

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**LA NIVELACIÓN DE TERRENOS EN SISTEMAS DE RIEGO POR  
ASPERSIÓN TIPO AVANCE FRONTAL. CASO P.P VILLA ACUÑA,  
DEL MUNICIPIO DE TORREÓN, COAHUILA.**

**por**

**JOSÉ ALONSO VILLALOBOS ESTUDILLO**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER  
EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**LA NIVELACIÓN DE TERRENOS EN SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN  
TIPO AVANCE FRONTAL. CASO P.P VILLA ACUÑA, DEL MUNICIPIO DE  
TORREÓN, COAHUILA.**

**TESIS**

TESIS DEL C. **JOSÉ ALONSO VILLALOBOS ESTUDILLO** QUE SE SOMETE A LA  
CONSIDERACIÓN DE LOS ASESORES COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**APROBADA POR:**

  
**M.C. CARLOS EFREN RAMÍREZ CONTRERAS**  
**ASESOR PRINCIPAL**

  
**ING. GERARDO DELGADO RAMÍREZ**  
**ASESOR**

  
**ING. ROLANDO LOZA RODRÍGUEZ**  
**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN  
DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
UNIDAD LAGUNA

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" UNIDAD LAGUNA

## DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

LA NIVELACIÓN DE TERRENOS EN SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN  
TIPO AVANCE FRONTAL. CASO P.P VILLA ACUÑA, DEL MUNICIPIO DE  
TORREÓN, COAHUILA.

### TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

### INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

#### APROBADA POR:

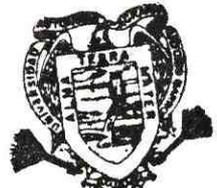
  
M.C CARLOS E. RAMÍREZ CONTRERAS  
PRESIDENTE

  
ING. GERARDO DELGADO RAMÍREZ  
VOCAL

  
M.C FEDERICO VEGA SOTELO  
VOCAL

  
M.C JOSÉ G. GONZALEZ QUIRINO  
VOCAL SUPLENTE

  
ING. ROLANDO LOZA RODRÍGUEZ  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



COORDINACION DE LA DIVISION  
DE CARRERAS AGRONOMICAS  
11 A A A N U E

# CONTENIDO

## PÁGINA

Dedicatorias .....	i
Agradecimientos .....	ii
Índice de Cuadros .....	iii
Índice Figuras .....	iv
Anexos .....	v
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	3
III. HIPÓTESIS .....	3
IV. METAS .....	3
V. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
5.1 Lateral Móvil .....	4
5.1.2 La toma de agua y la energía .....	5
5.1.2.1 Toma de hidrante .....	6
5.1.3 El alineamiento .....	6
5.1.4 Ejecución del riego .....	6
5.1.4.1 Aspectos estructurales .....	7
5.1.5 La tubería porta emisores .....	7
5.1.6 Sistema eléctrico automatizado .....	7
5.1.7 Alineamiento eléctrico .....	8
5.1.8 Emisores .....	8
5.2 Uniformidad de riego con equipos laterales .....	9
5.3 Descripción del riego .....	10
5.3.1 Variación del caudal emitido y la pluviometría a lo largo del lateral .....	10
5.4 Topografía del terreno .....	11
5.4.1 El método del contorno o la curva de nivel .....	13
5.4.2 El método del centroide .....	13
5.4.3 El método del perfil .....	14

	<b>PÁGINA</b>
5.4.4 Grados de Nivelación .....	14
5.4.4.1 Nivelación de Primer Grado .....	15
5.4.4.2 Nivelación de Segundo Grado .....	15
5.4.4.3 Nivelación de Tercer Grado .....	15
5.4.2 Método de Kriging .....	17
5.4.3 Surfer .....	18
5.5 Muestreo de humedad .....	18
5.5.1 Contenido de humedad en el suelo .....	18
5.5.1.2 Infiltración de agua en el suelo .....	20
VI. MATERIALES .....	21
6.1 MATERIALES .....	21
6.1.1 Localización Geográfica .....	21
6.1.2 Clima .....	21
6.1.2.1 Temperatura .....	21
6.1.4 Infraestructura, Superficie y Patrón de Cultivo .....	23
VII. METODOLOGÍA .....	23
7.1 Cuadrícula del terreno .....	23
7.2 Levantamiento topográfico .....	24
7.3 Proceso datos .....	24
7.4 Trazado de bordos .....	24
7.5 Nivelación con rayo láser .....	25
7.6 Verificación de la nivelación .....	25
7.7 Muestreo de humedad .....	26
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	27
8.1 Proceso de datos .....	27
8.2 Muestreo de humedad .....	28

8.3 Lamina promedio por lamina .....	32
8.4 Eficiencia global del sistema de riego tipo avance frontal de la P.P Villa Acuña .....	32
8.5 Rendimiento del cultivo (maíz) .....	33
IX. CONCLUSIONES .....	34
X. BIBLIOGRAFÍA .....	35

# DEDICATORIA

## **A mi Dios:**

Por concederme la oportunidad de lograr una meta más, por tantas cosas buenas y maravillosas de la vida que me brinda, por la vida misma que el me dio. Porque gracias a él estoy por concluir una etapa de mi vida y pidiéndole me lleve siempre a prestar ayuda a mis semejantes y principalmente dar amor y seguir superándome.

## **A mi Madre:**

A ella en especial dedico este trabajo, por ser el más grande apoyo que he conocido en mi vida, por las alegrías que siempre me brinda y por darme la herencia que jamás hubiese logrado sin tu apoyo: el amor a la vida, amor al trabajo y sobre todo el amor a mi Dios. Gracias MAMÁ.

## **A mis Hermanos:**

Edgar Martín, Yina Amparo, Exal Jesús y Francisco Javier.

Con profundo cariño y respeto, por su gran apoyo e inmenso amor en todos los momentos de mi vida y por su valiosa ayuda en la formación de mi carrera profesional, GRACIAS.

## **A mis Abuelos:**

Alvaro Estudillo Tapia (+)

Amparo Nepomuceno Ruíz

Por ser padre y madre para mí, especialmente a mi abuelo porque haya en el cielo se que esta celebrando lo que el un día soñó. Gracias abuelo.

## **A mi Novia:**

Tania Marisol Montoya Villalba por la gran paciencia y apoyo durante este tiempo.

## **A todos mis compañeros:**

De la XXX generación de Ingenieros agrónomos especialistas en irrigación: Antonio, Daniel, Ricardo, Rene, Octavio, Edgar, Rolando y Fabián, por darme el apoyo necesario para culminar mis estudios.

## AGRADECIMIENTO

A dios primero por darme la oportunidad de vivir, por enseñarme el camino correcto para ser un hombre de bien.

A mi "ALMA MATER" por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios profesionales.

Al M.C Carlos E. Ramírez Contreras por su dedicación en la colaboración, asesoramiento y revisión del presente trabajo.

Al Ing. Gerardo Delgado Ramírez por su gran ayuda en la revisión de este trabajo y por su sugerencia para la terminación del mismo.

Al Ing. Federico Vega Sotelo por su gran ayuda en la revisión de este trabajo y por su sugerencia para la terminación del mismo.

Al Ing. José G. González Quirino por su gran ayuda en la revisión de este trabajo y por su sugerencia para la terminación del mismo.

Al Ing. Rolando Loza Rodríguez y familia por todo el apoyo incondicional que me brindaron durante mi estancia en la universidad.

A mi padrino, el Sr. José Luis Ramos por darme los ejemplos necesarios para salir adelante.

A la Asociación de Agricultores de la Región Lagunera del Estado de Durango por brindarme todo el apoyo y material necesario para la elaboración de este trabajo.

A todo el personal y los ingenieros del Programa de Transferencia de Tecnología Integral en Riegos (PROTTIR-COAHUILA) por su apoyo y su amistad.

A mis compañeros de trabajo: Gabino, Moisés, Rene, Bogart, Manuel A., Edgar, Rolando, Octavio, Armando, gracias por su gran amistad y su valioso apoyo.

A la C. Patricia Ruvalcaba por brindarme su más sincero apoyo durante mi estancia en la universidad.

A todos mis maestros del departamento de riego que contribuyeron en toda mi formación académica.

A Todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron para que yo logrará uno de mis más grandes sueños.

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1. Lamina acumulada antes y después de la nivelación de la línea 1 .....	29
Cuadro 2. Lamina acumulada antes y después de la nivelación de la línea 2 .....	30
Cuadro 3. Lamina acumulada antes y después de la nivelación de la línea 3 .....	31
Cuadro 4. Laminas promedio por línea en cm .....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Fig 1. Distribución de la toma de puntos en el terreno de estudio .....	23
Fig. 2 Trazado de los bordos en las curvas de nivel obtenidas por el programa surfer del cuadrante en estudio .....	27

## I. INTRODUCCIÓN

El elevado porcentaje de aridez del territorio nacional y la insegura dependencia del ciclo hidrológico en regiones áridas y semiáridas, hacen del agua un recurso muy valioso. El riego es un suplemento de la precipitación natural, principalmente en áreas donde la precipitación media anual es menor de 250 mm, por lo que el riego es la única fuente de suministro de agua para la producción agrícola.

En la Pequeña Propiedad Villa Acuña se presentan problemas con el manejo del agua con respecto a su aplicación, los cuales repercuten en un bajo aprovechamiento del sistema de riego y por consiguiente bajo rendimiento en la producción.

Los sistemas de riego automatizados tienen una alta eficiencia (80-95 por ciento, IMTA 2000) y vienen a subsanar los problemas que se tienen en cuanto a la aplicación del agua; sin embargo, cuando no son utilizados adecuadamente implican un costo mayor con respecto a otros sistemas de riego. En la P.P Villa Acuña se tiene establecido un sistema de riego automatizado tipo avance frontal que riega una superficie de 45 hectáreas y que presenta problemas en su operación.

En 1996, el gobierno federal implemento el programa "Alianza para el Campo" el cual pretende una mejor tecnificación del campo mexicano. Con dicho programa se beneficiaron 5,369 productores de la Región Lagunera de Coahuila y Durango, (FIRCO, 2002).

El actual gobierno implementó en el 2001 el programa denominado "Tecnificación de la agricultura de riego por bombeo" el cual pretende subsanar todos los problemas que se están presentando con respecto al uso y manejo del agua, dichos problemas se han resuelto parcialmente en la Comarca Lagunera a través del Programa de Transferencia de Tecnología Integral en Riegos (PROTTIR), generado por

lo agricultores de la Cámara Agrícola y Ganadera de Torreón, (Revista Agropecuaria Laguna, Septiembre 2001).

La transferencia de tecnología se desarrolla a través de la aplicación de diversas acciones como son: diagnóstico, diseño de tecnologías, implementación y seguimiento. Es un proceso que va desde la identificación de opciones, hasta su adopción por parte de los beneficiarios. A la fecha, en la Pequeña Propiedad Villa Acuña se ha aplicado el PROTTIR con buenos resultados pero que adolecen de una evaluación estricta o científica tal, que permita al propietario dar un salto de calidad en el uso y manejo del agua.

Con este trabajo se pretende llevar a cabo una investigación productiva mediante el buen uso de un sistema de riego automatizado tipo Lateral Móvil, crear y proponer diferentes alternativas para incrementar la eficiencia global del uso y manejo del agua, así como aumentar la productividad en función de dichas eficiencias.

La presente investigación es el resultado parcial del proyecto "Modelo Matemático para el Pronóstico de Eventos Meteorológicos para el Manejo del Agua en un Sistema Agropecuario", financiado por el CENID-RASPA-INIFAP y bajo la responsabilidad el M.C Carlos Efrén Ramírez Contreras.

## **II. OBJETIVO.**

Incrementar la productividad de un sistema de riego tipo avance frontal mediante el uso eficiente del agua y la energía.

## **III. HIPÓTESIS.**

Mediante la nivelación del terreno es posible incrementar la productividad en un sistema automatizado de riego tipo avance frontal.

## **IV. META.**

Comprobar la productividad del sistema con respecto a acciones realizadas en un ciclo agrícola.

## V. REVISIÓN DE LITERATURA

### 5.1 LATERAL MOVIL

Los primeros sistemas de riego autopropulsados fueron desarrollados en Nebraska, Estados Unidos, en 1948. Desde ese momento, se han mejorado constantemente los equipos hasta llegar a los actuales sistemas de movimiento lateral, (Valley Valmont Company, 2002).

Estos equipos de riego han experimentado una gran expansión en los últimos años debido a los siguientes factores:

1. Se obtiene una alta eficiencia de aplicación de agua que pueden alcanzar si son bien utilizados;
2. Un alto grado de automatización que los caracteriza, con lo que se disminuyen las labores respecto a otros métodos de riego;
3. Una alta capacidad para aplicar agua y nutrientes solubles en una amplia gama de suelos, cultivos y condiciones topográficas.

Los sistemas de riego autopropulsado consistente en un lateral único, montado sobre torres, que gira en forma lineal, regando una superficie en forma de triángulo o rectángulo, uno de los extremos del lateral está anclado a una estructura de soporte central, la que también supe de agua al equipo. El otro extremo, en tanto, se mueve libremente en forma circular al mismo tiempo que aplica el agua (Tartuelo, 1999). El agua es conducida a través de la estructura del Móvil y entregada al cultivo mediante aspersores de tamaño variable, más pequeños al centro y más grandes hacia la periferia del equipo, donde la velocidad de avance es mayor. El conjunto formado por tuberías, estructura y aspersores entre dos torres se denomina tramo y varía entre 30 y 50 metros de longitud. Cada torre cuenta con un motor y grandes ruedas que permiten su avance. Al final del equipo, después de la última torre, se encuentra una tubería de

menor diámetro, suspendida por cables, denominada voladizo, en cuyo extremo se ubica un cañón de riego (aspersor gigante), lo que permite aumentar el radio mojado y, por ende, el área de riego. Adicionalmente, algunos equipos cuentan con un sistema de esquina que contribuye a aumentar, aún más, la superficie mojada, (De Santa O, 1999). Para instalar equipos de este tipo se necesitan conocer sus características técnicas, condiciones edafoclimáticas y requerimientos hídricos de los cultivos que serán regados. Además, es fundamental conocer la cantidad y calidad del agua disponible, para asegurar el buen funcionamiento de los equipos, (Martín y Kranz, 1999).

Antes de decidir la adquisición de equipos laterales de avance frontal, el agricultor debe realizar un análisis económico adecuado. Esto implica hacer una evaluación del proyecto, comparando la situación actual (sin proyecto) y la situación con proyecto (donde se cuenta el lateral), (Valmont Valley Company, 2001).

En este análisis, son muy importantes los supuestos que se hagan y, en especial, los relacionados con la productividad esperada tras la incorporación de riego tecnificado, puesto que los efectos no son los mismos para diferentes condiciones de suelo o clima. Esto quiere decir que, si tenemos un suelo de mala calidad (problemas topográficos, baja capacidad de retención de humedad, poca profundidad) y que sometido a condiciones de riego normal produce bajos rendimientos, al tecnificar lograremos un aumento productivo importante (Lackas et al, 2001).

Por otra parte, en suelos de buena calidad (profundos, sin problemas topográficos y con buena capacidad de retención de humedad), es probable que sin tecnificar el riego se estén logrando buenos rendimientos y que al instalar los equipos de riego, éstos mejoren, (García y Briones, 1997).

### **5.1.2. Toma de agua y energía del avance frontal**

Al tratarse de una toma de agua móvil se dispone básicamente de dos soluciones:

### **5.1.2.1. Toma de hidrante.**

La toma de hidrante consta de una manguera de 115 o 165 m de longitud con diámetro de 140 ó 160 mm, que es conectada en hidrantes instalados de 200 a 300 m. Esta toma posee la desventaja de estar alerta del equipo para realizar los cambios de manguera a la mitad de distancia entre hidrantes.

### **5.1.3. Alineamiento.**

Es importante que las torres avancen siguiendo siempre la misma línea. Este avance rectilíneo y perpendicular a la línea de alimentación de agua puede hacerse por varios sistemas:

1. Un cable enterrado y una antena que recibe señal de radio. El tramo central del lateral va unido rígidamente a las torres, mientras que los demás tramos sólo van rígidamente unidos a una. Cuando ese tramo deja de estar perpendicular al cable guía manda orden a alguna de las torres extremas para que reduzca su velocidad y se alcance de nuevo el alineamiento.
2. Cable tendido a 50 cm del suelo a lo largo de la línea de alimentación, y que lleva abrochados dos palpadores unidos al carro.

### **5.1.4. Ejecución del riego.**

Para obtener una buena uniformidad de aplicación del agua es importante controlar el alineamiento y especialmente la velocidad de avance del sistema, sobre todo en sistemas de baja presión que tienen poca anchura mojada y alta pluviometría.

Los resultados obtenidos por Howel et al (1983), indican que el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen cuando el sistema está quieto, son superiores al 98%. Sin embargo, cuando el sistema avanza mientras riega, el Coeficiente de Uniformidad es del 90%.

#### **5.1.4.1 Aspectos estructurales**

- ⊕ La separación entre torres varía entre 25 y 75 m, aunque las más frecuentes son de unos 38 m (tramo corto) y 50 m (tramo largo)
- ⊕ Los equipos de tramo largo son normalmente más económicos (menos torres), pero se adaptan peor a ondulaciones del terreno y al transmitir más peso hay mayores posibilidades de atascos.
- ⊕ Las longitudes del lateral van de 60 a 800 m. La inversión por hectárea regada, disminuye al aumentar la longitud del equipo, pero el costo de aplicación de agua, teniendo en cuenta todos los gastos, permanece constante a partir de 50 o 60 has regadas (al crecer mucho el costo energético).

#### **5.1.5. Tubería porta emisores.**

- ⊕ La tubería depende de las necesidades del cultivo y de la superficie a regar. Deber ser sólida, para soportar el vano y resistente a la corrosión, pues a veces se aplican abonos y fitosanitarios en el agua.
- ⊕ Los diámetros nominales de tubería (exteriores) suelen ser 4 ½ "; 5 9/16 "; 6"; 6 5/8"; 8"; y 10" (entre 114mm y 254mm). En laterales de gran longitud (más de 500 m) a veces se usan dos diámetros. El diámetro de 4 ½ " se usa en longitudes menores de 300m (minipivotes).

#### **5.1.6. Sistema eléctrico automatizado.**

El sistema eléctrico esta formado por un cuadro de control, maniobra y un colector de anillos rozantes, que se localizan en la parte inicial del avance frontal, los cables conductores de tramo y las cajas de control de torres.

El cuadro central controla:

⊕ Velocidad de desplazamiento, y sentido de avance, arranque- realineación, parada en una posición y conmutador sectorial, que permiten regar un sector circular, funcionamiento coordinado de bomba y pivote, de forma automática, o arranque desde la estación de bombeo.

- El colector realiza las conexiones eléctricas entre las partes móviles y las fijas.
- Los mecanismos de seguridad se centran sobre todo en parar el equipo cuando se supera un cierto ángulo entre tramos.

#### **5.1.7. Alineamiento eléctrico.**

Para mantener esto el lateral se dispone de un mecanismo de alineamiento, que arranca o para el avance de cada torre conductora mediante un contacto eléctrico, cuando los dos tramos que concurren en la torre forman un ángulo de unos 20°, el avance de la unidad conductora extrema produce una reacción en cadena de avances. También existen mecanismos que paran el sistema cuando la última torre (que es la de control) patina.

#### **5.1.8. Emisores.**

- Pueden ser de tres tipos: Aspersores giratorios, toberas pulverizadoras y cañones de extremo. La intensidad y uniformidad de lluvia que proporciona el lateral depende del:
  - ⊕ Tipo de emisor, espaciado en la tubería, presión en las boquillas y tamaño de las boquillas.

Existen tres modelos fundamentales de aplicación del agua que se diferencian en el tipo de emisor, su disposición a lo largo del lateral y el diámetro de alcance de cada emisor, pudiendo conseguir con todos ellos una distribución uniforme, tales modelos de aplicación del agua son los siguientes:

1. Sistema con aspersores de tamaño creciente desde el centro del pivote al extremo, que funcionan con alta presión (más de  $3 \text{ Kg/cm}^2$ ), con anchura mojada en el extremo entre 35 y 50m.
2. Sistemas con aspersores de tamaño medio, pero con menor espaciamiento a medida que se aproximan al extremo, que trabajan a media presión ( $2-3 \text{ Kg/cm}^2$ ), con anchura mojada en casi todo el lateral entre 20 y 30m.
3. Sistemas con tobera pulverizadoras que trabajan a baja presión ( $0,7-1,7 \text{ Kg/cm}^2$ ). Su separación disminuye al acercarse al extremo y la anchura mojada es de 6 a 15m en todo el lateral.

En resumen, podemos decir que si bien los equipos de riego de ramales desplazables son buenos en muchas situaciones, no siempre son la mejor alternativa para solucionar los problemas de riego de los agricultores. Por ello, conviene tener en cuenta de manera permanente la información técnica, agronómica, edafoclimática y económica antes de decidir como regar, (<http://www.inia.cl/>).

## **5.2 UNIFORMIDAD DE RIEGO CON EQUIPOS LATERALES**

La uniformidad que se suele manejar en sistemas de riego con avance frontal van del 70 al 88% dependiendo del tipo de cultivo y del sistema radicular del mismo. Pueden sobrepasar el 90% cuando los vientos son flojos y el terreno tiene un relieve regular, (Rojas Peña, 2000).

Para Zanz et al (1998) mencionan que los sistemas autopropulsados tienen ciertas ventajas frente a los estacionarios en cuanto a los efectos distorsionadores del viento ya que:

- ⊕ El lateral ocupa infinitas posiciones en su recorrido, compensándose en parte las distorsiones entre riegos sucesivos.
- ⊕ El espaciamiento de emisores en el lateral es bastante pequeño, con un gran solapamiento entre ellos.

Pizarro (1996), mencionan también que así como algunos factores que distorsionan la uniformidad de reparto tienden a compensarse en los sucesivos riegos, otros tienden a acentuarse cada vez más como son:

- ⊕ El funcionamiento defectuoso de algún aspersor, las diferencias en las condiciones de funcionamiento de los aspersores por cambios de elevación, la existencia de escorrentía y la mala distribución del agua en los bordes.

## **5.3 DESCRIPCIÓN DEL RIEGO.**

### **5.3.1 Variación del caudal emitido y la pluviometría a lo largo del lateral.**

La pluviometría descargada por el equipo en cada punto de la tubería viene determinada por el tamaño de la boquilla, la presión de la misma, el espaciamiento entre emisores, la distancia al origen y el tipo de emisor empleado. Una vez que se fija eso, la pluviometría en cada punto a lo largo del ramal no varía ni al cambiar la velocidad de rotación. Cuando se varía la velocidad lo único que cambia propiamente es la dosis, es decir la duración de la aplicación de agua sobre un punto del terreno (la cantidad de agua aplicada), (Hoffman et al, 1990).

El caudal que tiene que repartir el equipo de avance frontal puede calcularse como el cociente entre el volumen a descargar en un día y el tiempo utilizado para ello mediante la expresión:

$$Q_o = 0.116 \frac{N.A}{Ea.Fd} \quad (1)$$

$Q_o$ = Caudal que entra al equipo (lps).

$N$ = Necesidades críticas del cultivo (mm/día o lts/m<sup>2</sup>).

$A$ = Área regada (ha).

$Fd$ = Fracción del día que funciona el equipo (adimensional).

$Ea$ = Eficiencia de aplicación (decimal).

#### 5.4 TOPOGRAFÍA DEL TERRENO.

La nivelación de tierras es uno de los requisitos esenciales para cualquier desarrollo agrícola moderno. En donde la nivelación es necesaria, generalmente ésta no solo es benéfica para el riego superficial, sino también para el riego por aspersión. Además, con frecuencia la nivelación se pagará por si sola, porque facilita una siembra uniforme y hace que la cosecha y todas las labores agrícolas sean más fáciles y más efectivas. Generalmente puede hacerse un buen trabajo de nivelación con un movimiento de tierra relativamente pequeño, sin tener que interferir con las pendientes predominantes, limitando la mayor parte del terreno a corta o rebajar puntos altos y a rellenar partes bajas. Cortes y rellenos en cada unidad de nivelación tiene que ser balanceado, permitiéndose hacer un 20% más de corte que de relleno, ( Zimmerman, 1991) .

El objetivo de la nivelación de tierras para riego consiste en la modificación del relieve de la superficie del campo a un plano con pendiente uniforme en una o en las dos direcciones del área, lo anterior tiene como fin el de proveer una superficie

adecuada que permita obtener una eficiente aplicación del agua de riego. Este trabajo bien realizado proporciona los siguientes beneficios:

- a) Un control eficiente del agua que se logra al determinar una distribución uniforme.
- b) Un mejor drenaje superficial, este factor es importante en regiones húmedas.
- c) Menor erosión del suelo y pérdidas de la fertilidad por tratar de mejorar el control del agua de riego.
- d) Un uso más eficiente del agua de riego, al tener una mejor eficiencia se permite regar mayor superficie con una disponibilidad de agua limitada.
- e) Operación más eficiente de la maquinaria agrícola

Los métodos de cálculo para la nivelación de tierras que han mostrado ser los más convenientes y económicos son:

1. El método de contorno o curva de nivel, aplicado especialmente para la planeación general y para zonas que tienen direcciones de la pendiente claramente definidas.
2. El método del centroide, aplicable para una topografía ondulada o en donde los contornos son muy complicados para manejo directo.
3. El método del perfil, para nivelar fajas individuales estrechas.

Sin embargo, el mejor método generalmente es aquel con el que esté un operador familiarizado y que pueda hacerse puramente en forma mecánica. Si el operador tiene un dominio completo de un método, debe apegarse al mismo. Para la planeación general del riego y para la planeación preliminar de la nivelación, el método del contorno es sin embargo indispensable, (Stalling, 1990).

#### **5.4.1. Método del contorno o la curva de nivel.**

El método de cálculo para la nivelación de tierras siguiendo el contorno es más conveniente y económico y resulta especialmente adaptable para la nivelación y diseño de un trabajo de nivelación en gran escala. El diseñador puede advertir lo que está haciendo y puede utilizar su criterio para ajustarlo rápidamente y en forma económica a la topografía, con el objeto de cumplir su objetivo, (Stallings, 1990).

En este caso se necesita, un plano topográfico con las curvas de nivel preferiblemente marcado con una cuadrícula estacada de puntos o cotas de nivelación. El diseñador puede fácilmente cambiar la topografía existente a sus necesidades, superponiendo sobre ella los contornos o curvas que quiera. El puede ajustar los cortes y rellenos necesarios por inspección visual, balanceando las áreas superficiales que presentan corte con aquellas que presentan relleno. Estas son las áreas limitadas entre las curvas de nivel nuevas y las existentes de la misma cota. De las áreas superficiales así delineadas, aquellas arriba del nuevo contorno representan relleno, y aquellas abajo del mismo representan corte. Para facilitar los cálculos, la zonas de corte y de relleno se aíslan una de otra por medio de curvas trazadas que combinan los puntos de influencia entre los contornos antiguos y los nuevos. Esta línea se llama línea recta de cero corte y relleno, (Stallings, 1990).

#### **5.4.2 Método del centroide.**

El método del centroide para el cálculo de la nivelación de tierras es especialmente aplicable a un terreno plano, pero ondulado, que no tengan una dirección bien definida de la pendiente. Este método no necesita ni topografía ni plano a escala. El campo que va a nivelarse se divide en partes separadas de nivelación y se estaca en un distribución de cuadrícula que lo divide en cuadros iguales y que en algunas zonas representan una parte del área total del cuadro. Las líneas de estacas deben colocarse a lo largo de la dirección del riego. La elevación en el nivel de terreno de cada estaca representan la elevación promedio de la unidad o de parte de la unidad

que inmediatamente lo rodea, (Stallings, 1990).

### **5.4.3. Método del perfil.**

El método del cálculo del perfil es aplicable para nivelar fajas y bordos de bancales y para emparejar la pendiente cuando no se intenta que haya uniformidad en todo el campo, porque las tiradas del riego corren en el sentido de la pendiente dominante, ( Zimmerman, 1991).

Para la zona nivelada con este método deben fijarse líneas de estacas a lo largo de la dirección de la tirada del riego. Las distancias entre estacas y sus elevaciones se representan después en perfiles en papel para gráficas. La línea de perfil existente balanceándose a ojo (cortes y rellenos). La distancia vertical entre el perfil nuevo y el antiguo puede leerse directamente en la gráfica, representa la profundidad de corte o de relleno. La distancia arriba del nuevo perfil representa al corte y la que va abajo representa al relleno, (Zimmerman, 1991).

Se mencionan también el manejo de la nivelación como son:

### **5.4.4. Grados de Nivelación.**

Normalmente en la nivelación de las áreas de cultivo se requiere de mover una gran cantidad de tierra determinada sobre cierta superficie. Sin embargo, por condiciones de índole práctico y económico, se ha observado que en ciertos campos, principalmente en terrenos que han sido utilizados bajo condiciones de riego por varios años puede asegurarse un riego eficiente efectuando trabajos de emparejamiento, en estos trabajos solos se emplea el equipo normal del agricultor consistente básicamente en la rastra y niveladora, para eliminar irregularidades menores, diseñando posteriormente un trazo de riego adecuado. Dado que la nivelación de los suelos es una labor costosa es conveniente definir los diferentes grados de trabajos de nivelación que existen, (Kranz, 2001).

#### **5.4.4.1. Nivelación de Primer Grado.**

En la nivelación se encuentran las áreas con una topografía original regular, donde con dos o tres pasos de niveladora se logra una topografía adecuada para efectuar un buen trazo de riego, (Kranz, 2001).

#### **5.4.4.2. Nivelación de segundo grado.**

La nivelación de este tipo se realiza cuando en terrenos con topografía original, cuentan con partes accidentadas altas o bajas, por lo tanto se requiere el empleo de maquinaria para efectuar movimientos de tierra como son las escrepas que permiten eliminar de esta forma las irregularidades y posteriormente con dos o tres pasos de niveladora se logra tener una topografía acondicionada para realizar un adecuado trazo de riego, (Kranz, 2001).

#### **5.4.4.3. Nivelación de tercer grado.**

Las áreas con topografía irregular, que presentan partes accidentadas de consideración, generalmente requieren de un gran movimiento de tierra realizados mediante cortes de regular espesor, por lo tanto es necesario el calculo de cortes y rellenos, así mismo es necesario el empleo de escrepas en todas la superficie, para asegurar una topografía lo mas uniforme posible que permita el trazo correcto del riego. De acuerdo a los grados de nivelación mencionados, puede decirse que los de primer y segundo grado son los métodos mas comúnmente utilizados en el norte y noroeste del país donde la agricultura ha alcanzado la más alta tecnificación, los trabajos realizados en estos casos requieren una inversión mucho menor que para los trabajos efectuados en los de tercer grado, (Kranz, 2001).

Antes de poder iniciar el programa de nivelación de tierras el personal responsable y el agricultor deben estudiar todas las condiciones de campo que se presenten para así decidir la estrategia global que se seguirá hasta concluir con la aplicación del agua de riego. En 1975 Hart propuso cinco pasos generales a seguir para realizar una nivelación, estos se indican a continuación.

1. Se debe retirar del campo toda la vegetación que afecta la buena operación del equipo así como matorrales y arbustos grandes, si el equipo de transporte carga tierra y la traslada a otras áreas para rellenarlas, es preferible no tener suelos de superficies flojas, no obstante cuando esta involucrada un trabajo de emparejamiento o afinación es mejor que el suelo este suave.
2. Determinar la topografía existente, si se utiliza equipo de control manual, es necesario colocar estacas adecuadamente para formar un cuadrulado uniforme, por otra parte si se utiliza equipo controlado por rayos laser solo se requiere medir y registrar el perfil del suelo.
3. La superficie del campo que será modificada debe analizarse con base en el calculo de las pendientes longitudinales y perpendiculares.
4. Los volúmenes de cortes y rellenos se deben calcular sobre la base de a información que marcan las estacas que están formando la cuadrícula con señalamientos respectivos para que los operadores del equipo sepan cuanto hay que cortar y cuando rellenar en cada punto, por otra parte se debe conocer que los trabajos realizados por rayos laser solo necesitan determinar el volumen balanceado de cortes y rellenos.
5. Finalmente en los trabajos de nivelación debe considerarse necesario una verificación del acabado para garantizar que sea ha cumplido con las características del diseño

Existen diferentes métodos o técnicas para determinar la nueva forma del campo, algunos de estos métodos requieren el juicio de expertos. Sin embargo, todos los

métodos de cálculo en los proyectos de nivelación de tierras tienen como objetivo establecer una superficie plana dentro de una área, de forma tal que los cortes y rellenos necesarios para definir el plano de proyecto estén compensados, dentro de estos se tienen:

- ⊕ 1.- El método del plano o mínimos cuadrados.
- ⊕ 2.- El de corte transversal.
- ⊕ 3.- El de perfil de doble sentido.
- ⊕ 4.- Método de Kriging

El método utilizado para la nivelación en este terreno fue el método de kriging:

## **5.5. MÉTODO DE KRIGING.**

El método de interpolación geoestadístico se conoce como Kriging, en reconocimiento al aporte inicial de D.G. Krige. El Kriging es un estimador lineal insesgado. Dentro de su formulación matemática se incluyen dos restricciones básicas, en las que se limita la suma de los errores de estimación a ser cero, y el cuadrado de las desviaciones a ser mínimo. La restricción establecida sobre la varianza de estimación, hace que el Kriging sea el mejor estimador lineal, (<http://www.quantitativa.cl>)

Kriging se basa en la asunción de que el parámetro que es interpolado se puede tratar como variable regionalizada. Una variable regionalizada es intermedia entre una variable verdaderamente al azar y una variable totalmente determinista en que varía de una manera continua a partir de una localización siguiente y por lo tanto los puntos que están cerca de uno tienen cierto grado de correlación espacial, pero los puntos que se separen extensamente son estadísticamente independiente, (Davis, 1986). Kriging es un conjunto de las rutinas de la regresión lineal que reducen al mínimo la variación de la valoración de un modelo predefinido de la covariación, (<http://www.lycos.com>).

Hoy en día la tecnología usada en este tipo de trabajos es muy extensa. Para determinar las elevaciones en el terreno se utilizó un Software computacional el cual grafica a través de mallas Mediante un Modelo Digital de Elevación (MDE). Este programa se llama SURFER.

#### **5.6. SURFER® (Golden Software Inc., 1997).**

Es un programa de computo creado por la empresa Golden Software Inc en 1997. llamado también Modelo de Simulación de terrenos (MSDE, por sus siglas en ingles). Es una herramienta que nos ayuda en la creación de curvas a nivel (isoyetas). El Surfer trabaja a partir de coordenadas tomadas de la hoja de calculo antes mencionada.

Este software utiliza siete métodos de interpolación:

- ⊕ Método de Distancia Inversa a una potencia, método de Kriging, curvatura Mínima, regresión polinomial, funciones radiales básicas, método de Shepard, método de triangulación e interpolación lineal.

#### **5.7. MUESTREO DE HUMEDAD.**

##### **5.7.1 Contenido de humedad en el suelo.**

La humedad del suelo se puede expresar gravimétricamente, con base en la masa, o volumétricamente, con base en el volumen. La humedad gravimétrica es la forma más básica de expresar la humedad del suelo y se entiende por ella la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo. Frecuente mente se expresa como un porcentaje .

La masa del suelo sacada al homo es la masa de suelo puesta en el horno hasta que pierda toda su agua (que no sea agua químicamente ligada) y se mantenga una masa constante. Generalmente esto se logra entre 100 y 110 ° C en 24 horas. En este

estado se le denomina "suelo seco". Esta masa secada al horno se usa como base para calcular el contenido de humedad, (Hillel, 1980).

El contenido de humedad del suelo es muy variable, tanto en tiempo para un mismo punto, como en distancia o profundidad para un tiempo dado. Se dice que el contenido volumétrico de humedad del suelo es, en promedio, alrededor del 25 por ciento del volumen del suelo, pero su rango de variación es desde menos de 5 por ciento hasta más de 45 por ciento, (Hillel, 1980).

El contenido de agua del suelo se puede expresar en tres formas generales:

- a) Contenido volumétrico ( $\theta$ ), que es el volumen de agua contenido en una unidad de volumen de suelo.
- b) Contenido gravimétrico ( $w$ ), que es la masa de agua contenida en un suelo por cada gramo de masa de sólidos.
- c) Lámina de agua ( $d$ ), que es la cantidad de agua presente en un suelo expresado como centímetros (o unidades equivalentes) de agua en un estrato dado de suelo.

El contenido volumétrico puede expresarse como el porcentaje de agua del suelo con respecto al total de éste. El contenido gravimétrico de humedad también puede expresarse en porcentaje y éste indica los gramos de agua contenidos por cada 100 g de masa de sólidos del suelo.

El conocimiento de la lámina de agua contenida en un estrato de suelo es muy útil para el cálculo de las láminas de agua de riego que se deben aplicar a los suelos para llevarlos a capacidad de campo, (Kramer, 1974).

Desde el punto de vista agrícola, es muy importante conocer el contenido de humedad del suelo, ya que esta característica se relaciona directa o indirectamente con todas las funciones que el suelo desempeña en beneficio de las plantas. La capacidad de retención de humedad de los suelos está íntimamente relacionada con la porosidad

y con el diámetro de los poros; éstos, a su vez, dependen de la textura, del contenido de materia orgánica y de otras características del suelo, (Thome y Peterson, 1981).

### **5.7.2 Infiltración de agua en el suelo.**

La infiltración es la entrada vertical (hacia abajo) del agua en el perfil del suelo. El conocimiento de la infiltración es importante para seleccionar y diseñar el sistema de riego adecuado para un suelo. El conocimiento de la infiltración permite evaluar la lluvia efectiva infiltrada y el escurrimiento causado por la misma, así como el tiempo de estancamiento del agua sobre la superficie del suelo, (Cahoon, et al).

## **VI. MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **6.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.**

El área de estudio se encuentra ubicada dentro del Municipio de Torreón Coahuila; carretera Torreón - Matamoros; La Pequeña Propiedad a evaluar se encuentra cerca al ejido la Partida Coah. Con una longitud de 103° 12' 10", una latitud de 25° 59' 04" y una altitud de 1150 msnm.

### **6.2. CLIMA.**

De acuerdo con el sistema de clasificación de Copen modificado (García, 1973), correspondiente a un BWhw (e) que indica un clima muy seco con lluvias en verano y de 5 a 10.2 mm de precipitación pluvial en invierno.

#### **6.2.1. Temperatura.**

La temperatura promedio en los últimos 20 años es de 20.3 °C, con un máximo de 36.6 °C y un mínimo de 5.7 °C, cada año se presenta un período con posibilidades de heladas que va desde el mes de Noviembre hasta al mes de Marzo (SAGARPA, 2002).

### **6.3. INFRAESTRUCTURA, SUPERFICIE Y PATRÓN DE CULTIVO.**

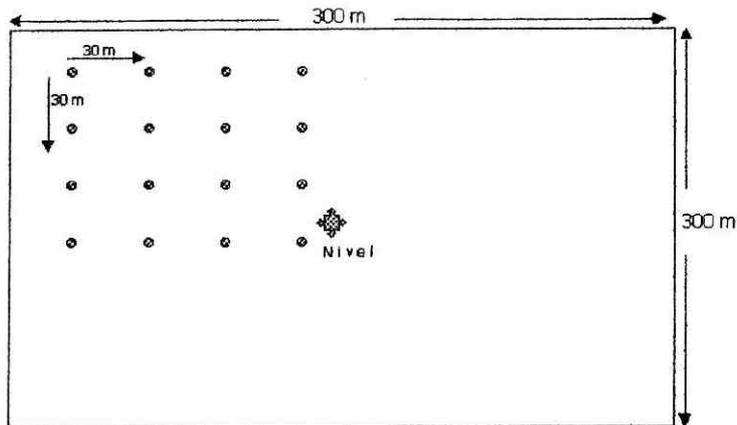
El área de estudio cuenta con una superficie de 60 has, para el establecimiento de cultivos forrajeros. Como infraestructura de riego, cuenta con un estanque revestido con una capacidad de 28,000 m<sup>3</sup> y sistema de movimiento lateral con 5 torres que tiene capacidad para regar 45 has. Este sistema opera a partir de un pozo profundo con un gasto de 51 lps.

## VII. METODOLOGÍA

Para nivelar por sección o banco de nivel, la superficie que abarca el lateral móvil, se deben de realizar las siguientes actividades: cuadrícula del terreno, levantamiento topográfico, proceso de datos, trazado de bordos, nivelación con rayo láser, verificación de la nivelación y muestreo de humedad.

### 7.1 CUADRICULA DEL TERRENO

La cuadrícula del terreno se realiza para facilitar al estadalero la marcación de los puntos. Una de las ventajas de esta práctica es que la distribución de los puntos es más uniforme, además de que ahorra tiempo en la toma de las lecturas. La cuadrícula que se realizó fue de 30 X 30 metros. El terreno es casi plano, es por eso que se tomó este criterio (ver figura 1). Cuando el terreno es accidentado puede reducirse la relación de la cuadrícula. Para esta práctica se utilizó una cinta métrica de lona y un tractor.



**Figura 1. Distribución de la toma de puntos en el área de estudio.**

Cabe mencionar que la cuadrícula utilizada no es una limitante para la toma de datos, ya que el programa SURFER, utilizado en este trabajo, interpola datos con una precisión de 2 metros.

## **7.2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.**

Una vez marcado el terreno se prosigue al levantamiento topográfico. El objetivo de este paso es tomar las lecturas de nivel de la superficie del terreno, para detectar los altos y bajos críticos, en el cual se utiliza un nivel fijo automático marca Nikon y 5 estadales de 2.5 metros de altura.

Es necesario mencionar que todos los datos que se levantan en campo se orientan hacia el norte, (ver anexo 1).

## **7.3. PROCESAMIENTO DE DATOS.**

Tomados los datos, se llevan a la oficina con el objetivo de procesarlos; para este proceso se necesita una computadora y la hoja de cálculo excel para introducir en esta hoja los datos reales tomados en campo. Una vez ordenados los datos en la hoja de excel, se pasan a un software para calcular las curvas a nivel para lo cual, se utiliza el software SURFER, (ver anexo 2)

## **7.4. TRAZADO DE BORDOS.**

La imagen obtenida del programa se analiza y de acuerdo al criterio que se tenga en cuanto a la separación de las curvas de nivel, se trazan los bordos en el papel. Una vez trazados los bordos se va a campo, para llevar a cabo la marcación real en el

terreno. Este proceso se hace con el fin de que el tractorista se ubique hasta donde serán los límites entre una línea y otra; además de que el marcado de bordos ahorra tiempo al tractorista.

En la figura 2 se muestran los resultados obtenidos del programa SURFER, curvas a nivel. Para la creación de la malla (Isoyetas) se utilizó el método de Interpolación Kriging, ya que de acuerdo a la revisión de literatura se menciona como el mejor método estadístico de interpolación.

### **7.5. NIVELACIÓN CON RAYO LÁSER.**

Se nivela cada sección ó terraza con Rayo láser a nivel cero (Transversal y longitudinalmente) y el criterio que utiliza el operador es nivelar a distancias cortas, ya que según su experiencia nivelando a distancias cortas se hace el menor arrastre de tierra y al menor tiempo posible.

### **7.6. VERIFICACIÓN DE LA NIVELACIÓN.**

Cuando ya se trazó y se niveló, se procede a checar la nivelación. El objetivo de este proceso es verificar si realmente se cumplió la nivelación esta a nivel cero. Si en dado caso hay mucha diferencia en cuanto a la variación de los niveles se le recomienda al tractorista que proceda a nivelar otra vez.

Cabe mencionar que este tipo de problemas es muy común cuando se procede a nivelar por algunos de los siguientes factores: Las llantas de la escrepa no están calibradas, los patines de la escrepa pueden estar desajustados, las cuchillas están desgastadas, la torre no esta recta o el cableado eléctrico puede estar dañado.

Una vez verificada la nivelación y comprobar si esta correcta, se le sugiere al productor que el terreno ya esta listo para la siembra.

## **7.7. MUESTREO DE HUMEDAD.**

Se hace un muestreo antes y después del riego a una profundidad de 120 centímetros a estratos de 30 centímetros. Para el muestreo del avance frontal se tomó un criterio de 3 líneas (pata de gallo, por la forma que se sigue), con un total de 5 pozos a una distancia de 30 metros, teniendo un total de 60 muestras.

## VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.

En la Figura 2 se muestran las curvas a nivel, en donde se determinaron siete bordos que delimitan siete secciones de área a nivelar a pendiente cero, en estas áreas se moverán 6 cm de suelo para no destruir la capa arable.

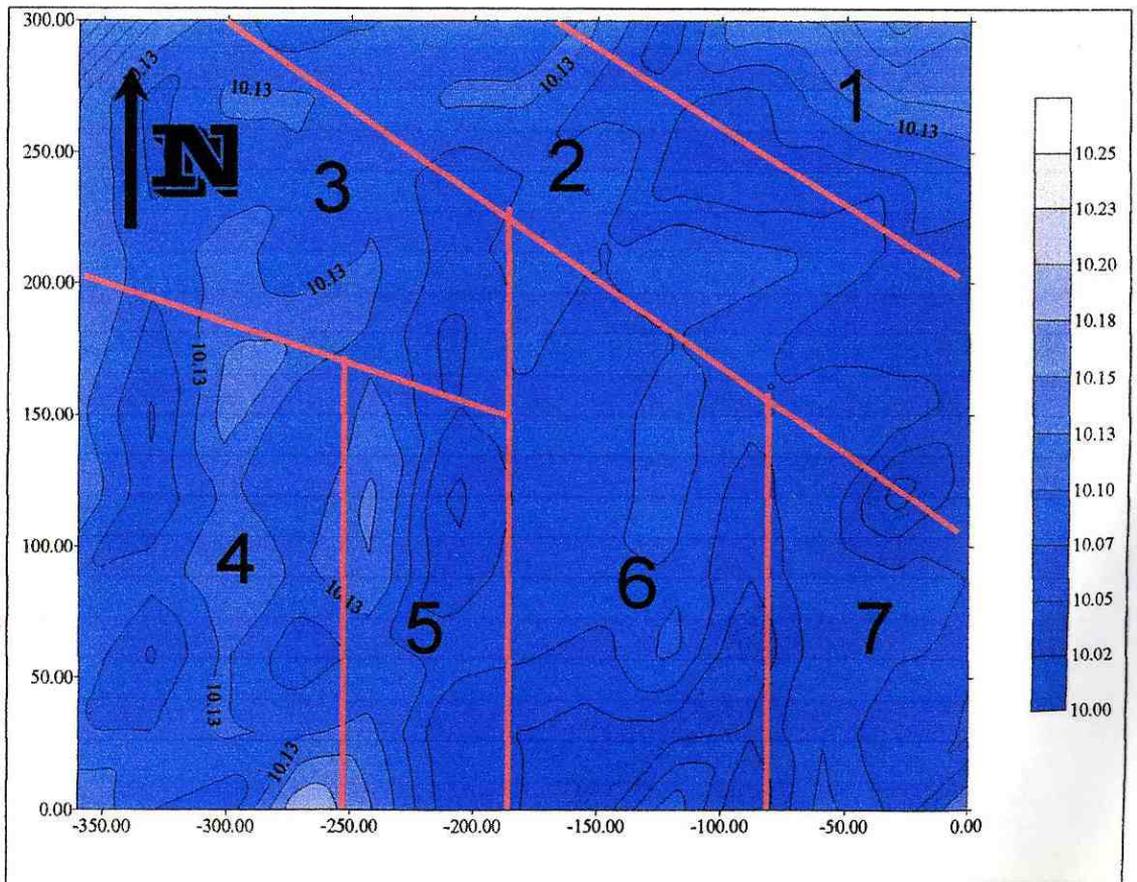


Fig 2. Curvas a nivel y trazado de bordos con el SURFER.

Es necesario mencionar que se utiliza el criterio del mínimo arrastre o movimiento de tierra el cual es menor de 7 cm de acuerdo a USDA, 1990.

## **8.2 MUESTREO DE HUMEDAD**

En el muestreo de humedad realizado se determino la humedad De acuerdo al muestreo realizado, determinamos la distribución de la humedad en el suelo antes y después de la nivelación para calcular la lámina de riego aplicada la cual es de 7 cm por riego (riego de auxilio) y se muestra en el cuadro 1.

Para el hacer el muestreo antes del riego se utilizó la barrena tipo Vehimeyer y para el muestreo después del riego se utilizó la barrena tipo California y se utilizaron jarros de barro para la recolección de las muestras y poderlas secar en un microondas de tal manera que se tenga el valor de la lámina en 15 minutos. Estos resultados se muestran en los cuadros 1, 2 y 3.

La distribución de la lámina de riego antes de la nivelación tuvo un comportamiento heterogéneo, presentando un coeficiente de variación de 36 por ciento. La distribución de la humedad después de la nivelación presentó un coeficiente de variación del 10 por ciento lo que nos indica que la distribución de la lámina de riego a lo largo del lateral fue uniforme.

Cuadro 1. Lamina acumulada antes y después de la nivelación de la línea 1

ANTES DE LA NIVELACIÓN					
No. Torre	Profundidad (cm)	ANTES RIEGO %HUMEDAD	DESPUES RIEGO %HUMEDAD	Lámina/ estrato (cm)	Lámina total aplicada (cm)
1	30	14.4	18.8	1.7	4.4
	60	16.4	19.9	1.3	
	90	8.1	8.2	0.1	
	120	13.4	17.1	1.4	
2	30	15.9	22.7	2.6	4.4
	60	19.4	21.3	0.7	
	90	25.8	27.4	0.6	
	120	24.0	25.4	0.5	
3	30	17.5	21.8	1.6	3.9
	60	21.8	26.1	1.6	
	90	21.7	21.9	0.1	
	120	27.5	29.0	0.6	
4	30	16.5	23.0	2.7	6.9
	60	16.1	20.3	1.7	
	90	15.3	17.3	0.8	
	120	18.9	23.1	1.7	
5	30	15.7	24.1	3.2	4.9
	60	11.8	13.0	0.4	
	90	14.1	15.9	0.7	
	120	12.1	13.7	0.6	

DESPUÉS DE LA NIVELACIÓN					
No. Torre	Profundidad (cm)	ANTES RIEGO % de Humedad	DESPUÉS RIEGO % de Humedad	Lamina / estrato (cm)	Lamina Total Aplicada (cm)
1	30	23.86	30.56	2.613	6.04
	60	22.94	25.61	1.02	
	90	22.73	26.23	1.36	
	120	21.57	24.24	1.04	
2	30	19.18	26.76	2.72	7.18
	60	17.28	24.64	2.64	
	90	18.64	19.61	0.33	
	120	13.04	17.31	1.47	
3	30	13.92	22.03	3.11	6.71
	60	12.68	17.31	1.66	
	90	12.05	14.06	0.69	
	120	10.99	14.58	1.23	
4	30	16.28	21.11	1.88	6.43
	60	12.22	17.46	1.91	
	90	11.83	16.67	1.66	
	120	10.72	13.51	0.96	
5	30	19.12	25.71	2.53	6.08
	60	12.22	17.39	1.98	
	90	10.64	13.3	0.92	
	120	8.45	10.26	0.64	

Cuadro 2. Lamina acumulada antes y después de la nivelación de la línea 2

ANTES DE LA NIVELACIÓN					
No. Torre	Profundidad (cm)	ANTES RIEGO %HUMEDAD	DESPUÉS RIEGO %HUMEDAD	Lámina/ estrato (cm)	LámIna total aplicada (cm)
1	30	13.0	18.2	2.0	4.7
	60	13.3	14.2	0.3	
	90	9.6	14.1	1.7	
	120	25.8	27.6	0.7	
2	30	14.3	16.9	1.0	3.2
	60	18.3	19.7	0.5	
	90	19.2	21.1	0.7	
	120	18.0	20.6	1.0	
3	30	14.5	18.2	1.4	7.7
	60	18.0	23.4	2.1	
	90	22.2	27.1	1.9	
	120	28.6	34.7	2.3	
4	30	16.7	27.6	4.1	9.3
	60	17.9	27.3	3.5	
	90	5.9	9.4	1.3	
	120	33.3	34.3	0.4	
5	30	14.6	22.0	2.8	6.7
	60	16.7	20.5	1.5	
	90	20.6	25.2	1.7	
	120	24.3	26.3	0.7	

DESPUÉS DE LA NIVELACIÓN					
No. Torre	Profundidad (cm)	ANTES RIEGO % de Humedad	DESPUÉS RIEGO % de Humedad	Lamina / estrato (cm)	Lamina Total Aplicada (cm)
1	30	23.6	29.85	2.43	6.49
	60	21.28	26.09	1.87	
	90	18.42	20	0.6	
	120	18.18	22.22	1.57	
2	30	19.3	25.56	2.44	7.98
	60	15.79	22.03	2.43	
	90	14.67	21.15	2.33	
	120	14.47	16.67	0.73	
3	30	11.32	25.32	5.46	6.28
	60	13.51	14.29	0.3	
	90	10.98	12.07	0.39	
	120	10.31	10.67	0.12	
4	30	20.69	28.85	3.18	6.8
	60	14.67	16.07	0.54	
	90	12.35	16	1.31	
	120	11.11	16.22	1.76	
5	30	18.82	29.33	4.09	5.18
	60	15.69	15.94	0.09	
	90	10.59	12.64	0.73	
	120	9.72	10.45	0.25	

Cuadro 3. Lamina acumulada antes y después de la nivelación de la línea 3.

ANTES DE LA NIVELACIÓN					
No. Torre	Profundidad (cm)	ANTES RIEGO %HUMEDAD	DESPUÉS RIEGO %HUMEDAD	Lámina/ estrato (cm)	Lámina total aplicada (cm)
1	30	14.5	18.3	1.4	4.1
	60	15.0	16.3	0.5	
	90	21.5	24.0	0.9	
	120	26.9	30.2	1.3	
2	30	15.7	18.3	1.0	2.5
	60	16.1	17.4	0.5	
	90	13.4	15.8	0.9	
	120	18.8	19.2	0.1	
3	30	16.7	23.3	2.5	4.0
	60	24.7	25.3	0.2	
	90	30.1	31.2	0.4	
	120	31.8	33.9	0.8	
4	30	12.1	19.3	2.7	4.9
	60	17.6	19.2	0.6	
	90	28.6	31.3	1.0	
	120	30.7	32.1	0.5	
5	30	15.2	19.6	1.6	4.6
	60	21.5	23.1	0.6	
	90	18.5	21.8	1.2	
	120	25.0	27.9	1.1	

DESPUÉS DE LA NIVELACIÓN					
No. Torre	Profundidad (cm)	ANTES RIEGO % de Humedad	DESPUÉS RIEGO % de Humedad	Lamina / estrato (cm)	Lamina Total Aplicada (cm)
1	30	25	33.33	3.24	7.35
	60	20	25.71	2.22	
	90	21.82	25.49	1.4	
	120	27.27	28.57	0.46	
2	30	15.46	24.1	3.36	5.83
	60	13.16	14.81	0.64	
	90	12.5	16.67	1.5	
	120	11.58	12.5	0.31	
3	30	16.67	27.5	4.22	6.05
	60	16.92	20.41	1.36	
	90	14.67	15.28	0.21	
	120	13.83	14.55	0.24	
4	30	17.86	24.53	2.6	7.39
	60	16.22	18.75	0.98	
	90	17.5	20.51	1.08	
	120	13.16	21.05	2.72	
5	30	20.27	28.57	3.23	6.62
	60	14.89	20.45	2.16	
	90	11	13.89	1.04	
	120	12	12.5	0.18	

### 8.3 LÁMINA PROMEDIO POR LÍNEA.

En el cuadro 4 se presentan las láminas promedio por línea en el cuadrante 1 de la P.P Villa Acuña, las cuales tuvieron un coeficiente de variación de 10.8 por ciento..

Cuadro 4. Láminas promedio por línea en cm.

LÍNEAS	LÁMINA PROMEDIO (cm)
1	6.49
2	6.54
3	6.64
$\bar{X} =$	6.556

### 8.4 EFICIENCIA GLOBAL DEL SISTEMA DE RIEGO TIPO AVANCE FRONTAL DE LA P.P VILLA ACUÑA.

Para determinar la eficiencia de riego del avance frontal se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Eff} = \frac{\text{Lamina aplicada}}{\text{Lamina requerida}} \times 100 \quad (2)$$

Por lo tanto:

$$\text{Eff} = \frac{6.556}{7} \times 100$$

$$\text{Eff} = 93.6 \text{ por ciento}$$

Es necesario mencionar que para este cálculo se toma la lámina promedio de las tres líneas (cuadro 4).

## **8.5 RENDIMIENTO DEL CULTIVO (MAÍZ).**

El cultivo del maíz se cosechó a los 115 días. El estado al que se cortó el maíz fue el de lechoso masoso ya que en este estado es cuando el cultivo presenta la máxima concentración de proteína. El rendimiento del cultivo antes de la nivelación fue de 7.6 toneladas de materia seca por hectárea y después de la nivelación fue de 9 toneladas de materia seca por hectárea. El incremento en la productividad del cultivo del maíz fue de 18 por ciento.

## **IX. CONCLUSIONES.**

La práctica de nivelación por terrazas o por secciones incrementa la eficiencia de riego en el avance frontal a un 93 por ciento y aumenta el rendimiento del cultivo en un 18 por ciento.

Con este trabajo se concluye que la nivelación en sistemas de riego por aspersion tipo avance frontal es indispensable ya que en zonas áridas el riego no es complementario si no necesario, por lo que se sugiere realizar este tipo de trabajos para eficientar el uso y manejo del agua e incremento de la productividad agrícola.

## X. BIBLIOGRAFÍA.

Boletín Meteorológico. SAGARPA, 2002. Región Laguna – Coahuila. Publicado el 14 de Enero de 2002.

Cahoon Joel and Yonts Dean. 1998. Estimating Effective Rainfall. Published by Cooperative Extension, Institute of Agriculture and Natural Resource, University of Nebraska. Lincoln.

Davis J. 1986. Statistic Models. McGraw-Hill Editors. Atlanta, Georgia. P. 380

De Santa O, M., Juan V, J,A. 1993. Agronomía del Riego. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. Primera Edición. P. 549.

Drainage and Water Table Control. Proceeding of the sixth International Drainage Symposium. 13 – 15 December 1992, Nashville, Tennessee. American Society of Agricultural Engineers.

Fuentes Y. J. L y García L. G. 1999. Técnicas de riego, sistemas de riego en la agricultura. Editorial Mundi-Prensa. México, D.F. P. 228

García C. I y Briones S,G. 1997. Sistemas de riego por aspersión y goteo. Editorial Trillas. Primera Edición, 1997. P. 95

García L. G. 2002. Los sistemas de riego por aspersión. Manual DGETA. México, D.F. P.P 14.

Hillel, D. (1980). Applications of soil physics. Academic Press, Nueva York.

Hillel, D. (1980). Fundamentals of soil physics. Academic Press, Nueva York.

- Hoffman G, H., Howell T.A and Solomon K.H. 1990. Management of Farm Irrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers. P.499
- Howel, T. A., y Phene, C. J. (1983). Distribution of irrigation water from a low pressure lateral-moving irrigation system, Transaction of the ASAE. Pp 1422 – 1429, 1434.
- Instalación, Uso y manejo del sistema de riego tipo Lateral Móvil. Manual de la compañía, Zimmatic, 1990.
- Instituto Mexicano de Tratamiento de Aguas. Sistemas de riego por aspersión en México. Publicación mensual No. 4. Pp 3,6
- Klocke N., Cahoon Joel and Kranz W., L. 2001. Crop Residue and Irrigation Water Management. Published by Cooperative Extension, Institute of Agriculture and Natural Resource, University of Nebraska. Lincoln.
- Kramer, P. J. (1993). Relaciones hídricas de suelos y plantas, una síntesis moderna. Editorial Edutex. P.140
- Kranz W., L. 2001. Water Runoff Control Practices for Sprinkler Irrigation Systems Published by Cooperative Extension, Institute of Agriculture and Natural Resource, University of Nebraska. Lincoln.
- Lackas G., Kranz B., Martin D. L. Minimum Center Pivot Design Capacities in Nebraska. Published by Cooperative Extension, Institute of Agriculture and Natural Resource, University of Nebraska. Lincoln.
- Losada V. A. (2000). El riego, fundamentos hidráulicos. Editorial Mundi-prensa. 3ª Edición. México, D. F. Pp 44.

Martin D. L. , Yonts C. Dean., and Kranz W., L. 1999. Water Loss from Above-Canopy and In-Canopy Sprinklers. Published by Cooperative Extension, Institute of Agriculture and Natural Resource, University of Nebraska. Lincoln.

Martin D. L. , Yonts C. Dean., and Kranz W., L. 2000. Application Uniformity of In-Canopy Sprinklers. Published by Cooperative Extension, Institute of Agriculture and Natural Resource, University of Nebraska. Lincoln.

Pizarro C. P. (1996). Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF). Editorial Mundi-prensa. 3ª Edición. México, D. F. Pp 182.

Revista Agropecuaria Laguna, Septiembre (2001). Artículo publicado de la Cámara Agrícola y Ganadera de Torreón.

Stallings J. H. (1990). El suelo, su uso y mantenimiento. Editorial C.E.C.S.A. 3ª Edición. México, D. F. Pp 393.

Tarjuelo M-B, J. M. 1999. El riego por aspersión y su tecnología. Editorial Mundi-Prensa. Segunda edición. Barcelona, España. P. 239

Thorne D, W y Peterson H, B. 1981. Técnica del riego. Fertilidad y Explotación de los suelos. Editorial C.E.C.S.A. Primera Edición. P. 15

Valley Valmont Company, 2000. Manual para el uso y manejo del un sistema de riego tipo lateral móvil. Valmont, Nebraska.

Zimmerman J. F. (1991). El riego. Editorial C.E.C.S.A. 2ª Edición. México, D. F. Pp 183 - 241.

**ANEXOS**

# ANEXO 1

**Datos del levantamiento en el Cuadrante 1.**

# P.P. VILLA ACUÑA

AVANCE FRONTAL : CUADRANTE I

X	Y	Z (LEC. DIR)	Z(COTAS)	X	Y	Z (LEC. DIR)	Z(COTAS)
0	0	1.45	10.00	0	120	1.39	10.06
-30	0	1.38	10.07	-30	120	1.44	10.01
-60	0	1.34	10.11	-60	120	1.35	10.10
-90	0	1.43	10.02	-90	120	1.39	10.06
-120	0	1.33	10.12	-120	120	1.34	10.11
-150	0	1.42	10.03	-150	120	1.36	10.09
-180	0	1.40	10.05	-180	120	1.37	10.08
-210	0	1.39	10.06	-210	120	1.41	10.04
-240	0	1.30	10.15	-240	120	1.29	10.16
-270	0	1.25	10.20	-270	120	1.35	10.11
-300	0	1.37	10.08	-300	120	1.32	10.13
-330	0	1.35	10.10	-330	120	1.37	10.08
-360	0	1.30	10.15	-360	120	1.30	10.15
0	30	1.37	10.08	0	150	1.39	10.07
-30	30	1.40	10.05	-30	150	1.36	10.09
-60	30	1.35	10.10	-60	150	1.35	10.10
-90	30	1.40	10.05	-90	150	1.37	10.08
-120	30	1.41	10.04	-120	150	1.34	10.11
-150	30	1.41	10.04	-150	150	1.36	10.09
-180	30	1.40	10.05	-180	150	1.36	10.10
-210	30	1.40	10.05	-210	150	1.38	10.07
-240	30	1.32	10.13	-240	150	1.32	10.14
-270	30	1.33	10.12	-270	150	1.35	10.10
-300	30	1.32	10.13	-300	150	1.29	10.17
-330	30	1.35	10.10	-330	150	1.38	10.07
-360	30	1.35	10.10	-360	150	1.32	10.13
0	60	1.38	10.07	0	180	1.39	10.06
-30	60	1.37	10.08	-30	180	1.39	10.06
-60	60	1.36	10.09	-60	180	1.39	10.06
-90	60	1.43	10.02	-90	180	1.36	10.09
-120	60	1.34	10.11	-120	180	1.35	10.10
-150	60	1.39	10.07	-150	180	1.37	10.08
-180	60	1.37	10.08	-180	180	1.34	10.11
-210	60	1.36	10.09	-210	180	1.39	10.07
-240	60	1.34	10.11	-240	180	1.33	10.12
-270	60	1.37	10.08	-270	180	1.30	10.15
-300	60	1.32	10.13	-300	180	1.30	10.15
-330	60	1.38	10.07	-330	180	1.36	10.09

-360	60	1.33	10.12	-360	180	1.30	10.15
0	90	1.38	10.08	0	210	1.39	10.06
-30	90	1.37	10.08	-30	210	1.38	10.07
-60	90	1.35	10.10	-60	210	1.35	10.10
-90	90	1.40	10.05	-90	210	1.34	10.11
-120	90	1.35	10.10	-120	210	1.32	10.13
-150	90	1.36	10.10	-150	210	1.35	10.10
-180	90	1.36	10.09	-180	210	1.34	10.11
-210	90	1.40	10.05	-210	210	1.36	10.09
-240	90	1.30	10.15	-240	210	1.32	10.13
-270	90	1.33	10.12	-270	210	1.35	10.10
-300	90	1.30	10.15	-300	210	1.31	10.14
-330	90	1.34	10.11	-330	210	1.34	10.11
-360	90	1.35	10.10	-360	210	1.30	10.15

**Paso 1.** Pasar los datos capturados en el campo a la hoja de cálculo Excel Z (lectura directa):

Microsoft Excel - TOPCUAD(I)

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?

Arial 11

C:\WINDOWS\Escritorio\Tesis ALONSO\TESIS ORIGINAL\TOPCUAE

D6 = Z (LEC. DIR)

Cuadro de nombres

P.P. VILLA ACUÑA  
AVANCE FRONTAL: CUADRANTE I

	X	Y	Z (LEC. DIR)
7	0	0	1.46
8	-30	0	1.38
9	-60	0	1.34
10	-90	0	1.43
11	-120	0	1.33
12	-150	0	1.42
13	-180	0	1.40
14	-210	0	1.39
15	-240	0	1.30
16	-270	0	1.25
17	-300	0	1.37
18	-330	0	1.35
19	-360	0	1.30
20	0	30	1.37
21	-30	30	1.40
22	-60	30	1.35
23	-90	30	1.40
24	-120	30	1.41
25	-150	30	1.41
26	-180	30	1.40
27	-210	30	1.40
28	-240	30	1.32
29	-270	30	1.33
30	-300	30	1.32

Hoja1 / Hoja2 / Hoja3

Dibujo Autoformas

Listo NUM

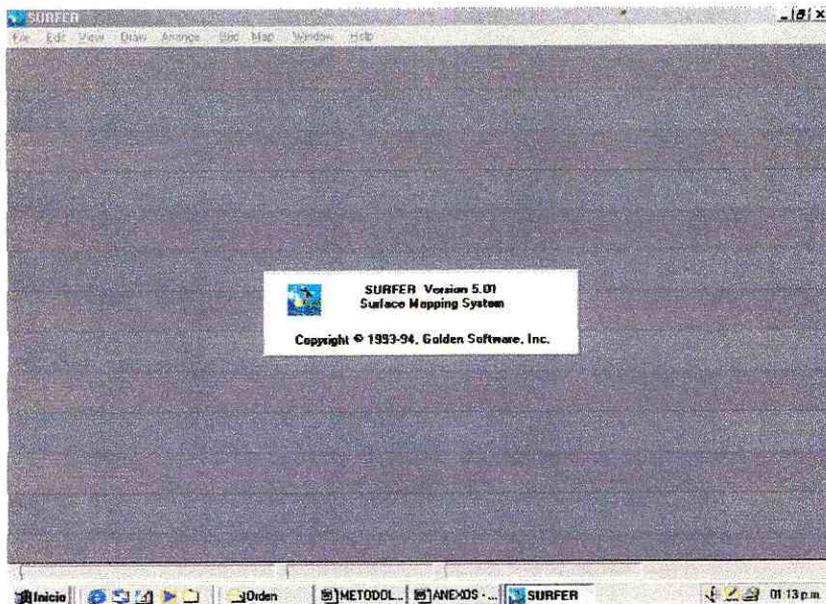
Inicio Disco d... ANEXO... ANEXO... TESIS... MUES... TOPC... 11:55 PM

**Paso 2.** Calcular la Z (cotas) modificada con la cota 10:

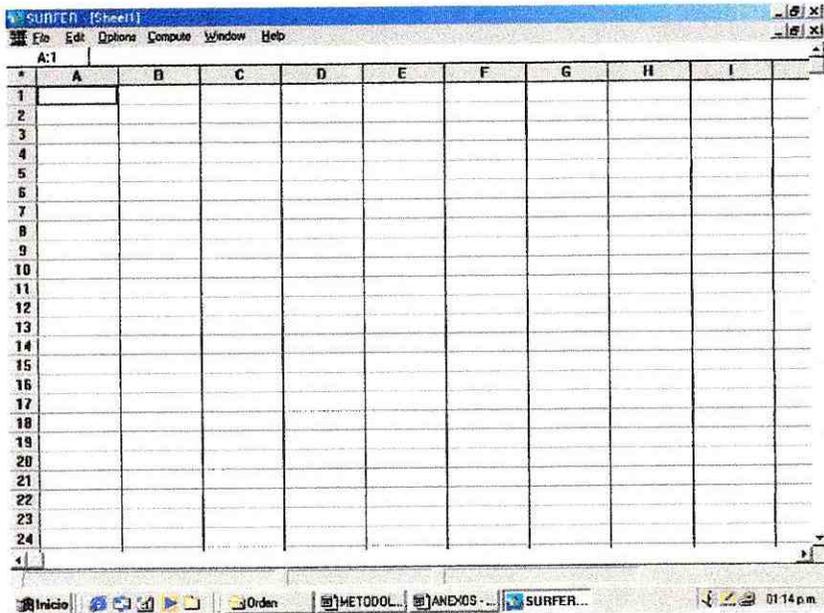
**P.P. VILLA ACUÑA**  
AVANCE FRONTAL . CUADRANTE I

	X	Y	Z (LEC. DIR)	Z (COTAS)
7	0	0	1.45	10.00
8	-30	0	1.38	10.07
9	-60	0	1.34	10.11
10	-90	0	1.43	10.02
11	-120	0	1.33	10.12
12	-150	0	1.42	10.03
13	-180	0	1.40	10.05
14	-210	0	1.39	10.06
15	-240	0	1.30	10.15
16	-270	0	1.25	10.20
17	-300	0	1.37	10.08
18	-330	0	1.35	10.10
19	-360	0	1.30	10.15
20	0	30	1.37	10.08
21	-30	30	1.40	10.05

**Paso 3.** Abrir el programa SURFER:



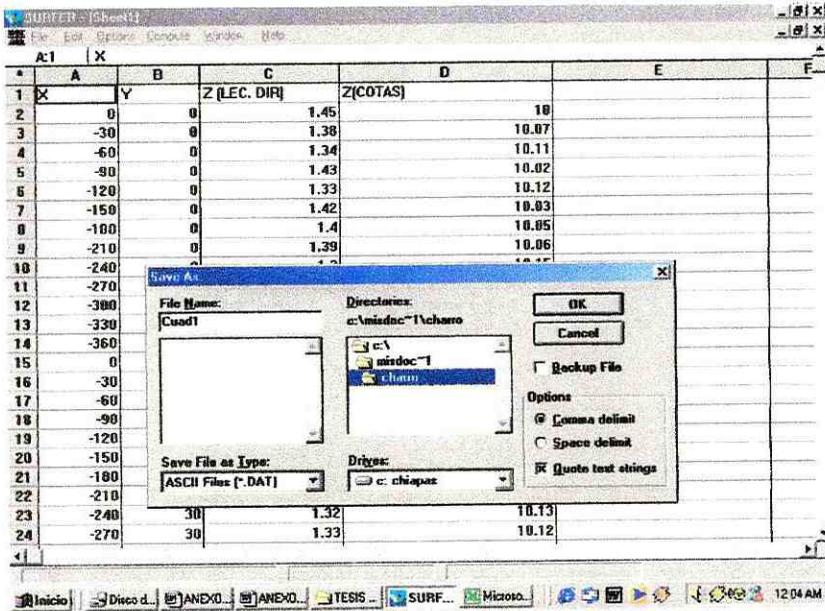
**Paso 4.** Ir a la Ventana *Archivo* y dar clic en *Worksheet*:



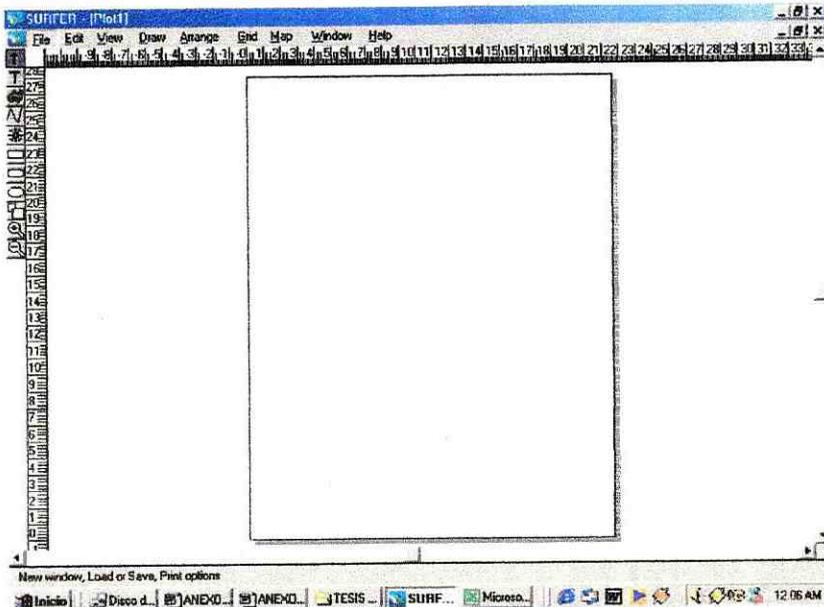
**Paso 5.** Copiar y pegar los datos de Excel en *Worksheet*:

	A	B	C	D	E	F
1	X	Y	Z (LEC. DIR)	Z (COTAS)		
2	0	0	1.45	10		
3	-30	0	1.38	10.07		
4	-60	0	1.34	10.11		
5	-90	0	1.43	10.02		
6	-120	0	1.33	10.12		
7	-150	0	1.42	10.03		
8	-180	0	1.4	10.05		
9	-210	0	1.39	10.06		
10	-240	0	1.3	10.15		
11	-270	0	1.25	10.2		
12	-300	0	1.37	10.08		
13	-330	0	1.35	10.1		
14	-360	0	1.3	10.15		
15	0	30	1.37	10.08		
16	-30	30	1.4	10.05		
17	-60	30	1.35	10.1		
18	-90	30	1.4	10.05		
19	-120	30	1.41	10.04		
20	-150	30	1.41	10.04		
21	-180	30	1.4	10.05		
22	-210	30	1.4	10.05		
23	-240	30	1.32	10.13		
24	-270	30	1.33	10.12		

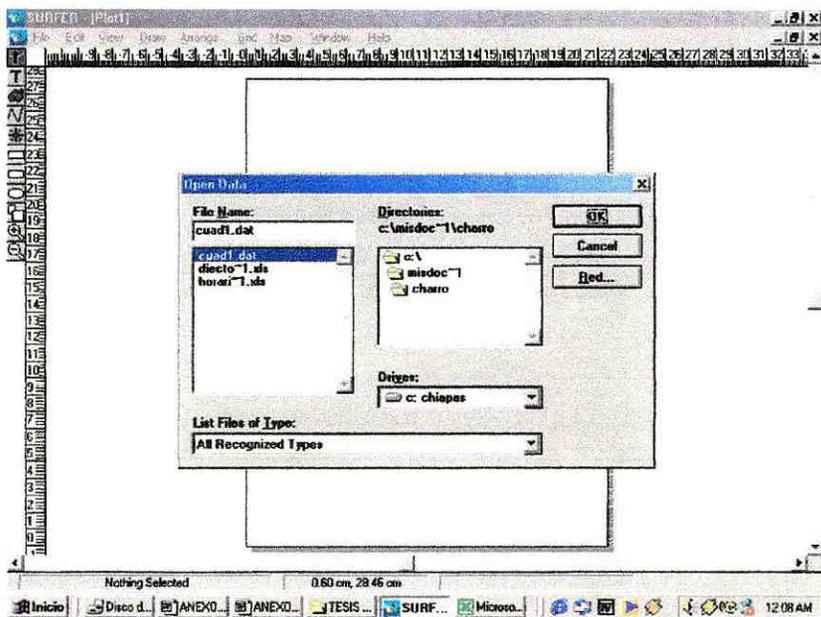
**Paso 6.** Se guarda el archivo:



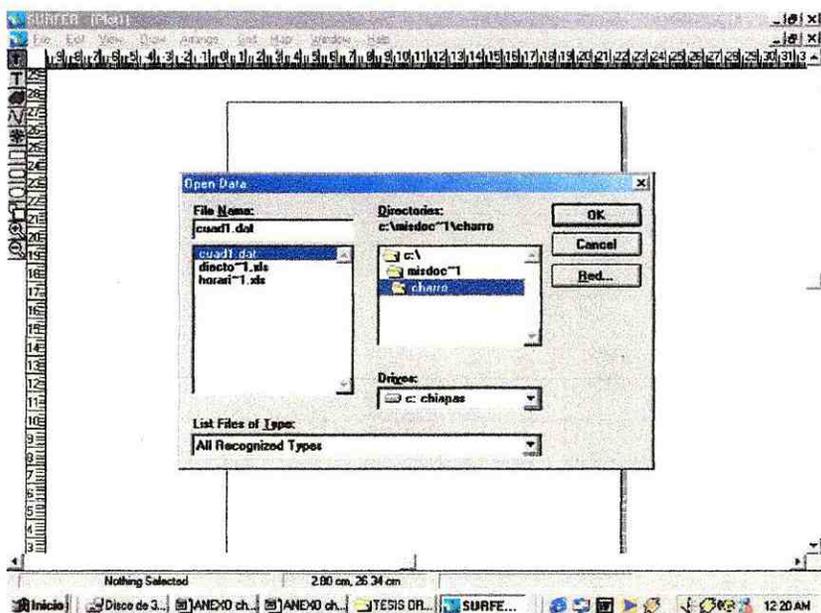
**Paso 7.** Selecciona *windows* en el menú principal, aparecerá un submenú en el que deberá seleccionar *plot*:



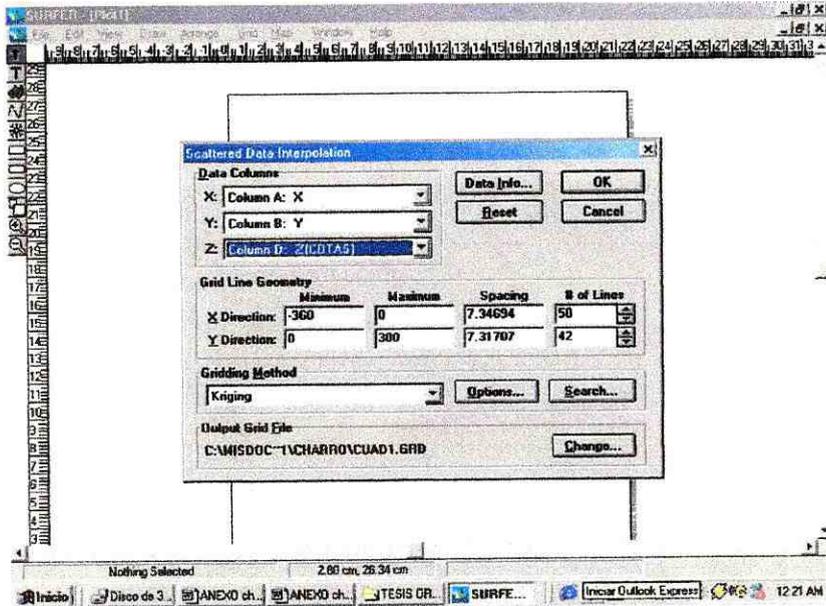
**Paso 8.** Seleccionar *Grid* del menú principal, aparecerá un submenú y seleccionara la opción *Data*; Abra el archivo donde se encuentren los datos.



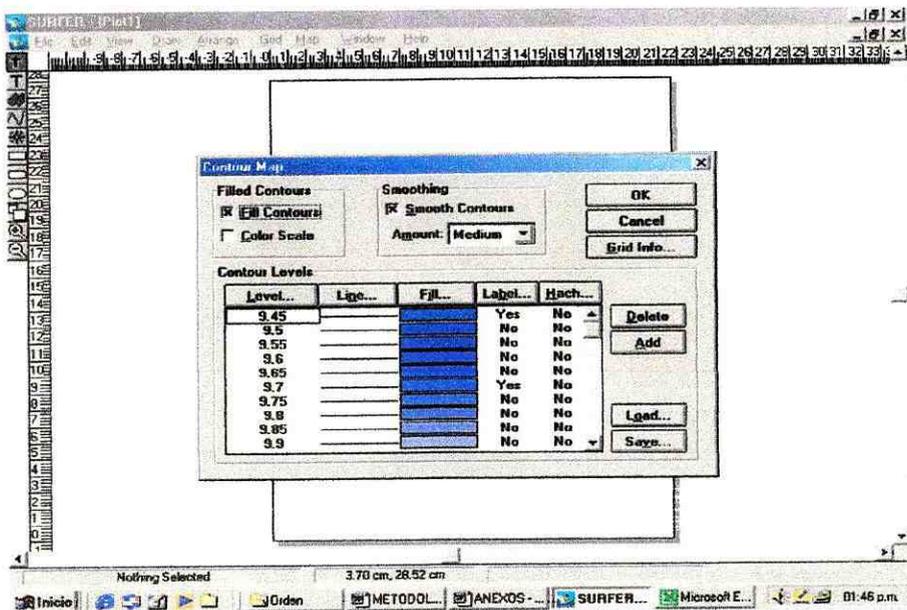
**Paso 8.** Seleccionar *Grid* del menú principal, aparecerá un submenú y seleccionara la opción *Data*; Abra el archivo donde se encuentren los datos.



**Paso 9.** En este paso, es donde se tiene que escoger el tipo de interpolación, las columnas x, y y z; el espacio de la malla y el número de líneas:



**Paso 10.** Después de que el programa cálculo la interpolación (Kriging) crea un archivo Grid (malla) , seleccionar *Map* y la opción *contour* , deberas abrir el archivo con la extensión ( Grd ) y te mostrara una ventana con las características que deseas para las curvas a nivel.



# Paso 11. Curvas a nivel:

