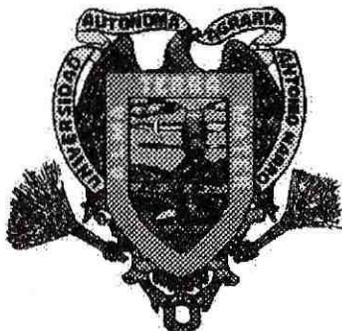


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**LA NIVELACIÓN DE TERRENOS EN SISTEMAS DE RIEGO
POR ASPERSIÓN TIPO PIVOTE CENTRAL. CASO P.P LA
PARTIDA, DEL MUNICIPIO DE TORREÓN, COAHUILA.**

POR

ROLANDO RUIZ CORONA

T E S I S

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

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2002

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

001868

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**LA NIVELACIÓN DE TERRENOS EN SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN TIPO
PIVOTE CENTRAL, CASO P.P. LA PARTIDA, DEL MUNICIPIO DE TORREÓN,
COAHUILA.**

POR

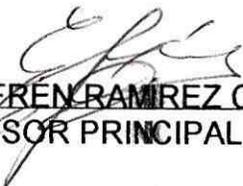
ROLANDO RUIZ CORONA

TESIS

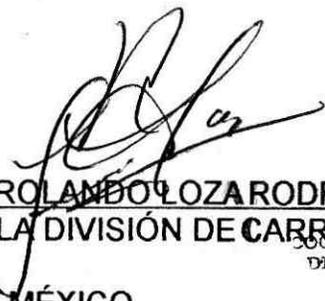
**QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:


M.C. CARLOS EREN RAMÍREZ CONTRERAS
ASESOR PRINCIPAL


ING. GERARDO DELGADO RAMÍREZ
ASESOR


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

TORREON, COAHUILA, MÉXICO



**SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESQUERÍA
DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**VIAAAN UL
DICIEMBRE DE 2002**

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

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**LA NIVELACIÓN DE TERRENOS EN SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN TIPO
PIVOTE CENTRAL, CASO P.P. LA PARTIDA, DEL MUNICIPIO DE TORREÓN,
COAHUILA**

POR

ROLANDO RUIZ CORONA

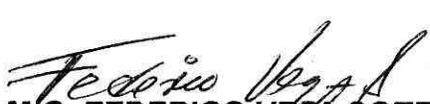
**QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

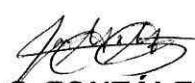
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

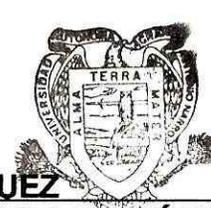

M.C. CARLOS E. RAMÍREZ CONTRERAS
PRESIDENTE


ING. GERARDO DELGADO RAMÍREZ
VOCAL


M.C. FEDERICO VEGA SOTELO
VOCAL


M.C. JOSÉ G. GONZÁLEZ QUIRINO
VOCAL SUPLENTE


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


**COORDINACION DE LA DIVISION
DE CARRERAS AGRONOMICAS
TIAAN UL**

TORREON, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2002

CONTENIDO

	Página
Dedicatorias	i
Agradecimientos	ii
Índice de Cuadros	iii
Índice Figuras	iii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. METAS	3
IV. HIPÓTESIS	3
V. REVISIÓN DE LITERATURA	4
5.1. Pivote Central.....	4
5.1.1. Pivote Central.....	4
5.2. Uniformidad del Riego con Pivote Central.....	7
5.3. Descripción del Riego.....	8
5.3.1. Variación del Caudal Emitido y la Pluviometria a lo Largo del Pivote Central	8
5.4. Topografía del Terreno.....	9
5.4.1. El Método del Contorno a la Curva de nivel.....	11
5.4.2. El Método del Centroides.....	12
5.4.3. El Método del Perfil.....	12
5.4.4. Grados de Nivelación.....	13
5.4.4.1 Nivelación de Primer Grado.....	13
5.4.4.2 Nivelación de Segundo Grado.....	13
5.4.4.3 Nivelación de Tercer Grado.....	14
5.5 Kriging	15
5.6 Surfer	16
5.7 Muestreo de Humedad	17
5.7.1 Contenido de Humedad en el Suelo	17
5.7.2 Infiltración del Agua en el Suelo.....	19
5.8 Muestreo en Sistemas de Riego Tipo Pivote Central	20

	Página
VI. MATERIALES Y METODOS	22
6.1 Materiales	22
6.1.1 Localización Geográfica	22
6.1.2 Clima	22
6.1.3 Temperatura	22
6.1.4 Infraestructura, Superficie y Patrón de Cultivo	23
VII METODOLOGÍA	24
7.1 Cuadrícula del terreno.....	24
7.2 Levantamiento Topográfico	25
7.3 Proceso de Datos	25
7.4 Trazado de Bordos	25
7.5 Nivelación con Rayo Lasser	26
7.6 Verificación de la Nivelación	26
7.7 Muestreo de Humedad	27
VIII. RESULTADOS	28
8.1 Proceso de Datos	28
8.2 Muestreo de Humedad	29
8.3. Eficiencia Global del Sistema de Riego Tipo Pivote Central de la P.P. La Partida	33
IX. DISCUSIÓN	34
X. CONCLUSIÓN	35
XI. BIBLIOGRAFÍA	36
ANEXOS	40

DEDICATORIAS

A mi Dios:

Por darme la oportunidad de estar aquí viviendo en este mundo tan maravilloso.

A mis Padres

Ramón Ruiz Martínez y Elvira Corona por haberme apoyado en mis estudios, por su comprensión y haberme guiado por el camino del bien.

A mis Hermanos:

Ramón, Jaime, Susana, Nora Elena, María del Rocío y Gerardo por su 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 todos mis compañeros y amigos:

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

AGRADECIMIENTO

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

A el M.C. Carlos E. Ramírez Contreras por brindarme sus conocimientos y su apoyo incondicional para la realización de mi carrera universitaria.

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 Dr. Juan Estrada Avalos por apoyarme en la realización de este trabajo.

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. Alejandro Estrada por su amistad y por brindarme el apoyo necesario para la realización de este documento.

Al personal del Programa de Transferencia de Tecnología Integral en Riegos (PROTTIR-COAHUILA) por su apoyo y su amistad.

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

A mis compañeros del trabajo Gerardo, Gabino, Bogart, Moisés, Rene, Edgar, Octavio, Manuel A., Alonso, David, Armando, Octavio, gracias por su amistad.

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 lograré uno de mis más grandes sueños.

ÍNDICE DE CUADROS

	PAGINA
Cuadro 1. Parámetros de regresión	20
Cuadro 2. Lámina Aplicada Antes y Después de la Línea 1	29
Cuadro 3. Lámina Aplicada Antes y Después de la Línea 2	31
Cuadro 4. Lámina Aplicada Antes y Después de la Línea 4	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Croquis de la P.P. La Partida	23
Figura 2. Trazo de los Bordos	28

I.- INTRODUCCIÓN

El Gobierno de México, implementó en 1996, un programa denominado "Alianza para el Campo", con el que se pretende lograr la Modernización y Tecnificación del Riego Parcelario. Con dicho programa se han beneficiado 5,369 productores de la Comarca Lagunera de Coahuila y Durango, de 1996 a 1999 se instalaron 28 sistemas de riego de alta presión para 1449.65 has. La inversión total fue de 20.68 millones de pesos, donde el gobierno federal apoyo con el 33 por ciento, el gobierno estatal con el 9 por ciento y los productores aportaron el 58 por ciento restante (FIRCO, 2000).

Estas estadísticas concluyen que el costo por hectárea para modernizar el sistema de riego es del orden de \$14,265.51; lo cual es posible recuperar su inversión en un tiempo considerable, siempre y cuando se aprovechen cultivos altamente remunerativos. Sin embargo, uno de los sistemas que se han implementado en el campo de la comarca lagunera es el pivote central, que por ser un riego por aspersion genera ciertos problemas en las regiones áridas y semiáridas del país, como es el caso que se trata.

Es un hecho que en la actualidad, uno de los problemas más serios en la agricultura es el agua, principalmente por la escasez de la misma en nuestra región y en el mundo. Actualmente en la región lagunera, se esta trabajado en la nivelación del terreno que abarca el sistema de riego tipo pivote central, ya que difícilmente se ha adaptado a cualquier relieve del suelo, lo cual provoca que el perfil de humedad no sea uniforme en el terreno, provocando un mal riego, repercutiendo en el crecimiento heterogéneo del cultivo y en la producción del mismo.

La nivelación con rayo láser es una actividad importante para el crecimiento y desarrollo del cultivo en los sistemas de riego por superficie. Pero dicha actividad es costosa cuando se tiene que mover gran cantidad de tierra, al pretender nivelar a cero la totalidad de la superficie que abarca el pivote central, por lo tanto, es conveniente trazar terrazas o bancos de nivel, para mover el menor volumen de suelo, para que el costo por dicha actividad sea el más económico y a su vez nos garantice que el perfil de humedad en el suelo sea homogéneo.

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 del M.C. Carlos Efrén Ramírez Contreras, investigador de dicho centro.

Con este trabajo se pretende incrementar la productividad en el cultivo, mejorar la eficiencia de aplicación de las láminas de riego, lo cual será posible nivelando la superficie por terrazas o bancos de nivel, en el sistema de riego tipo pivote central. Ya que en los Estados Unidos el riego es complementario y en este caso el riego es necesario en el sistema de riego tipo pivote central.

II.- OBJETIVO

Incrementar la productividad en el cultivo, aplicando una lámina de riego homogénea en toda la superficie que abarca un sistema de riego tipo pivote central.

Incrementar la eficiencia de distribución de la humedad en el suelo con sistema de riego por pivote central.

III.- METAS

Localizar un productor que tenga un pivote central y se interese en resolver el problema de eficiencia de riego nivelando el terreno que abarca el mismo en un ciclo de cultivo.

Asesorar a los regadores para tener una buena operación del pivote central en un ciclo de cultivo.

IV.- HIPÓTESIS

Mediante la nivelación por terrazas o bancos de nivel de la superficie que abarca el sistema de riego tipo pivote central, es posible incrementar la eficiencia de aplicación de la lámina de riego y la productividad del predio.

V.- REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 PIVOTE CENTRAL.

5.1.2 Características.

Estos sistemas consisten de una línea lateral con uno de sus extremos fijos a un punto pivote mientras que el otro extremo se desplaza en círculo alrededor del punto pivote.

El agua entra al sistema a través del extremo fijo, la línea lateral es soportada por torres metálicas, las cuales son desplazadas por unidades motrices equipadas con propulsión individual, montada sobre grandes ruedas; estas torres están separadas unas de otras de 25 a 75 m y la longitud de la línea lateral varía frecuentemente de 50 a 800 m.

La línea lateral es mantenida en forma alineada durante el movimiento del sistema alrededor del punto pivote mediante un sistema de control que regula la velocidad de avance en cada torre, en caso en que la alineación del sistema falle, un dispositivo de seguridad automáticamente suspende el funcionamiento de todo el sistema de riego antes que la línea lateral u otra parte del sistema resulte dañado.

El mecanismo de las unidades motrices instaladas en cada torre es impulsado por diferentes tipos de unidades de potencia como son:

- .- Impulsión hidráulica con agua a presión.
- .- Impulsión hidráulica con aceite a presión.
- .- Impulsión con motor eléctrico.
- .- Impulsión de aire-presión.

Aunque inicialmente estos sistemas de riego operaba primordialmente con unidades motrices de impulsión hidráulica con agua a presión en la actualidad la impulsión de las torres se hace casi primordialmente a base de motores eléctricos de 1/2, 3/4, 1 o 1 1/2 Hp, (Casillas y briones, 1997).

Los primeros sistemas de riego autopropulsados fueron desarrollados en Nebraska, Estados Unidos, en 1948. Desde ese momento, se ha producido un constante mejoramiento de los equipos, hasta llegar a los actuales pivotes centrales, (Valley Valmont Company, 2002).

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

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

Este sistema de riego autopropulsado consistente en un lateral único, montado sobre torres, que gira sobre su eje, regando una superficie en forma de círculo o semicírculo. Uno de los extremos del equipo 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 pivote 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).

Al igual que para otros métodos de riego, la decisión de instalar equipos de este tipo, requiere tener claridad respecto de 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 de alto costo, como pivotes o 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 con pivote), (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. Esto, producto de la mejor disponibilidad de agua para la planta, de manera que la evaluación económica estará en condiciones de arrojar una buena rentabilidad indicando que resulta conveniente invertir en riego tecnificado, (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).

Asimismo, en el análisis económico se debe considerar la probable superficie de riego que se logra con el agua disponible, en especial cuando ésta es escasa. Cuando ello ocurre, cobra gran importancia la eficiencia de aplicación del método de riego a utilizar. Así, con equipos de alta eficiencia es posible aumentar la superficie regada,

motivándose la inversión en ellos cuando el agua escasea y desincentivándose cuando existe en abundancia.

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/cobertura/quilamapu/bioleche/BOLETIN7.html>).

5.2 UNIFORMIDAD DEL RIEGO CON PIVOTE CENTRAL.

La uniformidad que se suele manejar en sistemas de riego con pivote central suele estar entre 70 y 88% dependiendo fundamentalmente del tipo de cultivo y del sistema radicular del mismo. Pueden sobrepasar el 90% cuando no hay viento.

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

- * El pivote central ocupa infinitas posiciones en su recorrido, compensándose en parte las distorsiones entre riegos sucesivos.
- * El espaciamiento de emisores en el pivote central 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.
- * 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 pivote central.

La pluviometría crece desde el centro hasta el extremo, ya que cada metro del pivote central tiene que regar una mayor superficie en el mismo tiempo.

Así, en un pivote central de 402m, los primeros 201m riegan el 25% del área, mientras que los 54m finales riegan otro 25%, debiendo por tanto distribuir el mismo caudal ambos tramos al regar la misma superficie en el mismo tiempo.

El otro modo de explicar esto es decir que la aplicación del agua a un punto del terreno va siendo cada vez menor a medida que nos alejamos del punto pivote y todos los puntos tienen que recibir la misma cantidad de agua.

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 puede calcularse como el cociente entre el volumen a descargar en un día y el tiempo utilizado para ello mediante la expresión:

$$Q_o = 0.116 \frac{N \cdot A}{Ea \cdot Fd}$$

Q_o = Caudal de entrada al equipo (l/s)

N = Necesidades maximas del cultivo (mm/día o l/m²)

A = Área regada (Ha)

Fd = Fracción del día que funciona el equipo (como decimal)

Ea = eficiencia de aplicación

A medida que nos alejamos del centro del pivote el área regada por cada metro de lateral crece. A una distancia r (m) del mismo, esta área es el de una corona circular, que puede ser calculada como:

$$a = B(r+0,5)^2 - B(r-0,5)^2 = 2Br.$$

El caudal descargado por la unidad de longitud del pivote central en esa zona (q) debe ser tal que:

$$\frac{q}{Q_o} = \frac{a}{A} = \frac{2\Pi r}{\Pi R^2} = \frac{2r}{R^2}, \text{ es decir } q = \frac{2rQ_o}{R^2}$$

siendo R el área mojada por el equipo (m.)

En el extremo del pivote ($r=R$), el caudal descargado por un metro será:

$$q = 2Q_o/R$$

5.4 TOPOGRAFÍA DEL TERRENO.

Los métodos de riego presurizados no siempre requieren una superficie uniforme de todo el terreno para poder lograr una distribución del agua lo mas adecuada posible. Una nivelación aceptable, se considera como el primer paso en el establecimiento de cualquier sistema de riego presurizado, (Losada, 2000).

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 un riego

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:

- Un control eficiente del agua que se logra al determinar una distribución uniforme.
- El mejoramiento del drenaje superficial, este factor tiene especial importancia sobre todo en las regiones húmedas.
- Menor erosión del suelo y pérdidas de la fertilidad causada por el tratar de mejorar el control del agua para riego.
- Un uso más eficiente del agua de riego, el tener una mejor eficiencia permitirá regar mayor superficie con una disponibilidad de agua limitada.
- 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 in embargo indispensable, (Stallings, 1990).

5.4.1 El 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 por supuesto, 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 la que quieran 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 El 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 El 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, que 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).

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 este caso 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 movimiento de tierra considerable realizados mediante cortes de regular espesor, por lo tanto es necesario el cálculo de cortes y rellenos, así mismo es necesario el empleo de escrapas en toda la superficie, para asegurar una topografía lo más uniforme posible que permita el trazo correcto del riego. De acuerdo a los grados de nivelación mencionados, puede decirse que los de primero y segundo grado es los métodos más 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 cuadrículado 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 cálculo de las pendientes longitudinales y perpendiculares.

4. Los volúmenes de cortes y rellenos se deben calcular sobre la base de la 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:

- ◆ **El método del plano o mínimos cuadrados.**
- ◆ **El de corte transversal.**
- ◆ **El de perfil de doble sentido.**
- ◆ **Método de Kriging**

El Método utilizado para la nivelación en este terreno fue el Método de Kriging:

5.5 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.

Kriging se basa en la asunción 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, (<http://www.lycos.com>).

Hoy en día la tecnología usada en este tipo de trabajos es 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. Frecuentemente se expresa como un porcentaje.

$$\% \text{ de la humedad gravimetrica} = \frac{M(\text{suelo}) - M(\text{suelo secado al horno})}{M(\text{suelo secado al horno})} \times 100$$

O, en esta forma:

$$H(\%) = \frac{M_{ag}}{M_s} \times 100$$

Donde:

M = masa; M_{ag} = masa del agua; M_s = masa de los sólidos;

H = humedad del suelo (a veces se usan θ , w, c).

La masa del suelo secada al horno 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 a 100 – 110 ° C por 24 horas, mientras que en el horno de microondas se dejan 15 minutos. En este estado se le denomina "suelo seco". Esta masa secada al horno se usa como base para calcular el contenido de humedad por su naturaleza constante y reproducible bajo varias condiciones ambientales, (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 (θ), que es el volumen de agua contenido en una unidad de volumen de suelo.
- b) Contenido gravimétrico (ω), 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, (Thorne y Peterson, 1981).

5.7.2 Infiltración de agua en el suelo.

La infiltración se define como el proceso por medio del cual el agua pasa a través de la superficie y se distribuye en los estratos del suelo. La velocidad con que se infiltra el agua, llamada velocidad o tasa de infiltración instantánea (i), es de suma importancia en el diseño y operación de un sistema de riego. A la lamina de agua que se ha infiltrado a un tiempo dado se le conoce como infiltración acumulada (I).

Existe una diversidad de ecuaciones para representar el proceso de infiltración. La mayoría de estas ecuaciones son de naturaleza empírica en el sentido que sus coeficientes carecen de sentido físico. Estos parámetros son obtenidos, en la mayoría de las veces, usando la técnica de regresión para ajustar los datos observados al modelo propuesto. La estructura de la ecuación usada por el Departamento de Conservación de suelos (SCS) de los Estados Unidos para estimar la infiltración acumulada I es:

$$I = at^b + c$$

Donde

I es la infiltración acumulada en cm

T es el tiempo en min.

A , b y c son parámetros de regresión

El SCS definió varias familias de curvas de infiltración donde el número de familia depende de la velocidad de infiltración para tiempos largos en pulgadas/hr. Así la familia de curvas 0.1 significa que el suelo alcanza un valor de 0.1 pulgadas por/hr para

tiempos largos. El cuadro 1 presenta los valores a y b para diferentes familias de curvas definidas por la ecuación mencionada. El valor de c es de 0.6985 para I en cm.

En el cuadro se presentan los parámetros de la ecuación de infiltración acumulada de acuerdo al Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos para I en cm y t en min. El valor del parámetro c es de 0.6985.

Cuadro I. Parámetros de regresión para la ecuación antes mencionada.

Familia	a	b
0.1	0.0620	0.6610
0.2	0.0771	0.6988
0.3	0.0925	0.7204
0.4	0.1064	0.7356
0.5	0.1196	0.7475
0.6	0.1321	0.7572
0.8	0.1560	0.7728
1.0	0.1786	0.7850
2.0	0.2753	0.8080
4.0	0.4445	0.8230

La velocidad o intensidad de infiltración (i) puede estimarse al derivar la expresión de I con respecto a t como:

$$i = \frac{dI}{dt} = \frac{d(at^b + c)}{dt} = abt^{b-1} = kt^{b-1}$$

5.8 MUESTREO EN SISTEMAS DE RIEGO TIPO PIVOTE CENTRAL.

Existe la tendencia a tomar muestras de áreas muy grandes en campos con sistemas de riego tipo pivote central, creando una excesiva variación en los resultados de un año a otro. Para obtener mejores resultados se sugiere lo siguiente:

- 1.- Dividir el área circular en cuartos. Esto limitará el área para tener un mejor muestreo . Tomar una muestra de 15 a 20 puntos de cada tercio.
- 2.- Si existen limitaciones de tiempo o de costos, tomar una muestra de las laderas y otra de las partes bajas del terreno.
- 3.- Si el área circular es plana, se recomienda muestrear dos áreas no mayores de 16 hectáreas. Estas dos áreas pueden ser seleccionadas de entre las variaciones extremas del campo, por ejemplo: arenoso frente a franco arcilloso, o un área, de la cual se tenga conocimiento de que presente un rendimiento inferior a la otra. Entonces se recomienda promediar los resultados del laboratorio de esas dos áreas o aplíqueles tratamiento de forma individual.

Independientemente de los métodos que se usen, mantener las mismas áreas de muestreo cada año. Con este método las variaciones en los resultados de un año a otro serán minimizadas y tendrá un mejor historial del campo.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 MATERIALES.

6.1.1 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° 17' 34", una latitud de 25° 35' 56" y una altitud de 1150 msnm.

6.1.2 Clima.

De acuerdo con el sistema de clasificación de Copen modificado por (García, 2002), 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.

6.1.3 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 (SARH, 1994).

6.1.4 Infraestructura, Superficie y Patrón de Cultivo.

El área de estudio (Pequeña Propiedad) cuenta con una superficie de 150 has. De las cuales se explotan 125 has de forraje. Como infraestructura de riego, cuenta con un estanque revestido con una capacidad de 29,700 m³ y cuenta con dos pivotes de riego, el pivote central grande que tiene 9 torres y abarca una superficie de riego de 60 has. El otro es el pivote central chico el cual tiene 5 torres y abarca un superficie de 20 has. (Figura 1). Siendo este el área de estudio en particular. Los cuales operan a partir de tres pozos profundos, con un gasto total de 131 lps.

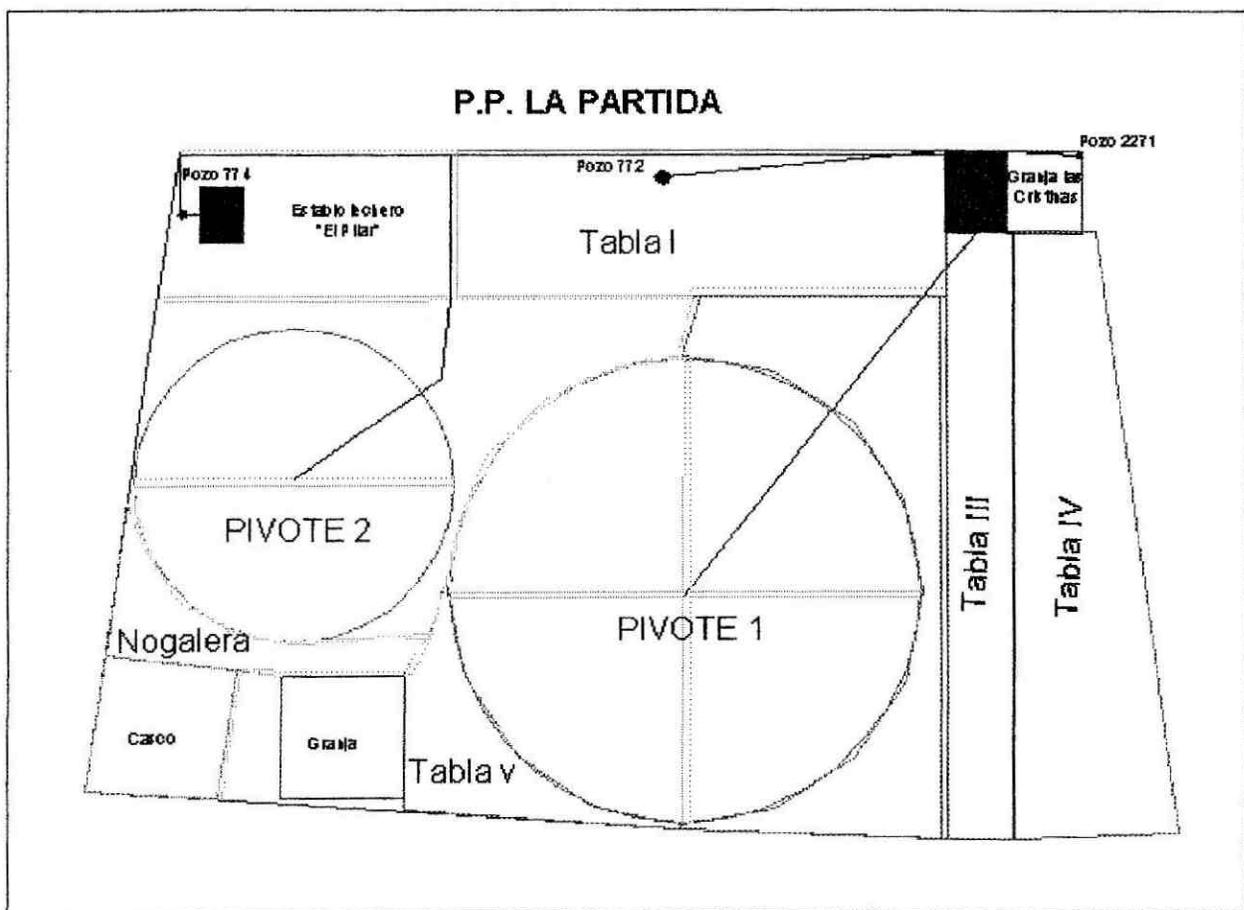


Figura 1. Croquis de la P.P. La Partida.

VII. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para determinar las curvas a nivel, para nivelar por terrazas o bancos de nivel la superficie que abarca el sistema de riego tipo pivote central, fue con el método de kriging, y para esto se deben de realizar las siguientes actividades: cuadrícula del terreno, levantamiento topográfico, proceso de datos, trazo de bordos, nivelación del terreno, verificación de la pendiente y muestreo de humedad antes y después del riego.

7.1 CUADRICULA DEL TERRENO.

La cuadrícula del terreno se realiza para facilitar al estadalero la ubicación de los puntos que se van a tomar, 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 en el terreno que abarca el pivote central de cinco torres; en este caso el terreno es casi plano, es por eso que se tomó este criterio; cuando el terreno es accidentado puede reducirse la relación de la cuadrícula, y considerar el programa que interpola los datos, ya que el programa utilizado en este caso interpola muy cerrado, Para esta práctica se utilizó una cinta métrica de lona y un tractor para rallar.

Cabe mencionar que la relación utilizada no es una limitante para la toma de datos, ya que el programa SURFER, utilizado en este trabajo interpola los datos a la distancia que uno quiera. Sin embargo el espaciamiento mínimo de interpolación depende del número total de líneas y columnas a los cuales se calcula dicha interpolación. Es decir el número total de puntos varia según el tamaño del área a la cual se desea establecer su topografía.

7.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Para conocer la topografía del terreno, se realizó el levantamiento topográfico de 338 puntos con un nivel fijo automático marca Nikkon y cinco estadales de 2.5 metros de altura. Las cotas registradas en estos puntos sirvieron para trazar las curvas de nivel.

Para facilitar la interpolación de los resultados se tomó como punto de referencia la base de cemento del punto pivote. A este punto tomado en la base se le asignó la cota 10, de tal forma que si una curva de nivel presenta cota de 10.50, significa que esta parte del terreno se encuentra 50 cm por encima de la base de cemento del punto pivote. Por el contrario para una cota de nivel de 9.50, significa que esta porción del terreno se encuentra 50 cm por debajo de la basa del punto pivote.

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

7.3 PROCESO DE DATOS.

Tomados los datos, se llevan a la oficina con el objetivo de procesar y analizar los datos obtenidos en el campo (lecturas de nivel), lo cual, se utiliza el software SURFER, el cual fue descrito en la revisión de literatura (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 muestra los resultados obtenidos del programa SURFER, 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 NIVELACION CON RAYO LASSER.

Se nivela cada sección ó terraza con rayo lásser 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 el menor tiempo posible.

7.6 VERIFICACION DE LA NIVELACION.

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. 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 a la misma presión, las 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 está correcta, se le sugiere al productor que el terreno ya está 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 terreno que abarca el pivote central 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 PROCESO DE DATOS.

En la siguiente figura 2, se muestran los datos obtenidos del programa SURFER. La malla de curvas a nivel es de 5 cm, el cual divide la superficie que abarca el pivote central en cinco secciones, en donde aproximadamente va a mover 15 cm de tierra por sección.

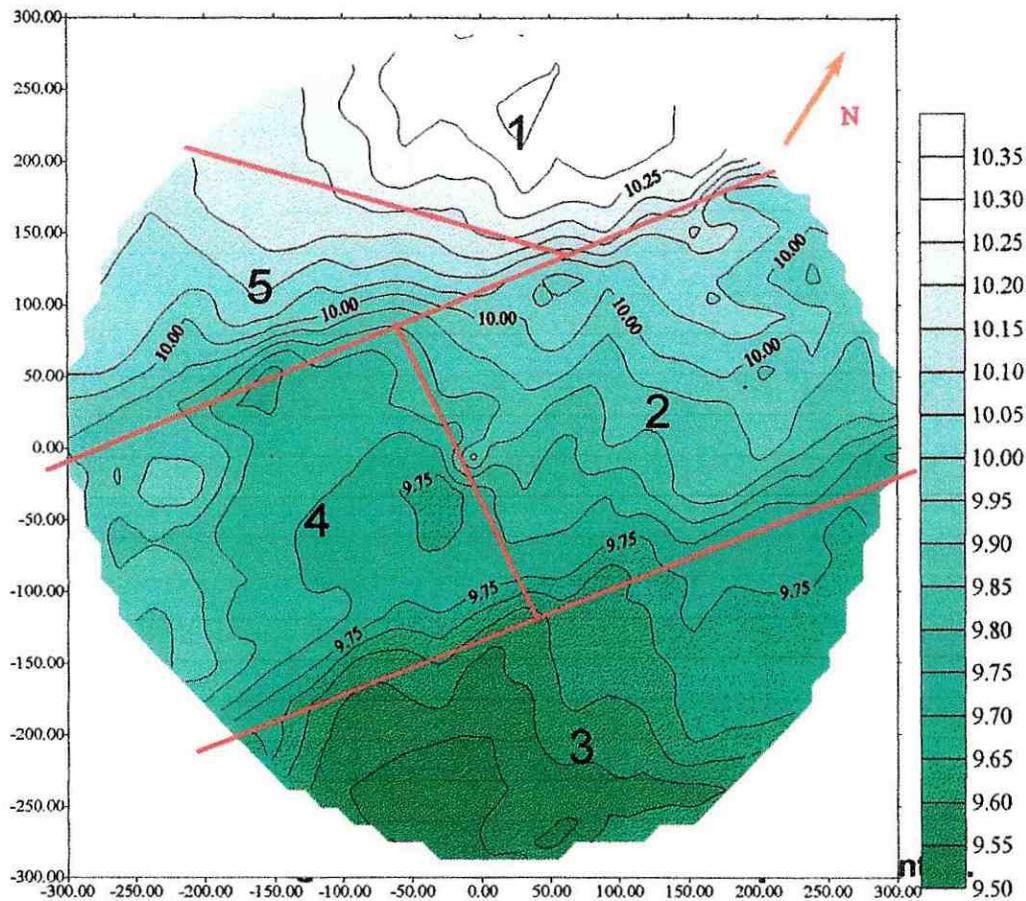


Figura 2. Trazo de los bordos

8.2 MUESTREO DE 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).

Para hacer el muestreo antes del riego se utilizó la barrena tipo Vehimeyer, 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.

Cuadro 2. Lámina acumulada antes y después de la nivelación de la Línea 1.

ANTES DE LA NIVELACIÓN				
No. de Torre	Profundidad (cm)	% Humedad Antes de Riego	% Humedad Después de Riego	Lámina Total Aplicada (cm)
1	30	16.47	22.99	6.38
	60	16.13	20.27	
	90	15.29	17.31	
	120	18.87	23.08	
2	30	15.69	24.10	4.28
	60	11.83	12.85	
	90	14.13	15.91	
	120	17.72	17.85	
3	30	12.84	20.48	3.61
	60	15.60	15.86	
	90	8.11	9.54	
	120	6.76	6.98	
4	30	10.94	15.73	2.52
	60	13.41	14.52	
	90	5.88	6.24	
	120	6.02	6.45	
5	30	9.38	11.90	2.26
	60	6.31	6.33	
	90	5.79	6.03	
	120	3.75	6.94	
DESPUES DE LA NIVELACIÓN				
1	30	25.30	32.84	6.38
	60	25.60	28.50	
	90	25.00	28.07	
	120	24.44	27.80	

2	30	20.00	28.36	7.50
	60	17.95	26.15	
	90	19.30	21.28	
	120	13.43	14.75	
3	30	15.71	23.64	6.40
	60	14.52	20.25	
	90	14.71	15.00	
	120	11.76	14.75	
4	30	18.92	25.89	7.51
	60	12.79	18.96	
	90	17.74	23.58	
	120	11.59	12.50	
5	30	20.31	27.27	6.50
	60	12.79	15.68	
	90	11.11	14.75	
	120	8.96	12.68	

Cuadro 3. Lámina acumulada antes y después de la nivelación de la Línea 2.

ANTES DE LA NIVELACIÓN				
No. de Torre	Profundidad (cm)	% Humedad Antes de Riego	% Humedad Después de Riego	Lámina Total Aplicada (cm)
1	30	16.67	27.59	8.79
	60	17.91	27.27	
	90	22.58	25.37	
	120	33.33	33.52	
2	30	14.58	21.95	10.48
	60	13.46	20.51	
	90	20.59	27.14	
	120	24.32	31.08	
3	30	22.95	24.18	3.77
	60	18.39	24.39	
	90	15.69	18.37	
	120	17.07	17.15	
4	30	12.64	20.99	4.51
	60	14.08	15.19	
	90	23.75	23.85	
	120	11.59	14.00	
5	30	10.00	11.11	1.35
	60	10.39	12.68	
	90	7.14	7.25	
	120	8.47	8.56	
DESPUES DE LA NIVELACIÓN				
1	30	24.71	31.75	6.80
	60	27.03	30.78	
	90	25.30	28.89	
	120	24.94	27.85	
2	30	20.75	27.86	6.98
	60	16.48	20.58	
	90	15.49	18.95	
	120	15.49	19.30	
3	30	12.24	17.54	6.20
	60	14.29	18.54	
	90	11.54	15.29	
	120	10.75	13.87	
4	30	21.69	27.56	6.84
	60	15.49	18.54	
	90	12.99	16.20	
	120	12.20	18.80	
5	30	19.75	30.14	6.65
	60	16.33	16.92	
	90	11.11	16.92	
	120	10.29	11.11	

Cuadro 4. Lámina acumulada antes y después de la nivelación de la Línea 3.

ANTES DE LA NIVELACIÓN				
No. de Torre	Profundidad (cm)	% Humedad Antes de Riego	% Humedad Después de Riego	Lámina Total Aplicada (cm)
1	30	12.05	19.30	5.73
	60	17.58	19.56	
	90	20.57	32.56	
	120	30.65	32.58	
2	30	15.24	19.57	4.37
	60	21.52	22.54	
	90	18.52	21.79	
	120	25.00	27.94	
3	30	17.53	24.77	4.54
	60	23.60	25.00	
	90	25.84	26.84	
	120	26.54	28.92	
4	30	8.51	16.84	4.81
	60	10.26	12.82	
	90	12.63	16.67	
	120	20.00	20.45	
5	30	11.39	17.02	3.49
	60	14.12	15.27	
	90	23.19	24.58	
	120	24.14	25.21	
DESPUES DE LA NIVELACIÓN				
1	30	26.32	32.58	7.62
	60	20.88	27.58	
	90	23.53	26.89	
	120	29.41	31.25	
2	30	16.13	25.32	6.52
	60	13.89	16.00	
	90	15.07	18.75	
	120	12.64	14.93	
3	30	17.57	24.96	7.06
	60	18.03	24.53	
	90	17.46	20.57	
	120	18.84	20.54	
4	30	19.23	26.53	7.29
	60	17.14	22.34	
	90	12.73	17.54	
	120	18.54	20.54	
5	30	21.43	26.85	6.57
	60	16.28	22.50	
	90	15.24	18.75	
	120	10.25	12.50	

8.3 EFICIENCIA GLOBAL DEL SISTEMA DE RIEGO TIPO PIVOTE CENTRAL DE LA P.P LA PARTIDA.

Para determinar la eficiencia de riego actual (después de la nivelación) del pivote central se utilizó la siguiente ecuación:

$$EFF = \frac{\text{Lamina aplicada}}{\text{Lamina requerida}} (100) = 95 \text{ por ciento}$$

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

8.4 RENDIMIENTO DEL CULTIVO (AVENA).

El cultivo de la avena se cosechó a los 110 días después de la siembra, donde se obtuvo un rendimiento de 4.4 toneladas por hectárea de materia seca.

IX. DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos, podemos mencionar que la nivelación por terrazas o por secciones incrementa la eficiencia de riego en el pivote central a un 95 por ciento.

El coeficiente de variación de las láminas de riego después de la nivelación es del 9 por ciento, el cual nos indica que existe una distribución de la humedad uniforme, a comparación de las láminas aplicadas antes de la nivelación; donde dicho coeficiente es del 50 por ciento.

Por lo tanto, el incremento en la eficiencia de riego global del sistema de riego tipo pivote central, repercutió en la productividad del cultivo; ya que presento un rendimiento superior al rendimiento proyectado el cual fue del 57%.

X. CONCLUSIÓN

Con este trabajo se determina que para incrementar la eficiencia del sistema del riego por aspersión tipo pivote central y la productividad del cultivo, es necesario realizar la nivelación que abarca la superficie de dicho sistema de riego por terrazas o secciones. Por lo que esta actividad es indispensable ya que en las zonas áridas el riego es necesario ya que en otras zonas es complementario por su alta precipitación. Por lo que se sugiere realizar este tipo de trabajos para eficientizar el uso y manejo del agua.

XI. BIBLIOGRAFÍA

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

Boletín7. <http://INIA.cl/cobertura/quilamapu/bioleche/BOLETIN7.com>, 2002

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

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.
- 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. (1974). 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, 2001.

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 Camara
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.

Tartuelo M-B, J. M. 1999. El riego por aspersion 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 movil. Valmont, Nebraska.

Valley Valmont Company, 2002. Manual para el uso y manejo del un sistema de riego
tipo lateral movil. Valmont, Nebraska.

Zanz R. P, Moya C. M, Drummond M. (1998). Riego localizado y fertiirrigación, Editorial
Mundi-Prensa. 2ª Edición. México, D. F. Pp. 23.

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

ANEXOS

ANEXO 1

X	Y	Z (LEC. DIR)	Z(COTAS)	X	Y	Z (LEC. DIR)	Z(COTAS)
-3	-3	1.20	10.00	-60	180	0.95	10.26
0	0	1.29	9.91	-90	180	0.98	10.22
-30	0	1.40	9.80	-120	180	1.02	10.19
-60	0	1.44	9.76	-150	180	1.02	10.19
-90	0	1.39	9.82	-180	180	1.00	10.21
-120	0	1.39	9.82	-210	180	1.06	10.15
-150	0	1.41	9.79	-240	180	1.09	10.12
-180	0	1.30	9.90	0	210	0.90	10.31
-210	0	1.26	9.94	-30	210	0.93	10.28
-240	0	1.26	9.94	-60	210	0.90	10.31
-270	0	1.30	9.90	-90	210	0.98	10.23
-300	0	1.26	9.94	-120	210	1.00	10.21
0	30	1.33	9.88	-150	210	1.03	10.18
-30	30	1.31	9.90	-180	210	1.03	10.18
-60	30	1.35	9.85	-210	210	1.05	10.15
-90	30	1.36	9.85	0	240	0.88	10.33
-120	30	1.36	9.85	-30	240	0.89	10.32
-150	30	1.41	9.80	-60	240	0.90	10.31
-180	30	1.40	9.80	-90	240	0.93	10.28
-210	30	1.32	9.89	-120	240	0.99	10.22
-240	30	1.28	9.93	-150	240	1.05	10.16
-270	30	1.24	9.97	-180	240	1.04	10.17
-300	30	1.22	9.99	0	270	0.88	10.33
0	60	1.26	9.95	-30	270	0.87	10.34
-30	60	1.29	9.92	-60	270	0.88	10.33
-60	60	1.36	9.85	-90	270	0.96	10.25
-90	60	1.38	9.83	-120	270	0.98	10.23
-120	60	1.35	9.85	0	300	0.84	10.37
-150	60	1.42	9.79	30	0	1.32	9.89
-180	60	1.28	9.93	60	0	1.37	9.83
-210	60	1.25	9.96	90	0	1.29	9.91
-240	60	1.19	10.02	120	0	1.32	9.88
-270	60	1.13	10.08	150	0	1.27	9.93
-300	60	1.13	10.08	180	0	1.28	9.93
0	90	1.20	10.01	210	0	1.23	9.97
-30	90	1.25	9.96	240	0	1.30	9.90
-60	90	1.30	9.91	270	0	1.38	9.82
-90	90	1.27	9.94	300	0	1.47	9.73
-120	90	1.21	10.00	0	30	1.33	9.88
-150	90	1.16	10.05	30	30	1.27	9.93
-180	90	1.12	10.08	60	30	1.32	9.88
-210	90	1.22	9.99	90	30	1.30	9.90
-240	90	1.14	10.07	120	30	1.28	9.92
-270	90	1.11	10.10	150	30	1.26	9.94
0	120	1.09	10.11	180	30	1.26	9.95
-30	120	1.10	10.11	210	30	1.20	10.00
-60	120	1.14	10.07	240	30	1.28	9.93
-90	120	1.11	10.10	270	30	1.28	9.93
-120	120	1.14	10.07	300	30	1.25	9.95
-150	120	1.08	10.12	0	60	1.26	9.95
-180	120	1.10	10.10	30	60	1.22	9.98
-210	120	1.13	10.07	60	60	1.22	9.98
-240	120	1.12	10.08	90	60	1.29	9.91
-270	120	1.11	10.10	120	60	1.21	9.99
0	150	0.99	10.21	150	60	1.20	10.00
-30	150	1.04	10.17	180	60	1.17	10.03
-60	150	1.05	10.15	210	60	1.27	9.93
-90	150	1.05	10.16	240	60	1.20	10.00
-120	150	1.04	10.17	270	60	1.28	9.92
-150	150	1.03	10.18	300	60	1.21	9.99
-180	150	1.06	10.15	0	90	1.20	10.01
-210	150	1.10	10.11	30	90	1.20	10.00
-240	150	1.12	10.09	60	90	1.15	10.05
-270	150	1.07	10.14	90	90	1.24	9.97
0	180	0.98	10.23	120	90	1.18	10.03
-30	180	0.97	10.24	150	90	1.15	10.06

Puntos del levantamiento topográfico.

ANEXO 1

X	Y	Z (LEC. DIR)	Z(COTAS)	X	Y	Z (LEC. DIR)	Z(COTAS)
180	90	1.13	10.07	150	-60	1.38	9.83
210	90	1.13	10.07	180	-60	1.44	9.77
240	90	1.17	10.03	210	-60	1.45	9.75
270	90	1.25	9.95	240	-60	1.45	9.75
0	120	1.09	10.11	270	-60	1.46	9.74
30	120	1.17	10.04	0	-90	1.42	9.79
60	120	1.23	9.97	30	-90	1.45	9.76
90	120	1.19	10.01	60	-90	1.44	9.76
120	120	1.14	10.06	90	-90	1.53	9.67
150	120	1.11	10.09	120	-90	1.48	9.72
180	120	1.17	10.04	150	-90	1.45	9.76
210	120	1.21	9.99	180	-90	1.44	9.76
240	120	1.27	9.93	210	-90	1.43	9.78
270	120	1.23	9.97	240	-90	1.44	9.76
0	150	0.99	10.21	270	-90	1.49	9.71
30	150	0.98	10.22	0	-120	1.53	9.67
60	150	1.04	10.17	30	-120	1.59	9.61
90	150	0.99	10.21	60	-120	1.53	9.67
120	150	1.11	10.09	90	-120	1.52	9.69
150	150	1.10	10.11	120	-120	1.51	9.69
180	150	1.08	10.12	150	-120	1.43	9.77
210	150	1.14	10.06	180	-120	1.50	9.71
240	150	1.21	9.99	210	-120	1.49	9.72
0	180	0.98	10.23	240	-120	1.48	9.72
30	180	0.89	10.31	270	-120	1.50	9.70
60	180	0.92	10.28	0	-150	1.62	9.58
90	180	0.92	10.29	30	-150	1.58	9.62
120	180	0.99	10.22	60	-150	1.54	9.67
150	180	0.96	10.24	90	-150	1.52	9.69
180	180	1.17	10.03	120	-150	1.52	9.68
210	180	1.20	10.00	150	-150	1.48	9.72
240	180	1.16	10.04	180	-150	1.46	9.74
0	210	0.90	10.31	210	-150	1.47	9.73
30	210	0.85	10.35	240	-150	1.45	9.75
60	210	0.90	10.30	0	-180	1.63	9.58
90	210	0.86	10.34	30	-180	1.62	9.58
120	210	0.87	10.33	60	-180	1.54	9.66
150	210	0.92	10.28	90	-180	1.56	9.64
180	210	0.92	10.28	120	-180	1.55	9.66
0	240	0.88	10.33	150	-180	1.48	9.73
30	240	0.81	10.39	180	-180	1.47	9.73
60	240	0.89	10.31	210	-180	1.47	9.73
90	240	0.88	10.33	240	-180	1.50	9.70
120	240	0.87	10.33	0	-210	1.66	9.54
150	240	0.92	10.29	30	-210	1.62	9.58
0	270	0.88	10.33	60	-210	1.58	9.62
30	270	0.91	10.29	90	-210	1.59	9.61
60	270	0.85	10.35	120	-210	1.57	9.63
90	270	0.89	10.31	150	-210	1.50	9.70
0	300	0.84	10.37	180	-210	1.53	9.67
0	-30	1.42	9.78	0	-240	1.67	9.53
30	-30	1.35	9.85	30	-240	1.64	9.56
60	-30	1.38	9.83	60	-240	1.63	9.57
90	-30	1.40	9.80	90	-240	1.61	9.59
120	-30	1.35	9.85	120	-240	1.63	9.57
150	-30	1.27	9.93	150	-240	1.62	9.58
180	-30	1.27	9.93	180	-240	1.60	9.60
210	-30	1.38	9.82	0	-270	1.64	9.56
240	-30	1.38	9.82	30	-270	1.62	9.58
270	-30	1.45	9.75	60	-270	1.67	9.53
300	-30	1.41	9.79	90	-270	1.59	9.61
0	-60	1.42	9.78	120	-270	1.56	9.65
30	-60	1.39	9.81	150	-270	1.57	9.63
60	-60	1.40	9.80	0	-300	1.67	9.53
90	-60	1.42	9.78	0	-30	1.42	9.78
120	-60	1.45	9.75	-30	-30	1.48	9.72

Puntos del levantamiento topográfico.

X	Y	Z (LEC. DIR)	Z(COTAS)	X	Y	Z (LEC. DIR)	Z(COTAS)
-60	-30	1.45	9.75	-60	-240	1.70	9.50
-90	-30	1.42	9.78	-90	-240	1.66	9.54
-120	-30	1.39	9.81	-120	-240	1.62	9.59
-150	-30	1.38	9.82	-150	-240	1.54	9.66
-180	-30	1.36	9.86	0	-270	1.64	9.56
-210	-30	1.22	9.96	-30	-270	1.70	9.51
-240	-30	1.22	9.98	-60	-270	1.66	9.54
-270	-30	1.32	9.88	-90	-270	1.64	9.57
-300	-30	1.20	10.00	0	-300	1.67	9.53
0	-60	1.42	9.78				
-30	-60	1.48	9.72				
-60	-60	1.43	9.78				
-90	-60	1.42	9.78				
-120	-60	1.43	9.77				
-150	-60	1.38	9.82				
-180	-60	1.38	9.82				
-210	-60	1.32	9.88				
-240	-60	1.31	9.89				
-270	-60	1.32	9.88				
0	-90	1.42	9.79				
-30	-90	1.40	9.80				
-60	-90	1.42	9.78				
-90	-90	1.41	9.80				
-120	-90	1.42	9.78				
-150	-90	1.37	9.84				
-180	-90	1.34	9.86				
-210	-90	1.30	9.91				
-240	-90	1.27	9.93				
-270	-90	1.30	9.90				
0	-120	1.53	9.67				
-30	-120	1.46	9.74				
-60	-120	1.48	9.72				
-90	-120	1.41	9.79				
-120	-120	1.37	9.83				
-150	-120	1.37	9.84				
-180	-120	1.37	9.83				
-210	-120	1.28	9.92				
-240	-120	1.31	9.89				
-270	-120	1.29	9.92				
0	-150	1.62	9.58				
-30	-150	1.55	9.65				
-60	-150	1.59	9.62				
-90	-150	1.57	9.63				
-120	-150	1.44	9.76				
-150	-150	1.40	9.81				
-180	-150	1.32	9.88				
-210	-150	1.25	9.95				
-240	-150	1.34	9.87				
0	-180	1.63	9.58				
-30	-180	1.60	9.61				
-60	-180	1.61	9.59				
-90	-180	1.62	9.58				
-120	-180	1.57	9.63				
-150	-180	1.48	9.72				
-180	-180	1.41	9.79				
-210	-180	1.34	9.86				
0	-210	1.66	9.54				
-30	-210	1.66	9.54				
-60	-210	1.64	9.56				
-90	-210	1.62	9.58				
-120	-210	1.60	9.61				
-150	-210	1.48	9.72				
-180	-210	1.53	9.67				
0	-240	1.67	9.53				
-30	-240	1.70	9.50				

ANEXO 2

Pasos del procedimiento a seguir para el procesamiento de datos de la hoja de cálculo Excel al programa SURFER:

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

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1			P.P. LA PARTIDA						
2			PIVOTE 2						
3									
4		X	Y	Z (LEC. DIR)					
5		-3	-3	1.20					
6		0	0	1.29					
7		-30	0	1.40					
8		-60	0	1.44					
9		-90	0	1.39					
10		-120	0	1.39					
11		-150	0	1.41					
12		-180	0	1.30					
13		-210	0	1.26					
14		-240	0	1.26					
15		-270	0	1.30					
16		-300	0	1.26					
17		0	30	1.33					
18		-30	30	1.31					
19		-60	30	1.35					
20		-90	30	1.36					

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

Microsoft Excel - TOPGRAL

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana Z

Anal 10

K266

P.P. LA PARTIDA
PIVOTE 2

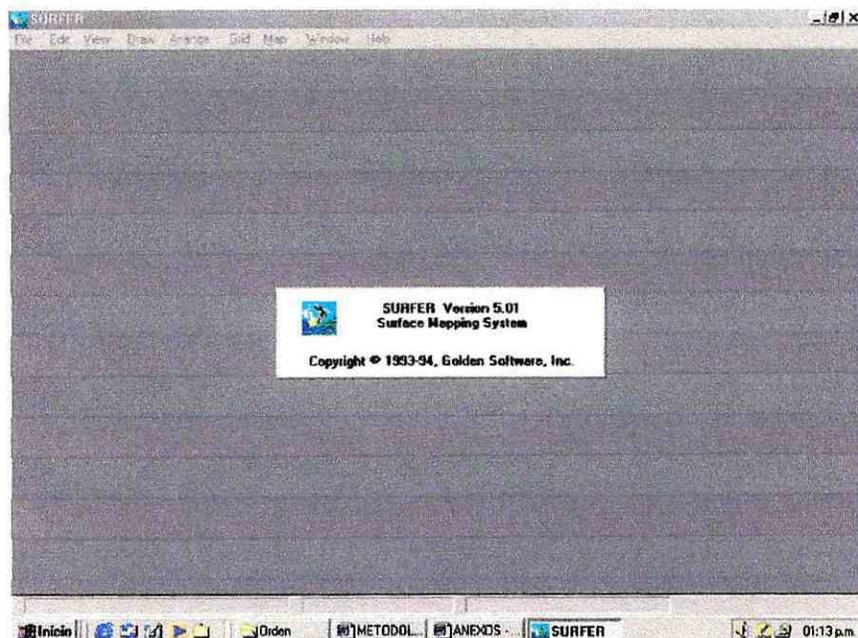
	X	Y	Z (LEC. DIR)	Z (COTAS)
4	-3	-3	1.20	10.00
5	0	0	1.29	9.91
6	-30	0	1.40	9.80
7	-60	0	1.44	9.76
8	-90	0	1.39	9.82
9	-120	0	1.39	9.82
10	-150	0	1.41	9.79
11	-180	0	1.30	9.90
12	-210	0	1.28	9.94
13	-240	0	1.26	9.94
14	-270	0	1.30	9.90
15	-300	0	1.26	9.94
16	0	30	1.33	9.88
17	-30	30	1.31	9.90
18	-60	30	1.35	9.85
19	-90	30	1.36	9.85
20				

Dibujos - Autoformas -

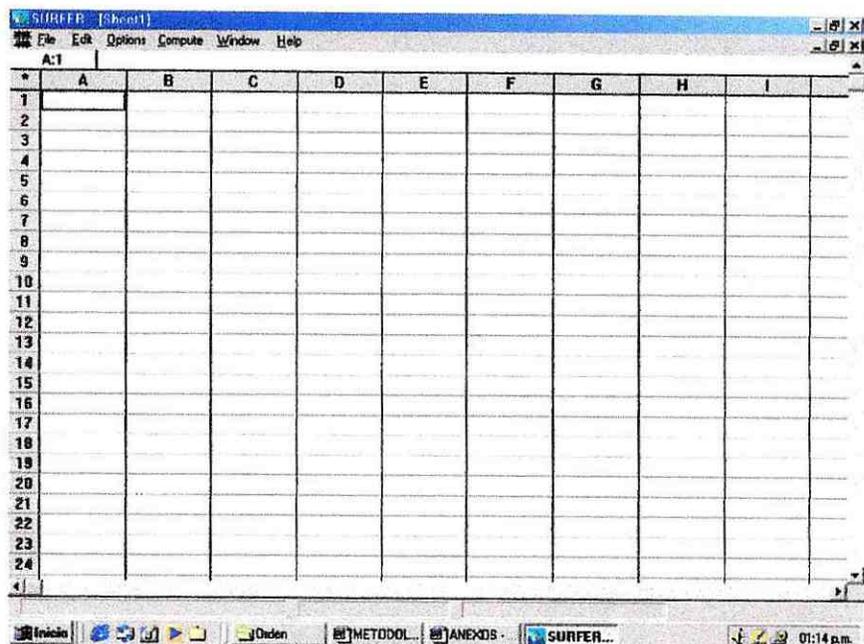
Libro NLM

Inicio chvrot Test... ANE... ML... 01:46 p.m.

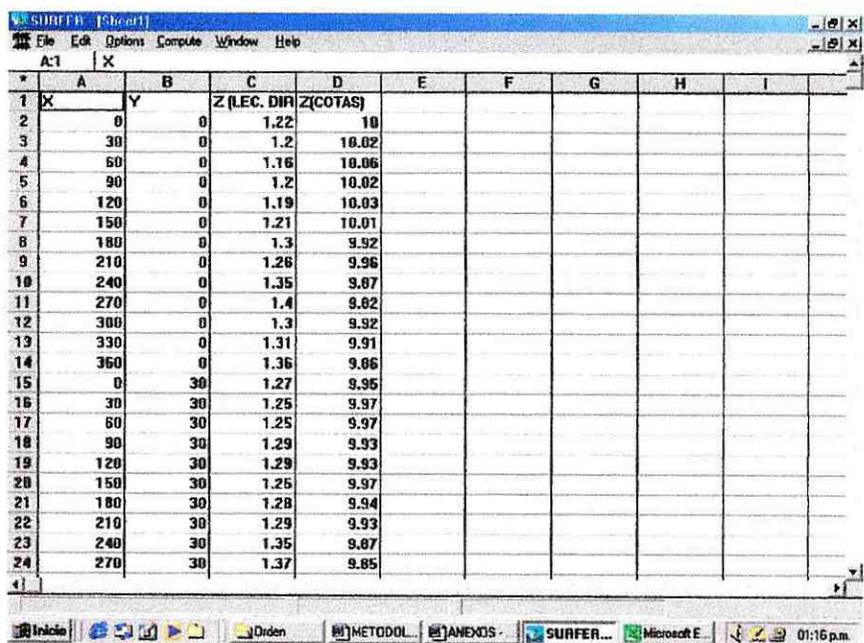
Paso 3. Abrir el programa SURFER:



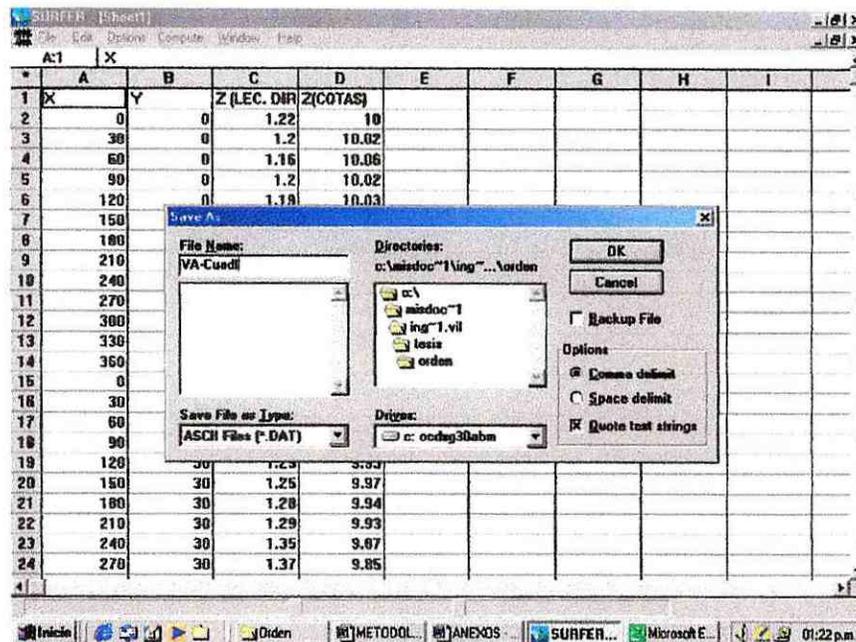
Paso 4. Ir a la Ventana Archivo y dar clic en *Worksheet*:



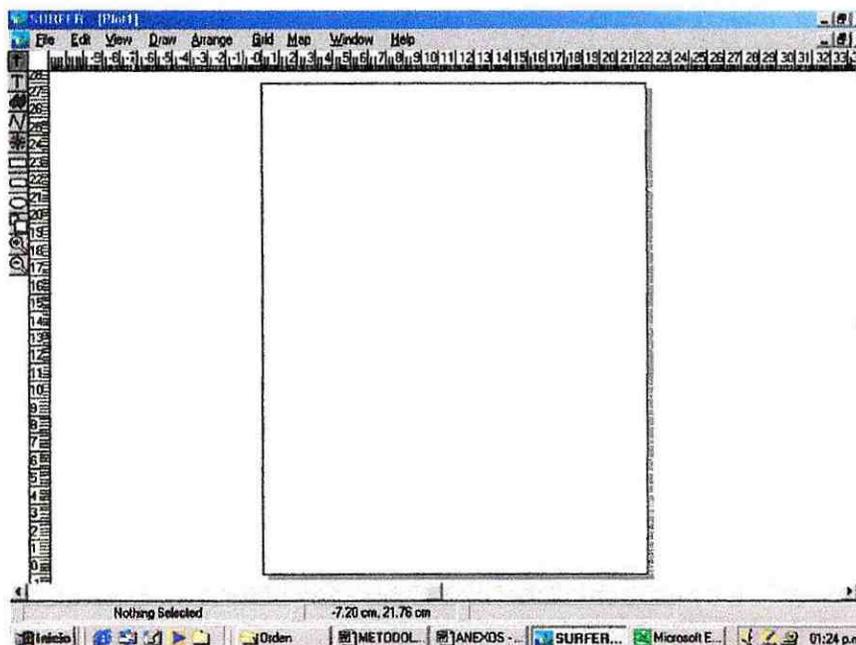
Paso 5. Copiar y pegar los datos de Excel en Worksheet:



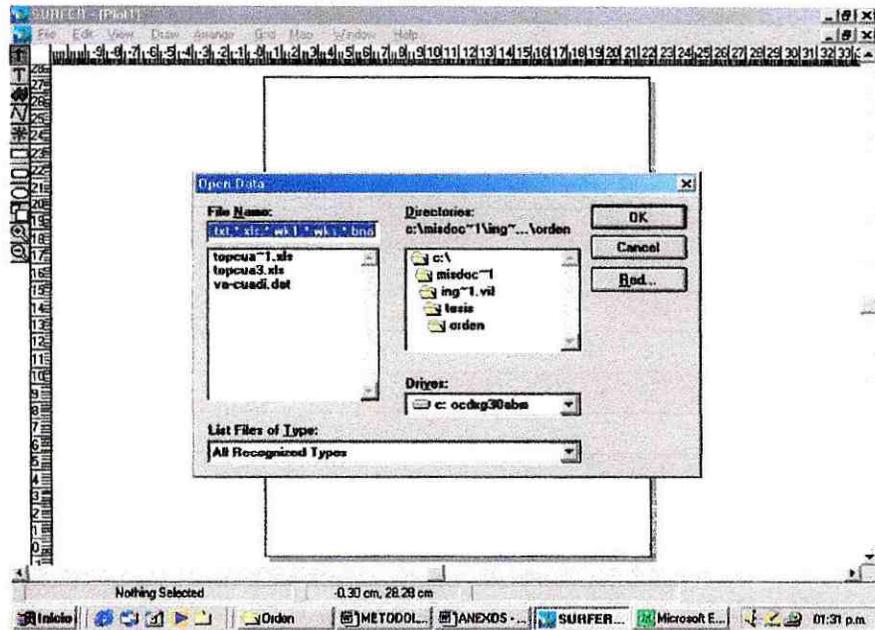
Paso 6. Se guarda el archivo:



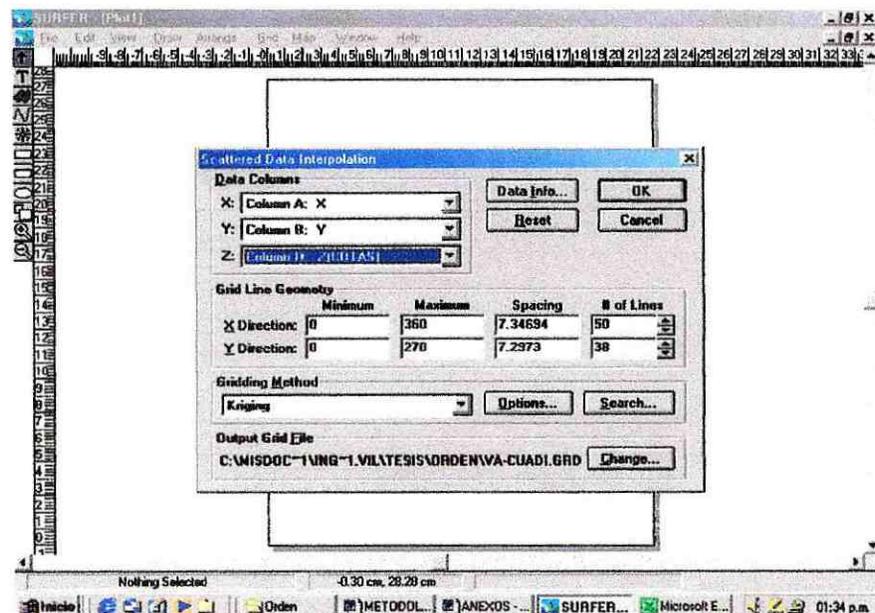
Paso 7. Selecciona *windows* en el menú principal, aparecerá un submenú en el que deberá seleccionar *plot*.



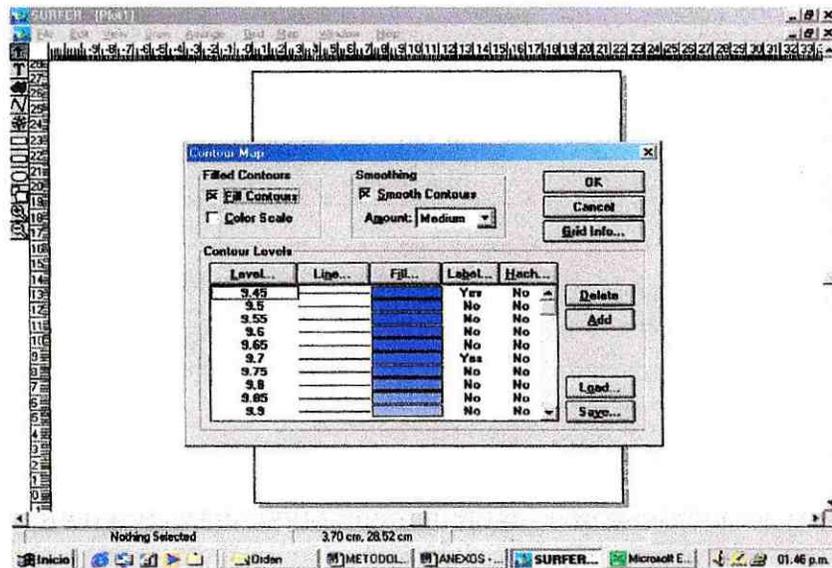
Paso 8. Seleccionar *Grid* del menú principal, aparecerá un submenú y seleccionara la opción *Data*; Abrira el archivo donde se encuentren los datos.



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) creara 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:

