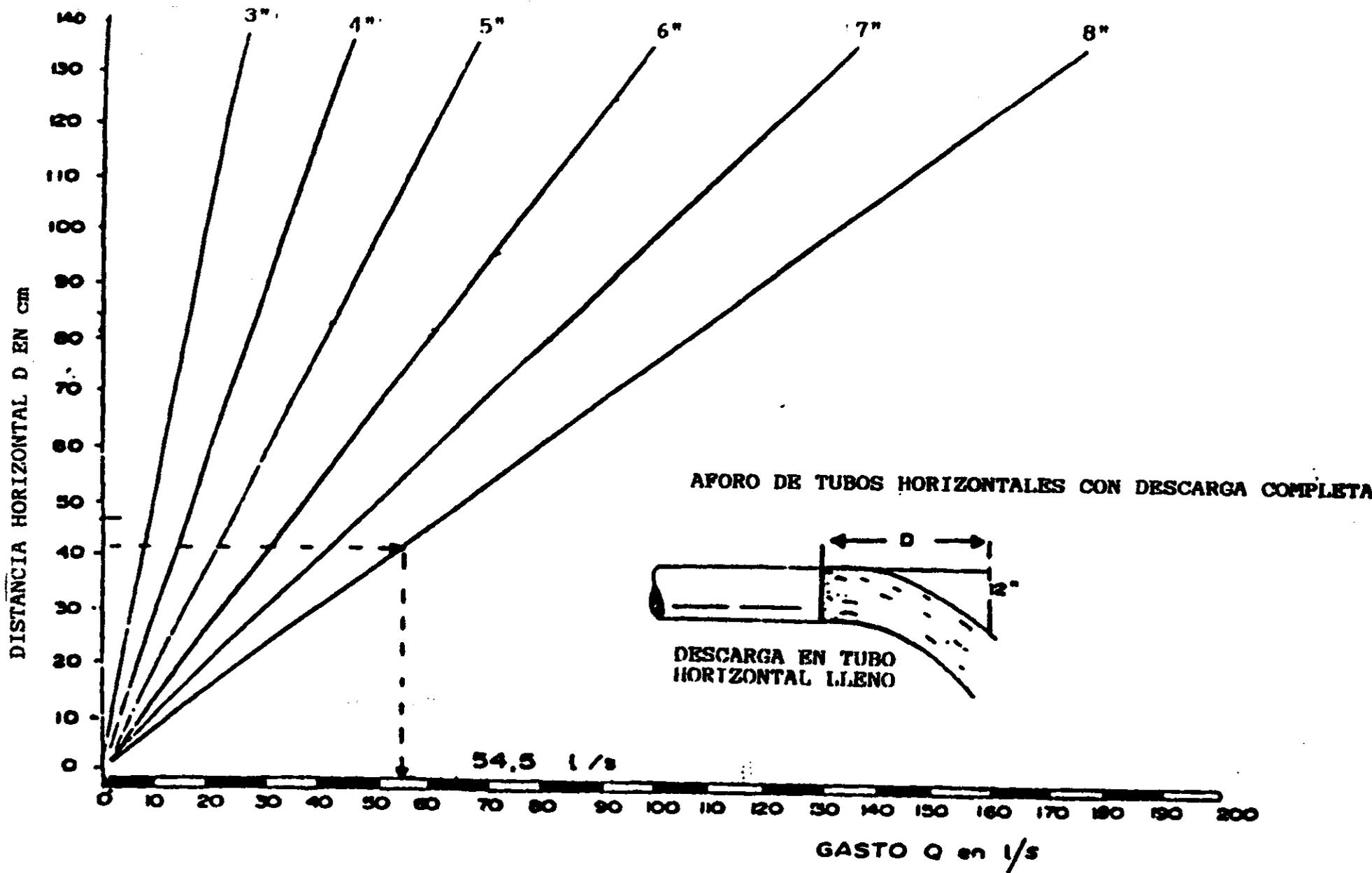
Alegria, 1991.



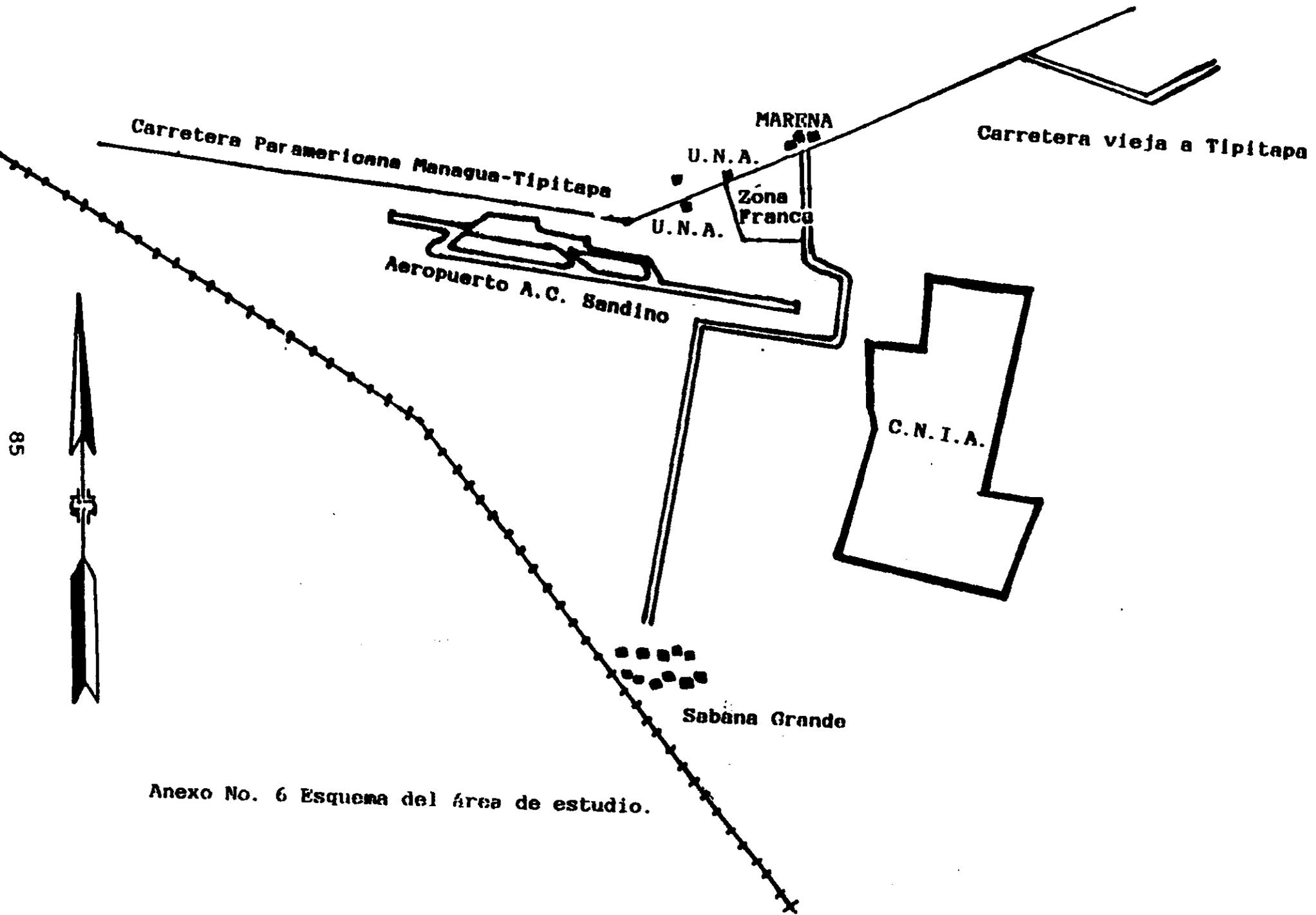
Anexo No. 3 Diagrama para la clasificación del agua de riego.



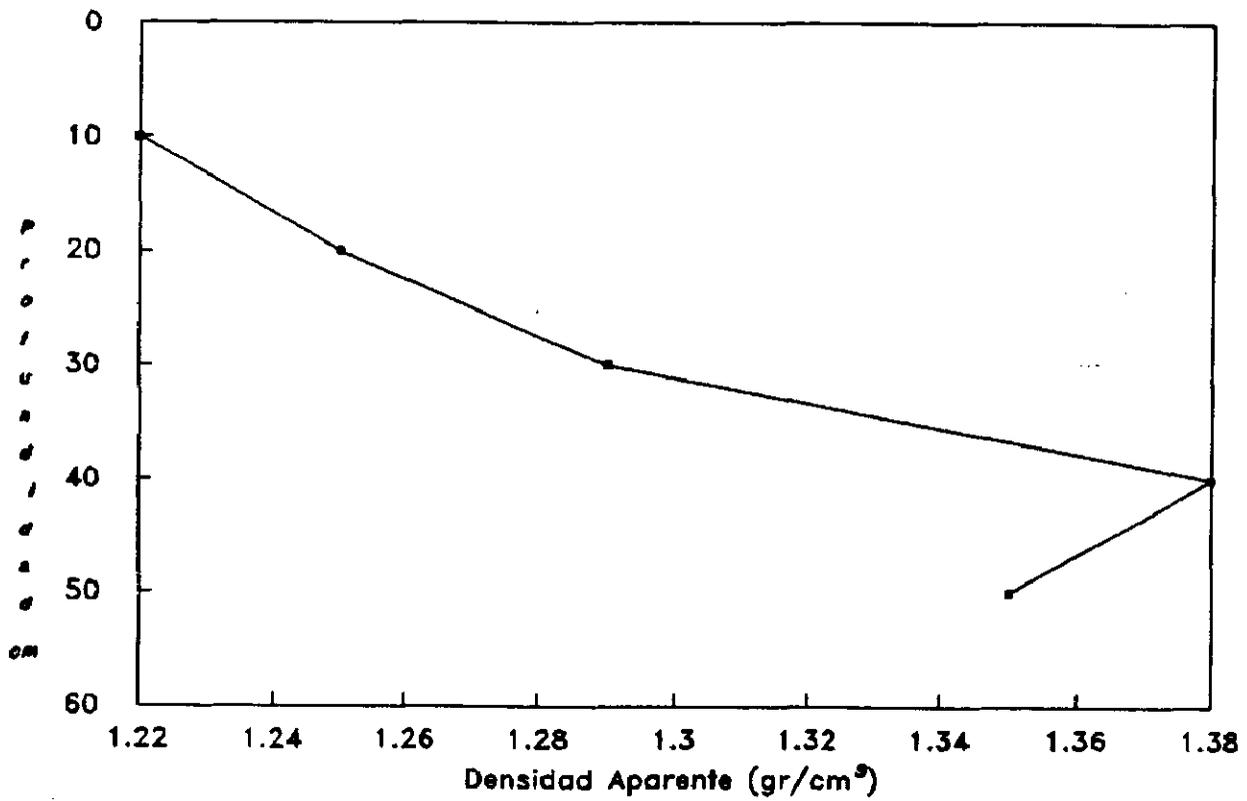
Anexo No. 4 Triángulo Textural.



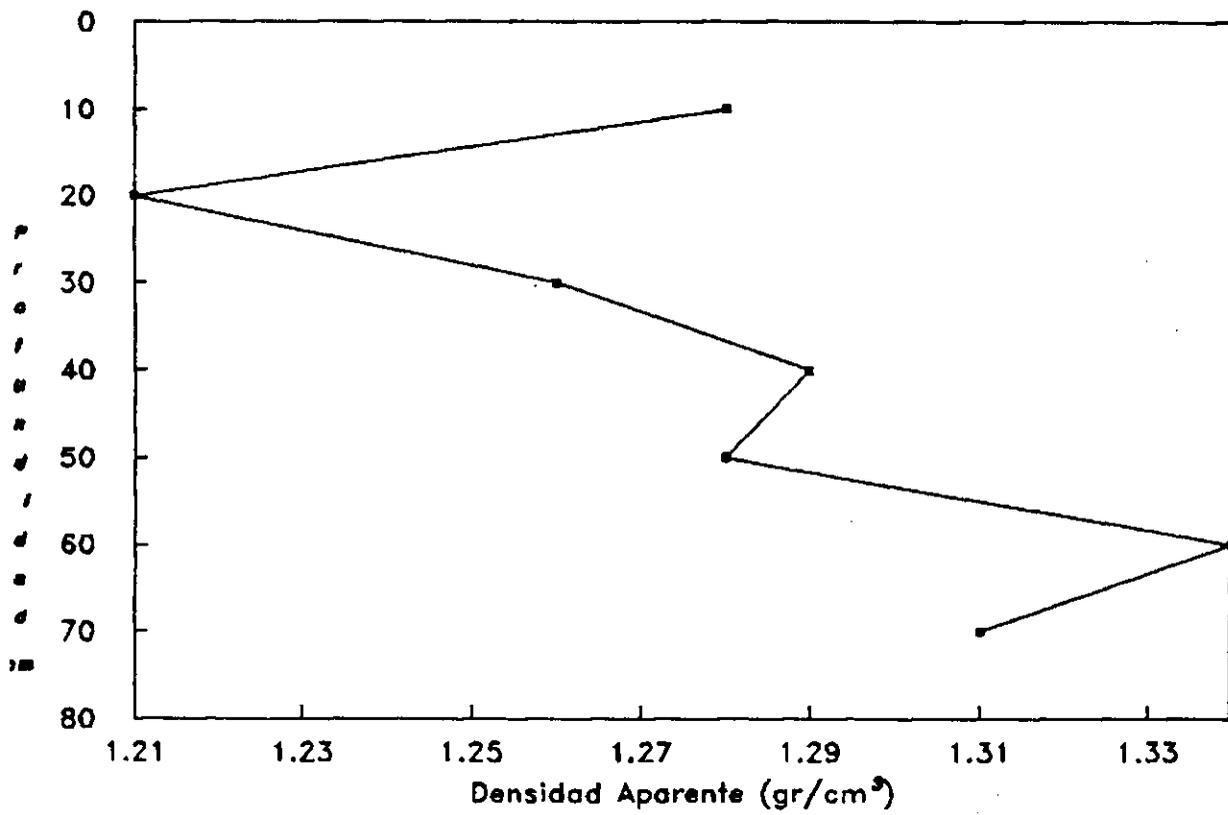
Anexo No. 5 Nomograma para aforo de bombas.



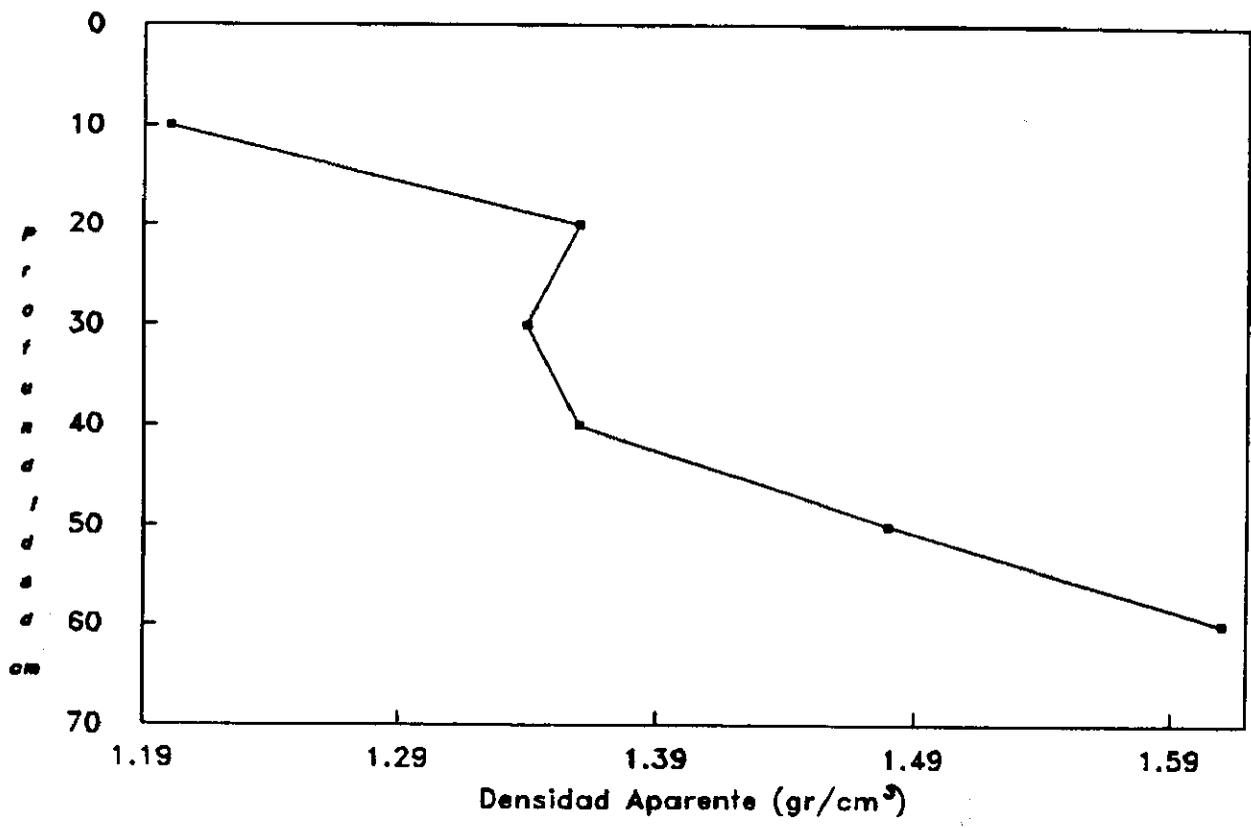
Anexo No. 6 Esquema del área de estudio.



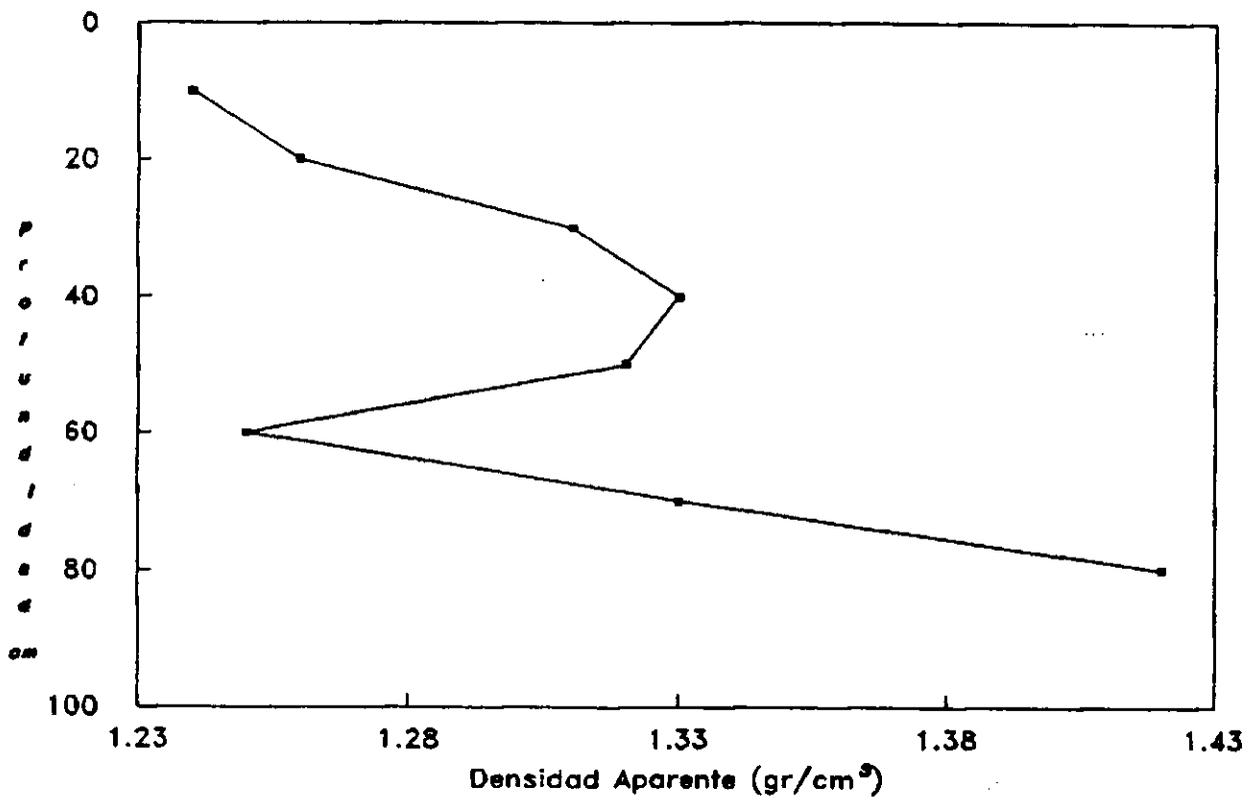
Anexo No. 7 Densidad Aparente del perfil No. 1.



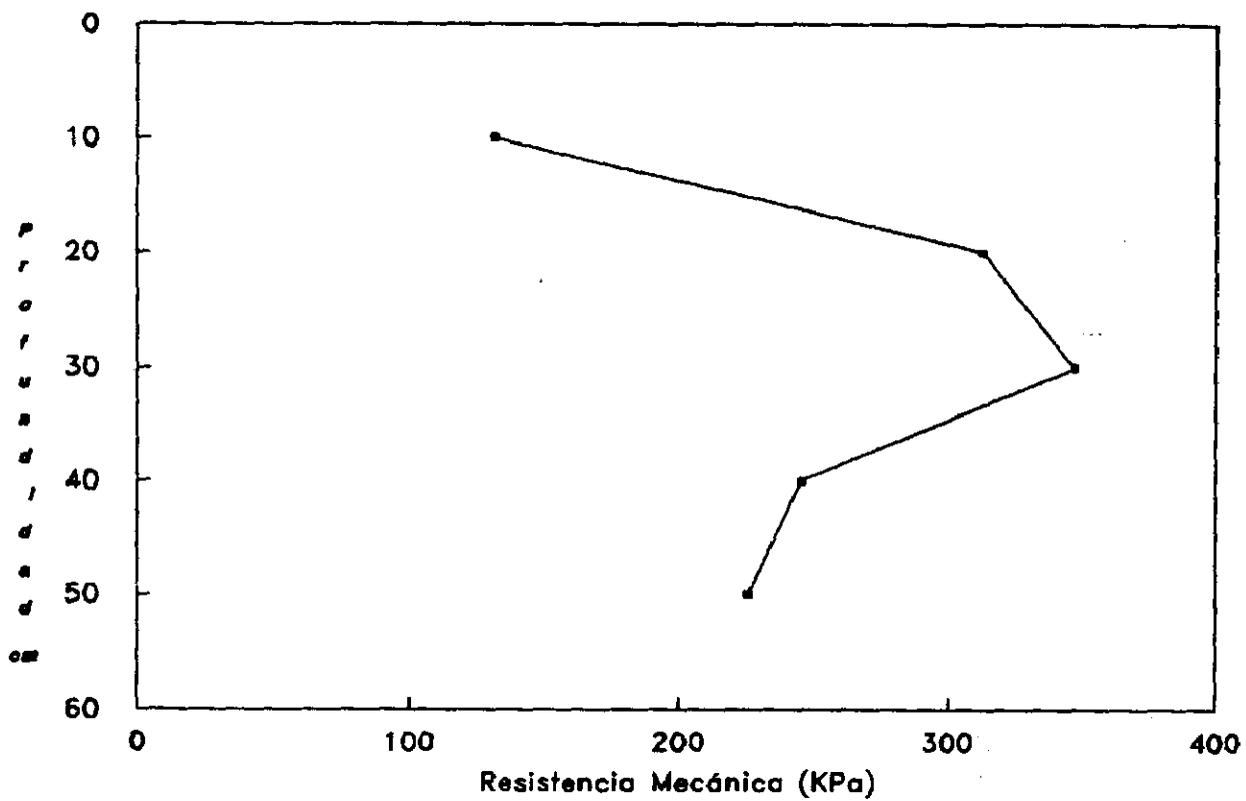
Anexo No. 8 Densidad Aparente del perfil No. 2.



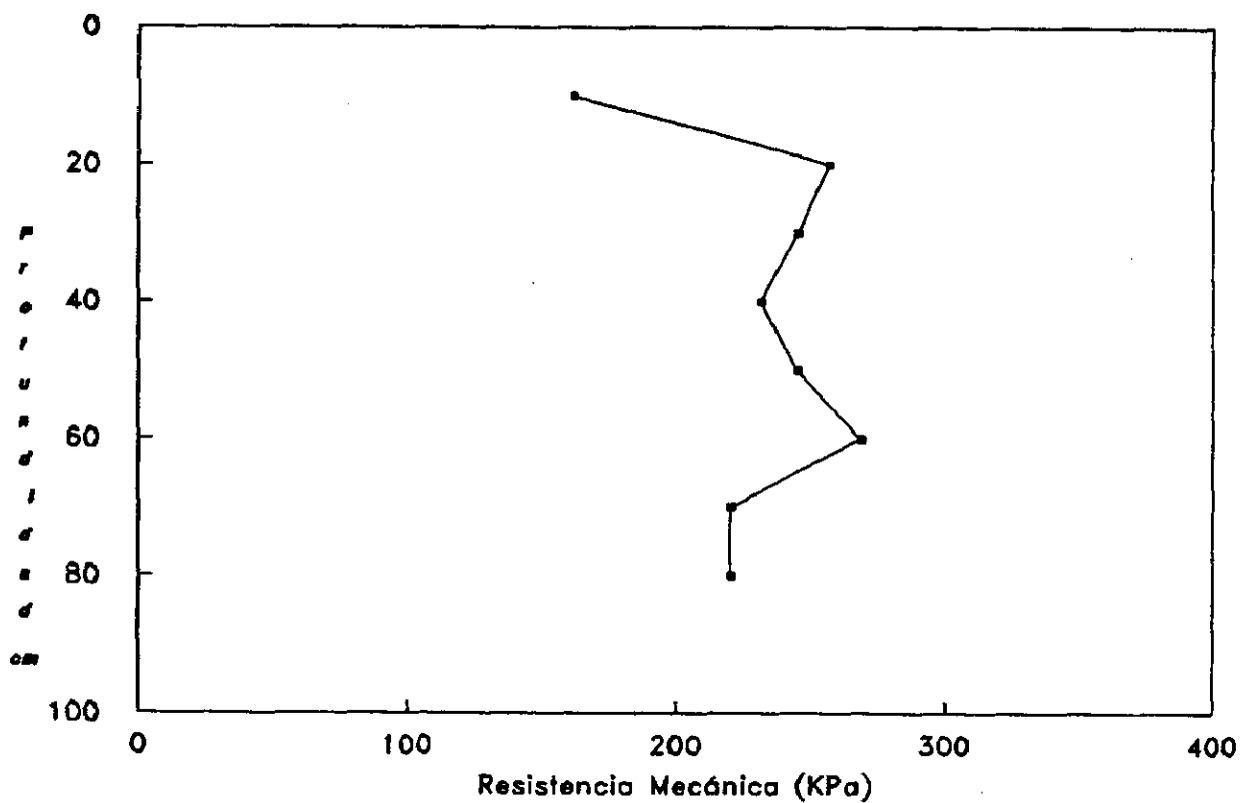
Anexo No. 9 Densidad Aparente del perfil No. 3.



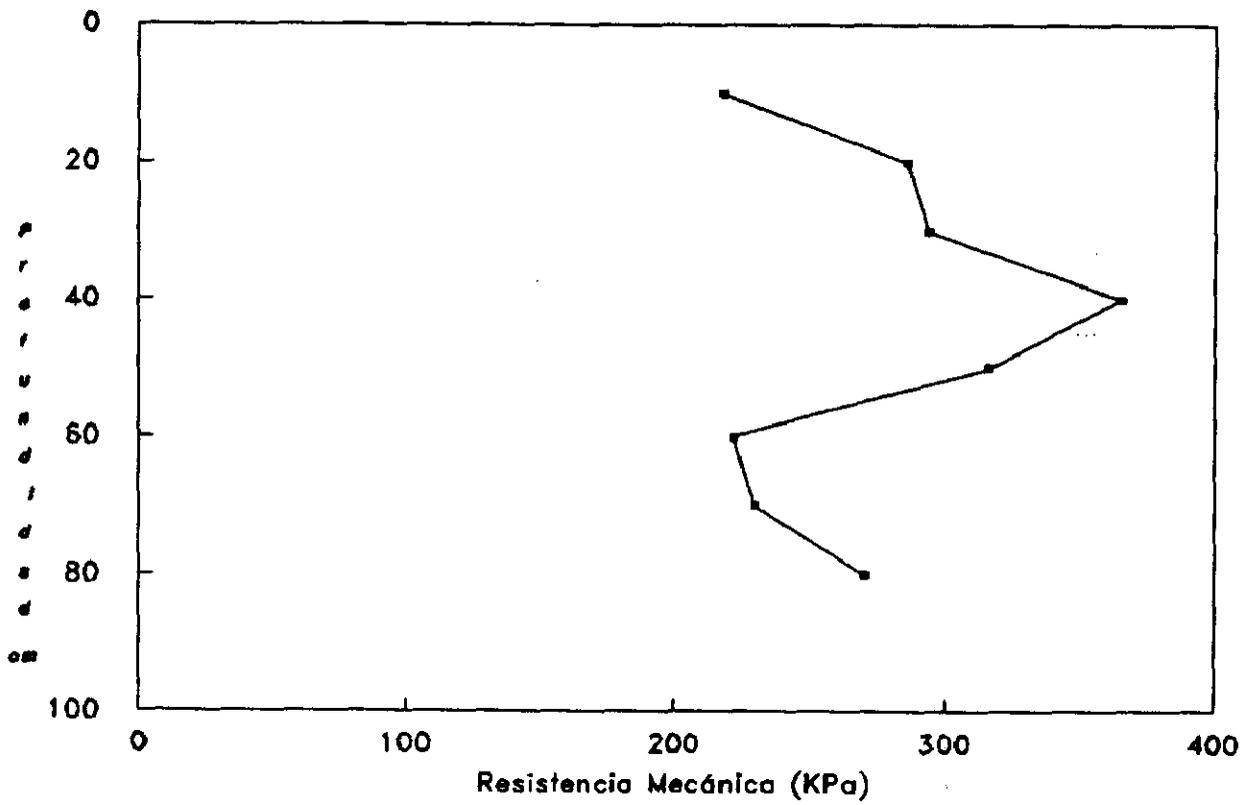
Anexo No. 10 Densidad Aparente del perfil No. 4.



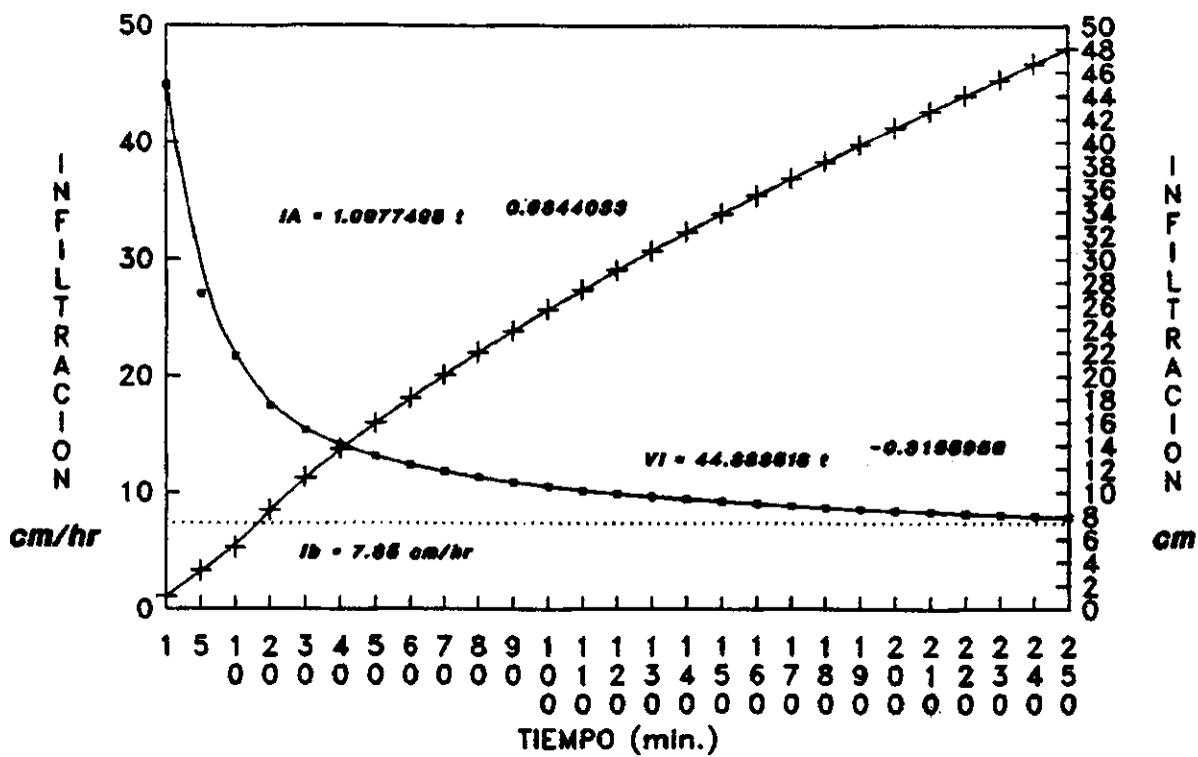
Anexo No. 11 Resistencia Mecánica en el perfil No. 1.



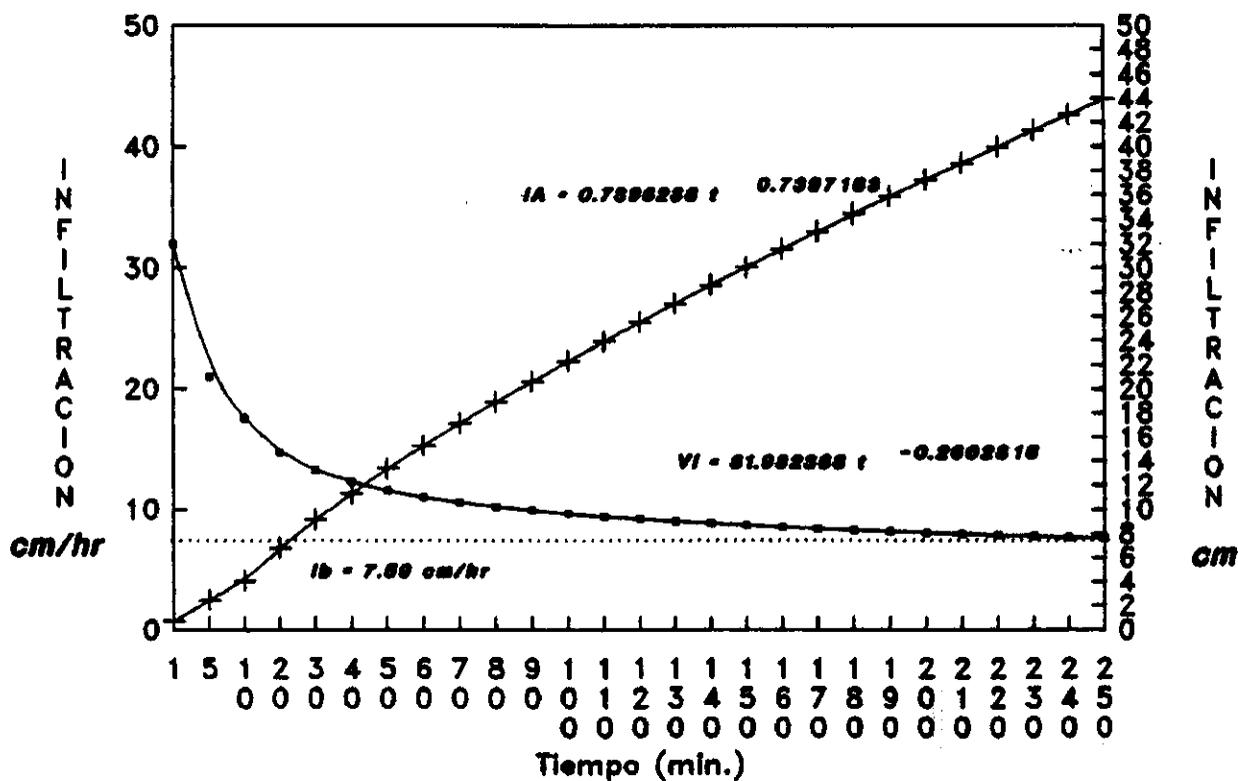
Anexo No. 12 Resistencia Mecánica en el perfil No. 2.



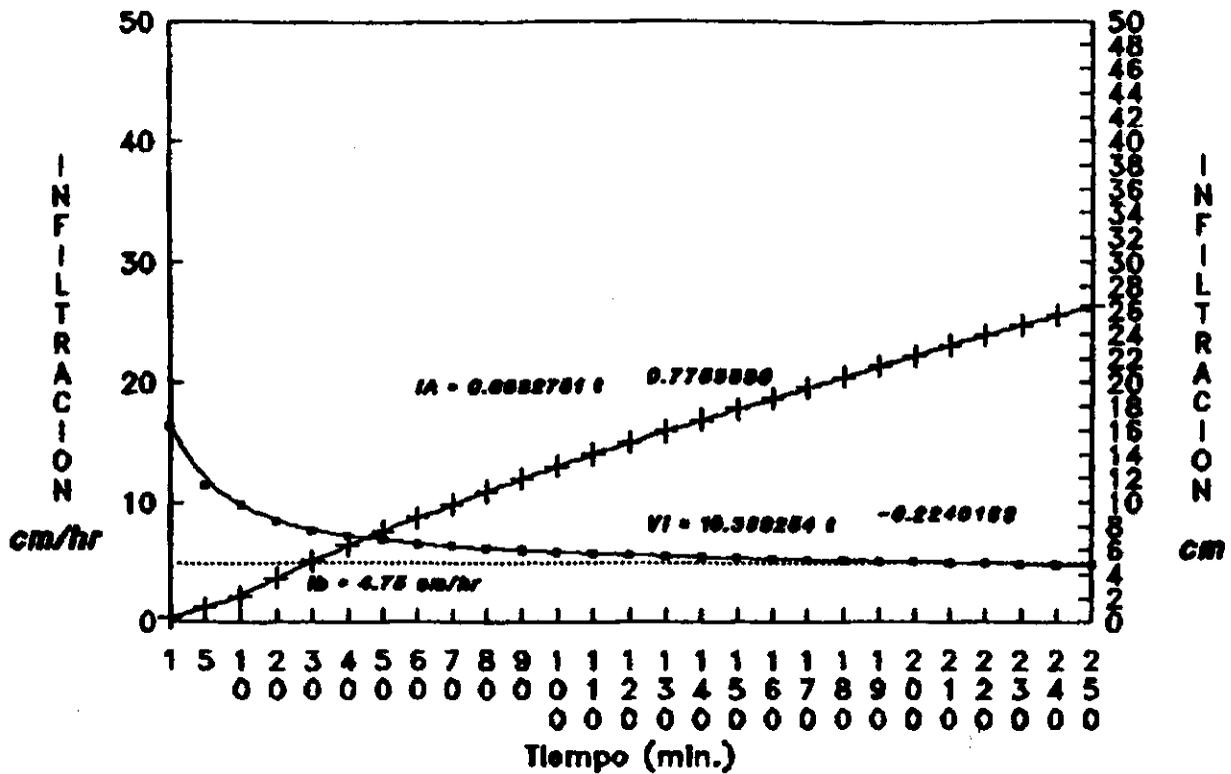
Anexo No. 13 Resistencia Mecánica en el perfil No. 4.



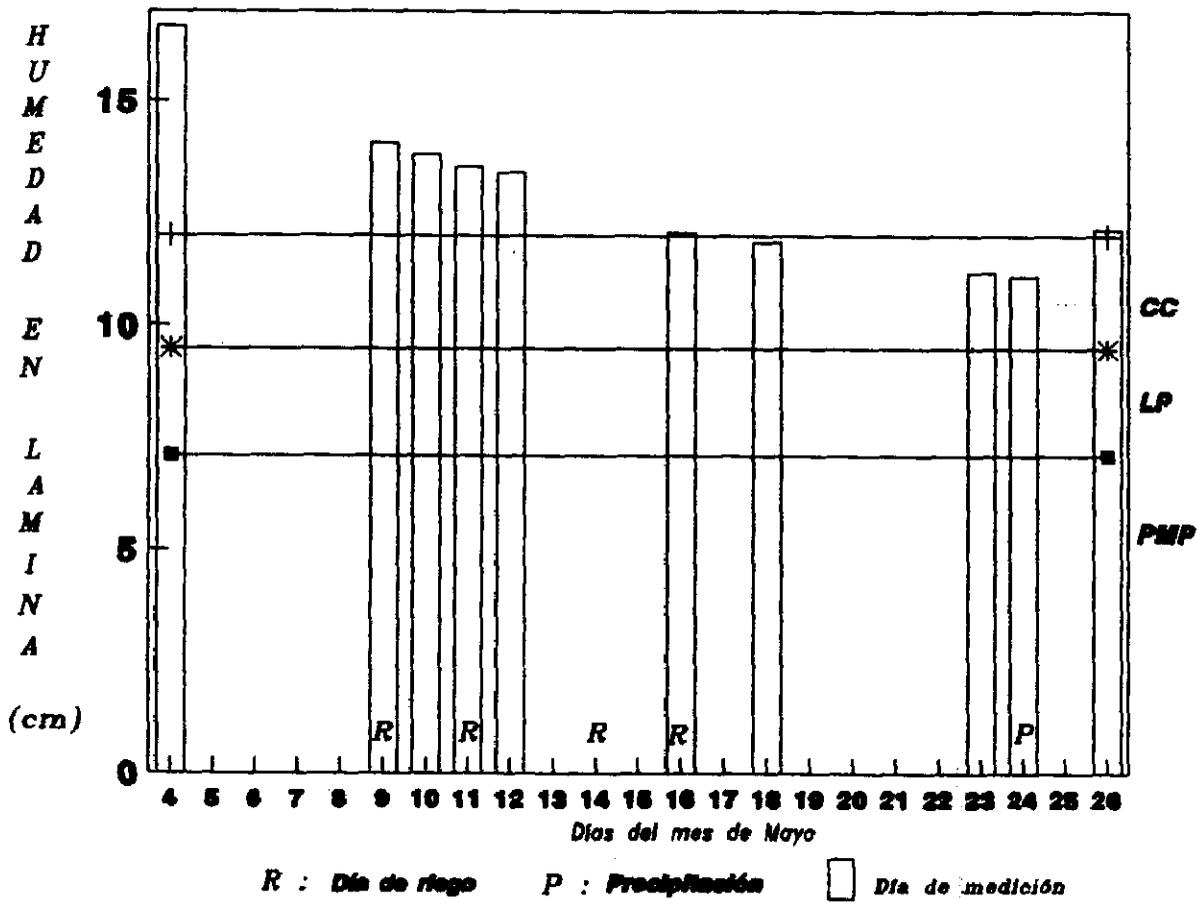
Anexo No. 14 Velocidad de Infiltración e Infiltración Acumulada en el perfil No. 2.



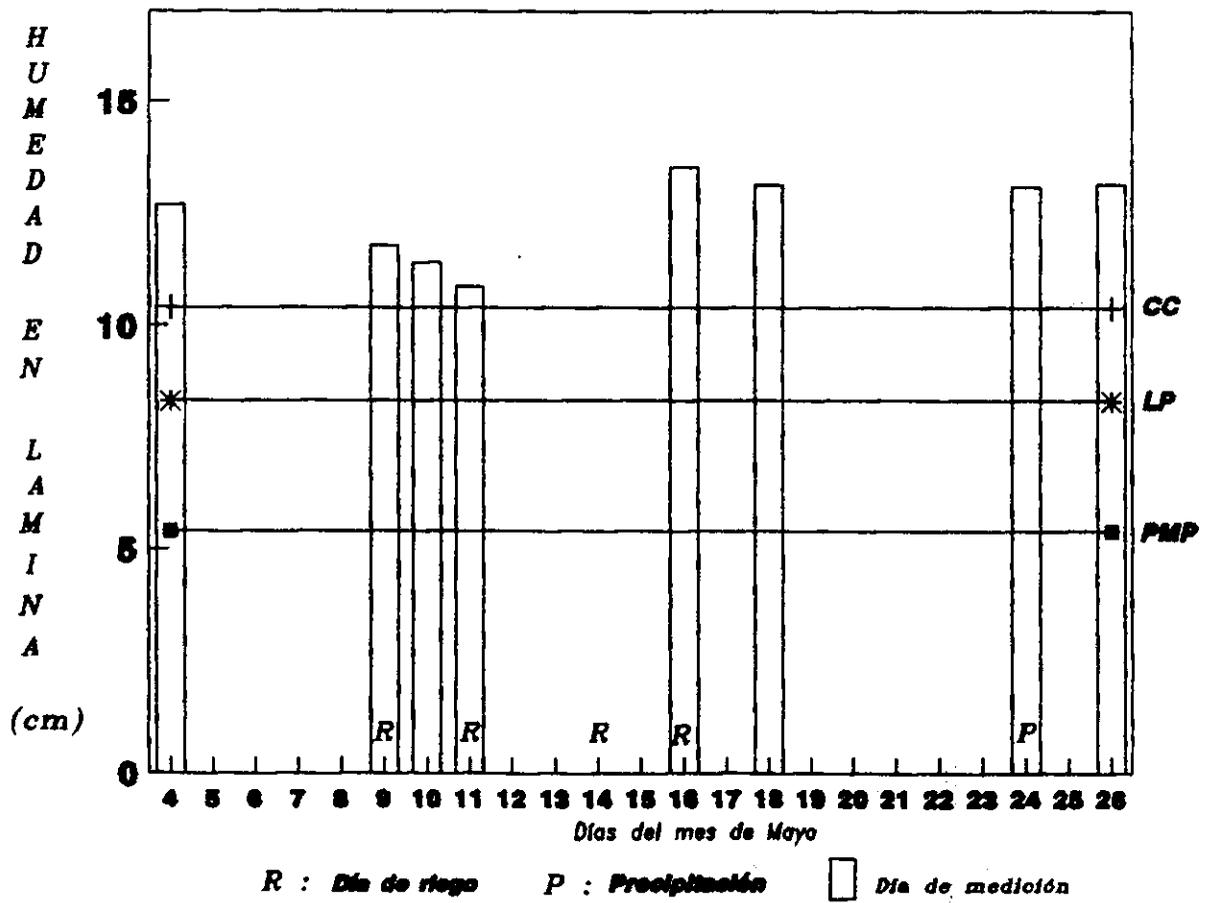
Anexo No. 15 Velocidad de Infiltración e Infiltración Acumulada en el perfil No. 3.



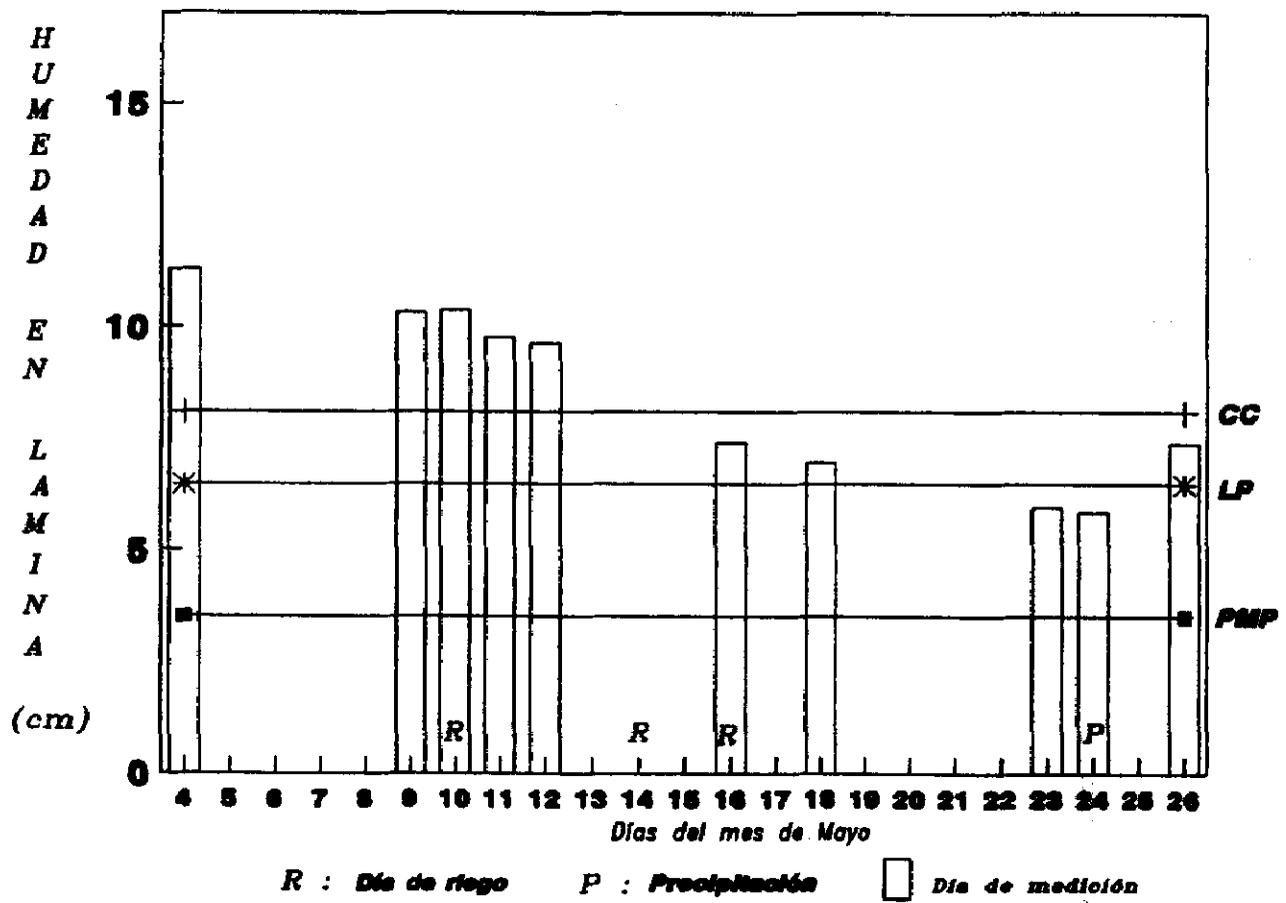
Anexo No. 16 Velocidad de Infiltración e Infiltración Acumulada en el perfil No. 4



Anexo No. 17 Control de Humedad en el cultivo de pasto.



Anexo No. 18 Control de Humedad en el Ensayo de Maíz.



Anexo No. 19 Control de Humedad en el cultivo de Mucuna.