

**EVALUACIONES DE EFICIENCIAS Y ANÁLISIS DE COSTOS DEL RIEGO A
PARTIR DE AGUA SUBTERRÁNEA EN UN CULTIVAR DE ARROZ. PROVINCIA DE
ENTRE RÍOS-RCA. ARGENTINA**

Benavidez, R.

Díaz, E.

Duarte, O.

Valenti, R.

Departamento Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Nacional de Entre Ríos
C.C. Nro. 24. (3100) Paraná. Entre Ríos
ARGENTINA

RESUMEN

Se llevó a cabo en el establecimiento "JUBILEO" sito en el Departamento Villaguay corazón arrocerero de la Provincia de Entre Ríos Argentina, un ensayo de eficiencia de riego en cultivo del arroz, en lotes bajo sistemas de labranza convencional y siembra directa, mediante la utilización de agua subterránea.

Se presente trabajo la metodología utilizada en el mismo, donde se desarrollaron mediciones de pérdidas de agua a nivel predial y de parcelas experimentales. Se instaló además una estación agrometeorológica completa en colaboración con la Dirección de Hidráulica y Recursos Hídricos de Entre Ríos y el Centro Regional Litoral del Instituto Nacional de Ciencias y Técnicas Hídricas - Santa Fé.

Se instalaron 10 parcelas experimentales de entre 25 y 50 m², 6 "macetas" de medición de 0.80 m de diámetro. Las mismas representaban las variables hidrológicas de interés: evaporación, transpiración y percolación. Se colocaron 12 tubos de seguimiento de perfiles de humedad y densidad de suelos, un aforador de garganta larga en el canal de alimentación del potrero, 3 secciones de aforos con molinete hidrométrico y una de calidad química del agua en el canal, y una sección de control en las "taipas" del sistema de riego. Se monitorearon las características químicas del suelo en ambas situaciones de labranza.

Las mediciones hidrométricas fueron con intervalos de muestreo diario, y por diferencias entre parcelas se determinaron las distintas componentes del ciclo hidrológico.

Con los valores obtenidos de eficiencias de riego de un 63.9 % y del 60.3 %, para los sistemas de labranza convencional y directa respectivamente, y con el análisis de los porcentuales de los costos con fuente de agua subterránea y superficial, se concluye que existe la posibilidad del cambio de fuente a superficial, con la continuación de la siembra convencional, mejorar la eficiencia de riego de ese esquema en un 40%.

INTRODUCCIÓN

El ensayo se llevó a cabo en el establecimiento "JUBILEO" sito en el corazón arrocerero de la Provincia de Entre Ríos (ver Fig. N°1). La provincia, primera productora de arroz del país posee una superficie sembrada de 115.000 has. En la actualidad el 90 % de la superficie se riega a partir de la fuente de agua subterránea con perforaciones profundas de aproximadamente 80 mts. Con caudales variables entre 250.000 y 320.000 lts/hs.

Este esquema de funcionamiento con alto costo desde punto de vista del riego, no se conocía su eficiencia, con la dificultad actual de indicios de deterioro del acuífero, por lo que se propone un mejoramiento de la eficiencia del riego y un cambio de la fuente.

Este trabajo está integrado al Programa PROARROZ, que integran además el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Estación Experimental Agropecuaria-Concepción del Uruguay - Entre Ríos, en conjunto con profesionales asesores, empresas vinculadas, la Asociación de Ing. Agrónomos del NorEste de la Provincia de Entre Ríos, la Federación de Cooperativas Arroceras de la República Argentina y el Gobierno de la Provincia de Entre Ríos.

OBJETIVOS

Evaluar la eficiencia técnica y analizar los costos del riego en el cultivo de arroz, en condiciones de operación normal por un productor, medir las variables agroclimáticas que incidan en el manejo y operación del sistema de riego, en la productividad del cultivo analizando el posible uso del agua superficial.

Como objetivos particulares:

- *Determinar características de los suelos, calidad y cantidad de las fuentes de abastecimiento de agua con destino al cultivo de arroz.
- *Evaluar la incidencia en los costos y beneficios obtenidos.
- *Incidir en el nivel de tecnología de aplicación del riego como insumo de producción con alternativas de agua subterránea y superficial.
- *Transferir los resultados de las mediciones de pérdidas y eficiencias a los productores que se encuentran en el área de influencia de realización de los ensayos.

PLAN DE ACTIVIDADES DESARROLLADO

1. Construcción y mantenimiento del equipamiento básico hidrometeorológico.
2. Evaluación para selección e implementación de la parcela: equipamiento climático, hidrométrico, de humedad del suelo y calidad del agua.

3. Registro de la información (climática, de labranzas, del cultivo, de humedad del suelo, análisis químico de aguas y suelos).
4. Tratamiento de datos, de registros, de análisis de muestras, de rendimientos.
5. Ajuste de un modelo de medición desde el punto de vista económico y tecnológico.
6. Análisis de resultados, parciales y generales, interpretación, informes, difusión.

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El ensayo de medición de eficiencia en riego fue instalado en el establecimiento Jubileo, que realiza una siembra de 1000 has de arroz (ver Fig N°2).

Se seleccionó un potrero que posee 61 has y es regado a partir de una perforación que posee una bomba de tipo turbina accionada por un motor a explosión de 140 hp.

La conducción del agua hacia el cultivo se realizó mediante un canal excavado sin recubrimiento de 1000 mts de longitud, el mismo fue monitoreado en secciones de aforo (S1, S2, S3).

Este canal ingresa al potrero alimentando a las parcelas en ambos sistemas de labranzas (convencional y directa). Dentro de las parcelas se monitorearon los niveles de agua y humedades de suelo.

En el borde del ensayo se instaló una estación agrometeorológica completa con el fin de analizar todas las variables con las condiciones generadas por el cultivo.

METODOLOGÍA APLICADA

1- Medición de las variables agroclimáticas.

Las tareas de medición de las variables agroclimáticas comenzaron un mes antes a la siembra del cultivo, un observador agroclimático registra las distintas variables diariamente a tres horas del día, con el objeto de poder establecer una relación con las mediciones del consumo de agua.

Las variables medidas y los instrumentos utilizados son:

VARIABLE	INSTRUMENTAL
-Evaporación	Evaporímetro de Piche Tanque tipo A

-Viento	Dirección		Veleta
	Velocidad	Instantánea	Escala Beaufort
		Diaria	Anemómetro de Robinson
-Temperatura		Del aire	Termómetro de máxima
			Termómetro de mínima
			Termógrafo
		Del agua	Termómetro flotante
		Del suelo	Geotermómetros a 5, 10, 20, 30, 50 y 100 cm de profundidad
-Humedad relativa			Psicrómetro de bulbo seco
-Tensión de vapor			Psicrómetro de bulbo húmedo
-Punto de rocío			
-Heliofanía			Heliofanógrafo de Campbell
-Precipitaciones			Pluviómetro tipo B Pluviógrafo de Hellmann
-Presión Atmosférica			Barógrafo Aneroide

Además en cada momento de medición se determinó:

- Estado del suelo
- Nubosidad
- Visibilidad
- Otros fenómenos presente en el momento de medición

Se analizaron la evolución de las distintas variables agroclimáticas con el objetivo de relacionar las perdidas de agua del sistema por evapotranspiración y otros fenómenos climáticos que afectaran los rendimientos del arroz.

2- Seguimiento Fenológico del Cultivo

Primeramente se estudió la historia del lote donde se instaló el ensayo, luego se determinó:

- Fecha de siembra
- Variedad sembrada
- Densidad de siembra
- Clases y dosis de fertilizante en siembra
- Fecha de nacimiento del cultivo
- Fecha del comienzo de riego

Además se realizaron relevamientos quincenales, en los cuales se observaron las variables que podrían influir en el consumo de agua. Entre las que se encuentran:

- Densidad de plantas
- Altura de canopeo

- Estado fenológico
- Presencia de malezas
- Presencia de enfermedades
- Presencia de insectos infectivos
- Fertilizaciones

3- Estudio del Ciclo Hidrológico en el cultivo

Con este objeto se instalaron tres clases de parcelas:

- a) Parcelas en las que se midió la evaporación de la lámina de agua, ya que se restringe la percolación por medio de una impermeabilización del fondo, estas parcelas carecen de cultivo
- b) Parcelas de las que se determinó la pérdida de agua por percolación, estas parcelas también carecen de cultivo, pero no están impermeabilizadas, por lo que el valor de percolación se obtiene de la diferencia entre el valor de la pérdida de lámina de agua de estas parcelas y las anteriores.
- c) Parcelas sin impermeabilizar y con cultivo, la pérdida de la lámina de agua en éstas es causada por la evapotranspiración, más la percolación. Por lo que realizando una diferencia entre éstas y las anteriores obtenemos el valor de la evapotranspiración del cultivo, que se lo consideró igual al uso consuntivo ya que se despreció el agua utilizada por la planta en su constitución.

Todas las parcelas poseían una superficie aproximada de 5 m x 5m. Estaban rodeadas por taipas impermeabilizadas mediante polietileno, para evitar errores ocasionados por las filtraciones laterales.

Con el mismo objeto que las parcelas se instalaron macetas, construidas a partir de tramos de barriles de 80 cm y de 50 cm de largo, las mismas se hincaron 25 cm, éstas tenían las mismas características que las parcelas:

- a) Fondo tapado y sin cultivo
- b) Sin fondo y sin cultivo
- c) Sin fondo y con cultivo

La instalación de las macetas se realizó para correlacionar los datos recogidos que ellos representan a los obtenidos en las parcelas, que por su tamaño son más representativas de la realidad del cultivo.

Las mediciones de lámina se realizaron diariamente en las 10 parcelas, y en las 6 macetas instaladas.

4- Determinación de la Capacidad de Infiltración.

Para ésta medición de fundamental importancia para evaluar el

ingreso del agua al suelo, se utilizó el infiltrómetro de doble anillo, ya que refleja las condiciones en las que se encuentra un suelo inundado. Consta de dos superficies cilíndricas abiertas por las bases (de 0.20 y 0.60 metros de diámetro respectivamente), el cual es hincado parcialmente en el terreno, luego se añade una cantidad conocida de agua en ambos cilindros. El ensayo se realizó durante 24hs.

El resultado de la infiltración se obtiene de la medida de la pérdida de agua del cilindro central, el cilindro mayor tuvo la función de eliminar los efectos de dispersión lateral.

Como el proyecto considera dos sistemas de labranza, siembra directa y convencional, el ensayo de infiltración se realizó individualmente en ambos sistemas.

La capacidad de infiltración y la lámina acumulada se determinó mediante la utilización de la ecuación de Kostiaikov :

$$Lacum = C * T^m \text{ Donde :}$$

Lacum: Lámina infiltrada acumulada en el tiempo T en mm.
 T: Tiempo en hs
 C y m: Parámetros a determinar con los datos experimentales

$$f = K * T^n$$

Donde:

f: capacidad o velocidad de infiltración en mm/hs.
 T: Tiempo en hs.
 K y n: Parámetros a determinar con los datos experimentales

TABLA I

Ensayo	Capacidad de Infil.		Lam. Acumulada	
	K	n	C	m
Siembra directa	180.5	-1.047	0.36	0.317
Labranza Convencional	161.4	-1.071	0.31	0.174

En la figura Nro. 3 a modo de ejemplo, se representan las curvas de capacidad de infiltración instantánea de los ensayos en siembra directa y convencional, respectivamente.

5- Aforos de canales arroceros

A los efectos de cuantificar el flujo del agua desde la perforación hasta la zona donde se encontraban los ensayos, se

instaló un aforador de garganta larga (S1), de una contracción de 0.10 m del fondo del canal y de 0.50 m de ancho, el que se monitoreaba diariamente. El mismo se diseñó a los efectos de poder medir los caudales esperados en el sistema arrocero (ver fig n°2).

Asimismo se realizaron en distintas etapas del riego de arroz, aforos con molinete hidráulico en distintas secciones de control, a los efectos de poder determinar las pérdidas por canal en el sistema (S2 y S3).

El canal de una longitud de 1000 metros, presentaba diferentes condiciones hidráulicas de transporte; pendiente variables, tramos en pendiente cero, anchos variables y una densa vegetación que se desarrollaba en ambos taludes.

De las condiciones antes mencionada surgen problemas de capacidad de transporte, tirante variable entre 0.10 y 0.50 m y velocidades que oscilaban entre < 0.04 m/seg (velocidad mínima de registro de la hélice utilizada) y 0.37 m/seg.

Las mediciones fueron realizadas con un Micromolinete marca A.OTT kempten, modelo C-31 Universal Current Meter, con hélices Nro. 2-88796 y 4-84427.

Se observan pérdidas de agua por conducción del orden del 25 %, entre las dos secciones de control.

6- Relevamiento Topográfico

A los efectos de caracterizar el funcionamiento hidráulico del canal se realizó una nivelación topográfica de detalle del mismo, en la que se levantaron taquimétricamente las siguientes características geométricas del mismo:

- Nivel del terreno natural en margen izquierda
- Nivel del borde del canal en margen izquierda
- Nivel de la solera del canal
- Tirante de agua en el canal
- Nivel del terreno natural en margen derecha
- Nivel del borde del canal en margen derecha

Se trasladó la cota I.G.M. desde el Punto Fijo N°18 N(100) IGM PGG (Estación Ferrocarril FCGU Jubileo) Cota 70.16 m, hasta la Estación Agroclimática que resultó: 69.345 m sobre el nivel del mar.

La nivelación se realizó con un Nivel Topográfico marca TOPCON, modelo AT-G6, mira parlante de 4 metros en tres tramos y discriminada cada 5 mm.

7- Seguimiento de Perfiles de Humedad y Densidad del suelo

Se instalaron 12 pozos de observación de profundidad variable

entre 1.50 y 1.90 m, distribuidos de la siguiente manera:

- 2 en las parcelas de siembra directa
- 2 en las parcelas de siembra convencional
- 3 en borde de canal acceso potrero de ensayo a distancia variable
- 4 en borde canal en coincidencia con la estación meteorológica.
- 1 fuera del área bajo riego.

Se realizaron 11 muestreos con intervalos variables, que oscilaron en 14 días. A partir de la cosecha de ambos lotes; siembra directa y convencional; se continuó midiendo los parámetros climáticos y de desecamiento del perfil de suelo con una periodicidad bisemanal.

Se registró con un intervalo de muestreo de 0.10 metros.

El equipo utilizado fue una sonda de Humedad y Densidad marca CPN Company, modelo DEPH-PROBE 501-DR.

El resultado de las mediciones realizadas se graficaron comparando los efectos en los ensayos de siembra directa y siembra convencional de las variables contenido de agua, densidad aparente húmeda y densidad aparente seca, respectivamente.

8- Análisis físico-químicos de suelo y agua

En coincidencia con las mediciones de perfiles de humedad y densidad, y para distintos estados fenológicos del cultivo se tomaron muestras de suelo en ambas labranzas y se realizaron determinaciones de pH, Carbono Orgánico, Nitrógeno Total, Fósforo Bray-Kurtz y Relación Carbono/Nitrógeno.

Se tomaron muestras de agua de la perforación, canal y taipa en distintos períodos del ciclo de riego a las que se realizaron mediciones de: Conductividad Eléctrica, pH y aniones y cationes principales, a los efectos de evaluar la evolución hidroquímica de la fuente de abastecimiento y la evolución dentro del sistema de riego. Asimismo con una periodicidad diaria se midió temperatura de agua en salida de boca de pozo, canal en la sección del aforador y en taipa.

Como estudios especiales se realizó un muestreo de agua a los fines de evaluar isótopos presentes en la misma, entre ellos: Tritio, Deuterio y Oxígeno 18. De los resultados de dichos ensayos se evaluará un lugar de muestreo adecuado para cuantificar Carbono 14 y poder determinar la edad de las aguas subterráneas del acuífero que provee al área de riego arrocera. El mismo ha sido coordinado por el Lic. Mario Filí, asesor externo del Proyecto (Facultad de Ingeniería y Ciencias hídricas - UNL) y los datos actualmente se encuentran en procesamiento en el Laboratorio del INGEIS (Instituto Nacional de Geocronología Isotópica, Buenos Aires).

Asimismo y dada la existencia de una perforación abierta se

midió la profundidad al nivel piezométrico y la recuperación del acuífero. Se prevé continuar dichas mediciones hasta el inicio de la nueva campaña y posterior descenso de los niveles del mismo hasta su estabilización, con el objeto de evaluar como responde el sistema ante la extracción del agua subterránea con destino a riego.

9- Sistema de Aprovechamiento

Se realizaron medidas de parámetros de funcionamiento del sistema de motor-transmisión-bomba. Las variables que se midieron fueron:

- Revoluciones de motor
- Revoluciones de transmisión
- Horas diarias de bombeo
- Consumo de combustible
- Caudales en el aforador a la salida de bomba

Con esta información se calculó los costos de riego en lo que hace a los items combustible, reparaciones y parte de afectación del personal.

10- Análisis de costos

Si realizamos un análisis de los porcentajes de los costos de producción del cultivo del arroz para la campaña 95/96, para el potrero de 61 has, alimentado con pozo profundo de 75 mts de profundidad(ver fig nº 6):

Labranza	28.2 %
Semilla	10.6 %
Agroquímicos	14.1 %
Fertilización	1.6 %
Riego	45.5 %

Donde en particular el items del riego se lo puede desglosar de la siguientes forma:

	Porcentaje del riego	Porcentaje del total
Personal	36.7	16.7
Combustible	52.9	24.1
Reparaciones	10.4	4.7

Como fuente de agua alternativa a partir del año 1988 se han iniciado la construcción de pequeñas presas para retención para realizar la extracción para el riego del cultivo de arroz.

Estas estructuras hidráulicas casi artesanales de bajo costo, se ubican en pequeños arroyos y pueden ser construidas

generalmente con maquinarias del productor bajo un proyecto técnico.

Las presas surgieron como consecuencia del aumento significativo del combustible dentro de los costos de la producción arrocerá.

Si analizamos al igual los porcentajes de los costos de producción del ensayo realizado con agua subterránea, los porcentaje de costos con agua superficial de un establecimiento cercano, obtenemos los siguientes cuadros:

Labranza	24.7 %
Semilla	8.4 %
Agroquímicos	16.3 %
Fertilización	14.4 %
Riego	36.2 %

Donde en particular el items del riego a partir de agua superficial se lo puede desglosar de la siguientes forma:

	Porcentaje del riego	Porcentaje del total
Personal	47.1	17.1
Combustible	6.2	2.2
Reparaciones	46.7	16.9

Vemos que en la segunda condición una significativa diferencia en el items combustible, donde para el caso de la perforación se lleva un 52.9 % del costo del riego y un 24.1 % del total del costo del cultivo, comparándolo con el agua superficial donde se lleva un 6.2 %, del costo del riego y un 2.2 % del total del cultivo.

Estos visto en los consumos de combustible resulta en promedio general una reducción de los consumos de 550-700 lts de gas-oil/ha a 100 120 lts/ha.

Si bien en el items combustible existe una reducción apreciable, no se da en lo que respecta a las reparaciones, donde en los sistemas de impulsión y "baletones" (canales elevados) poseen un mayor mantenimiento que el sistema con perforación.

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES FINALES

Si bien los resultados presentados son de una situación, el proyecto continúa realizando las mediciones en distintos suelos y se prevé extender el método de las macetas en distintas condiciones de manejo, dichos resultados confirmarán las conclusiones parciales que se presentan en este trabajo, por lo que si bien no es posible una generalización a nivel regional y/o

zonal, pero si tiene el valor de ser las primeras mediciones de este tipo en el país.

La eficiencia de conducción del agua desde la fuente de aprovisionamiento es muy baja. Las conducciones utilizadas no son permanentes, debido a la rotación que se realiza del arroz con praderas. Es por ello que los mismos presentan problemas constructivos relacionados con las restricciones que se imponen para el manejo de la ganadería.

En el caso analizado, las pérdidas de agua aforadas desde la bomba hasta el ingreso al potrero bajo riego oscilaron en valores promedios cercanos al 25 % del caudal original. Los bulbos de humectación medidos en los pozos de observación, hasta distancias mayores a 20 metros, muestran incrementos de la humedad por efecto del riego.

El manejo de los caudales de drenaje de las taipa producen pérdidas que se estiman en un 3%. Otra pérdida de importancia la constituye el hecho de mantener los niveles de agua en la parcela hasta muy cercano el momento de cosecha, con valores del orden del 5% del caudal total utilizado.

La Lámina necesaria para saturar el perfil del suelo (ver fig n°4), hasta la profundidad investigada (1.80 m) resultó altamente dependiente del tipo de labranza realizada. En el caso de Siembra Directa se determinó una pérdida de agua en percolación del 11.5 % y para Labranza Convencional del 6,8 % .

Se obtiene una eficiencia riego en la utilización del agua del 80.5 y del 85.2 %, para ambos sistemas de labranza.

Estos resultados concuerdan con las mediciones de capacidad de infiltración realizadas al comienzo del ensayo en ambas labranzas, antes de la inundación por parte del riego del arroz. Las medición en Siembra Directa resultó en una Lámina Acumulada un 60% superior a la de la Labranza Convencional (ver fig n°5).

La Eficiencia Total del Riego es del 60.3 % para la labranza en siembra directa y del 63.9 % en labranza convencional.

La dotación de combustible utilizada para el Potrero en el que se realizaron los ensayos fue de 554.1 lt/ha. Ello significa que efectivamente para los distintos ensayos: 31 has. de Siembra directa y 30 has. de siembra convencional los volúmenes de agua utilizados, en las 2100 horas de bombeo a un caudal promedio de 384 m³/hora resultó de 806.400 m³, lo que equivale a una dotación de 13219.6 m³/ha, equivalente a un consumo de una lámina de 1321.9 mm. Lo que equivale a un caudal de ficticio continuo de 1,8 lt/seg/ha, a lo que hay que adicionar las lluvias del período, que ascendieron a 478.9 mm, lo que lleva a un total de 1800.8 mm, y a un caudal de 2,4 lt/seg/ha, incluyendo las pérdidas por escurrimiento superficial de las láminas incorporadas por las

precipitaciones.

Respecto al análisis de porcentuales de los costos podemos concluir que queda demostrado la alta conveniencia del uso del agua superficial sobre el subterráneo (desde el punto de vista económico) y el mismo es del orden de 9.5 % en el total de los costos de producción.

Y que de ese esquema aún podemos plantear a nivel de potrero una mejora de aproximadamente un 40 %, tomando como principal items a controlar las conducciones que se llevan consigo una pérdida del 25%.

Dada la importancia que reviste la eficiencia de conducción de los canales arroceros, se propone trabajar sobre las distintas técnicas constructivas, geometría, tiempo de construcción, etc, que permitan aconsejar medidas correctivas, evaluándose el impacto sobre la eficiencia de conducción (rugosidad, vegetación, geometría, etc.)

Se propone realizar ensayos de avance de la lámina de mojado en las situaciones de siembra directa y convencional, para poder determinar la superficie óptima de una taipa de riego en función del caudal de bombeo de la bomba utilizada y de esta manera reducir los caudales de mojado.

Fig No 2

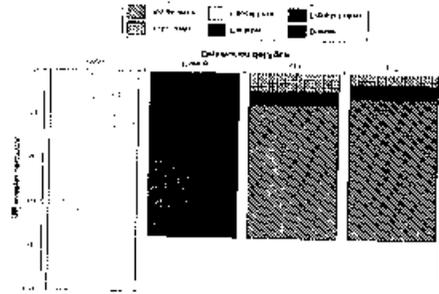


Fig No 3

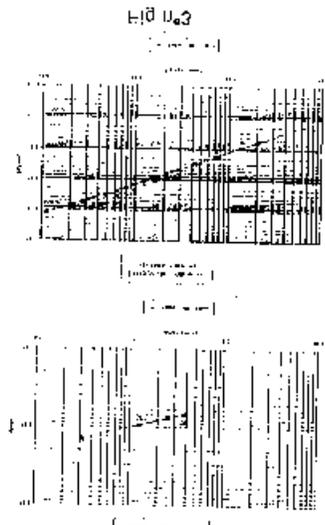


Fig No 4



Fig No 6

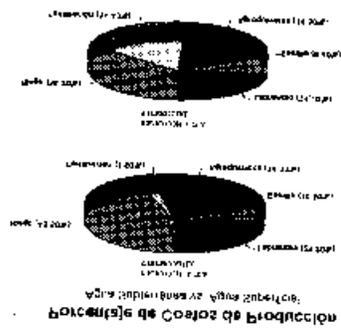


Fig No 7

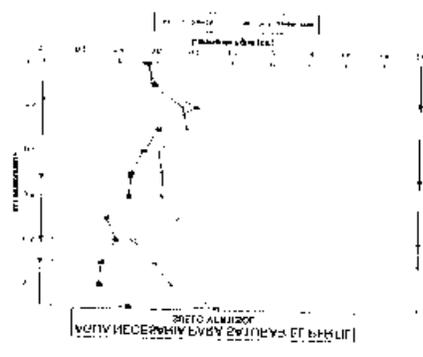


Fig No 5

