UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

IMPLEMENTACIÓN DE UNA TÉCNICA EN LABORATORIO PARA CUANTIFICAR LA POROSIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMAGEN.

POR:

MAYRA LETICIA FRANCO RAMIREZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO **NOVIEMBRE DEL 2006**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

IMPLEMENTACIÓN DE UNA TÉCNICA EN LABORATORIO PARA CUANTIFICAR LA POROSIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMAGEN.

PRESENTADA POR:

MAYRA LETICIA FRANCO RAMIREZ

TESIS, QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

ASESOR PRINCIPAL:

Dr. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

CO-ASESOR:

Dr. GUILLERMO GONZÁLEZ CERVANTES

ASESOR:

ING. JOEL LIMONES AVITIA

ASESOR:

ING. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO

MC. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Coordinación de la División de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO **NOVIEMBRE DEL 2006**

00045

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS QUE PRESENTA LA C. MAYRA LETICIA FRANCO RAMIREZ Y QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO:

Dr. JOSÈ LIUS REYES CARRILLO

CO-ASESOR:

Dr. GUILLERMO GONZÁLEZ CERVANTES

VOCAL:

ING. JOEL LIMONES AVITIA

VOCAL SUPLENTE:

ING. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO

MC. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Coordinación de la División de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO **NOVIEMBRE DEL 2006**

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

Margarito Franco Rodríguez y **Refugio Ramírez Silva**. Quienes a pesar de todos los momentos difíciles que vivimos, me han compensado con amor, confianza, y apoyado incondicional toda mi vida.

A MIS HERMANOS

Marisa Franco Ramírez. Por todo el sacrificio que realizo por mi, principalmente por la confianza y por no abandonarme nunca (GRASIAS). A **Carmen**, **Nelson** y **Ana Laura** con profundo cariño dedico este triunfo ya que con su aliento y amistad me han ayudado a salir adelante a pesar de mis muchas deficiencias.

A MIS SOBRINOS

Jorge, **Alejandra**, **J. Luís**, **Jennifer**, **Priscila**, **Alonso**, **Miranda**, **Leonardo** y **Daniel**. Por ser parte fundamental de este equipo que me ayudo a alcanzar esta meta (GRASIAS).

PARA: Sergio Alberto Turijan Camargo. Sólo tengo palabras de agradecimiento para ti y tu familia por soportarme y quererme tanto.

PARA MIS AMIGOS

J. Rosario Camargo Huerta y **Ezequiel Donlucas Lozano**. Por todo el cariño y la buena vibra que e recibido de ellos.

A las **(MAPS). Andrea Ruiz**, **Perla García** y **Selene García**. De la 9ª generación de Ingenieros en Procesos Ambientales, por su amistad y todos los momentos agradables que pasamos juntas.

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**. Que después de haberme concedido la gracia de nacer me a dado la oportunidad y la satisfacción de concluir una de mis metas.

A MI **"ALMA TERRA MATER".** Por cruzarse en mi camino, y darme las herramientas para terminar mi carrera como ingeniero.

Al centro de investigación **CENID-RASPA (INIFAP).** Por permitirme la entrada a sus instalaciones, principalmente al laboratorio de física moderna.

Al **Dr. Guillermo González Cervantes.** Por su asesoramiento científico y estímulo para poder terminar mi trabajo de tesis.

Al **Dr. José Luís Reyes Carrillo**. Por su predisposición permanente y por sus substanciales sugerencias durante la redacción de la Tesis.

Al **Ing. Joel Limones Avitia.** Por su valiosa colaboración y buena voluntad, así como en sus observaciones críticas en la redacción de este trabajo.

Al **Ing. Elba Margarita Aguilar Medrano.** Por su colaboración, y acertados aportes durante la redacción de la tesis.

Sin lugar a duda este trabajo no pudo haberse realizado sin la formación que recibí durante cuatro años en la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro "UL".** Gracias a todos los maestros que contribuyeron realmente en mi formación, académica.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág
ÍNDICE DE CUADROS	II
ÍNDICE DE FIGURAS	III
RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
II. OBJETIVOS	4
III. HIPÓTESIS	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1 La imagen y el estudio de las imágenes.	5
4.1.1 Tipos de imágenes.	6
4.1.2 Información contenida en las imágenes.	6
4.1.3 Digitalización de las imágenes.	8
4.1. 4 Conceptos básicos de análisis de imagen.	9
4. 1. 5 El analizador de imágenes.	10
4.2 Suelo.	11
4.2.1 Formación del suelo.	11
4.3 Porosidad del suelo.	12
4.4 El agua en el suelo.	16
4.4.1 El suelo como sistema disperso.	17
4.4.2 Flujo del agua en el suelo.	18
4.4.3 La causa del movimiento del agua en el suelo.	19
4.4.4 Contenido de humedad original del suelo.	19
4.4.5 Características del agua en el suelo.	20

4.4.6 Características del agua. 20

4.5 La Comarca Lagunera. 21

4.5.1 El clima. 22

4.5.2 Cultivos. 22

4.6 Generalidades del nogal pecanero (Cayra Illonoensis, Koch). 23

4.6.1 Origen. 23

4.6.2 Nogal pecanero en México. 23

4.6.3 Nogal pecanero en la Región Lagunera. 24

V. MATERIALES Y MÉTODOS 25

5.1 Localización del sitio experimental. 25

5.2 Técnicas y métodos para cuantificar la porosidad del suelo. 25

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 30

6.1 Comparación del tipo de resina en su distribución en los espacios vacíos. 38

6.2 Cuantificación de la porosidad bajo un programa computacional. 41

VII. CONCLUSIÓNES 43

VIII. LITERATURA CITADA 44

INDICE DE CUADROS

CUADRO		Página
1.	Cultivos perennes en la Región Lagunera ciclo agrícola 2005.	22
2.	Superficie de nogal pecadero en México.	23

INDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Componentes principales de un analizador de imágenes.	10
2	Localización de la Comarca lagunera en el altiplano central y ubicación del CENID RASPA (INIFAP).	21
3	Obtención de las muestras de suelo.	26
4	Dispositivo para realizar la impregnación de las muestras con acetona.	27
5	Dispositivo para realizar el intercambio agua por acetona.	28
6	Desecador para realizar la impregnación de las muestras.	31
7	Dispositivo para realizar el intercambio agua por acetona.	31
8	Desplazamiento del agua por acetona en el sistema.	32
9	Cubos de suelo de 15 cm^3 impregnados con resina.	34
10	Corte y pulido sobre la superficie a analizar.	35
11	Escala para determinar macroporos.	35
12	Microscopio para determinar mesoporos	36
13	Iluminación con luz ultravioleta para determinar macroporos	37
14	Iluminación con luz ultravioleta para determinar mesoporos.	38
15	Impregnación con resina cristal preparada.	39
16	Impregnación con resina omitiendo la entrada a la estufa.	40
17	Muestra impregnada con resina introducida a la estufa.	41
18	Imagen iluminada con luz UV convertida a binaria.	42

RESUMEN

El análisis de imagen es una técnica que permite extraer información cuantitativa de una imagen, la caracterización del espacio poroso de un suelo basado en su organización y distribución espacial puede ser descrito y cuantificado a partir del análisis de imagen. La presente investigación tuvo como objetivo la implementación de una técnica en laboratorio, que permita la cuantificación de la porosidad del suelo en muestras sin disturbar. Para lo cual se consideran tres criterios esenciales para la preparación de las muestras; 1.- La conservación de la estructura original del suelo, cualquiera que sea la naturaleza del material y su humedad. 2.- La posibilidad de realizar cortes verticales u horizontales de gran tamaño, con la finalidad de acrecentar al máximo el campo de observación. 3.- La homogeneidad perfecta de la superficie del bloque para su análisis. Las muestras de suelo se sometieron a un intercambio de agua por acetona e impregnación de dos tipos de resina (cristal preparada y cristal virgen). Los resultados muestran que la resina cristal virgen es la mejor opción para la impregnación de las muestras y para la cuantificación de la porosidad del suelo.

I. INTRODUCCIÓN

El análisis de imagen es una técnica que permite extraer información cuantitativa de una imagen. Las técnicas de análisis son muy diversas. Desde el recuento a ojo de objetos o la medida con regla de un objeto sobre una fotografía, hasta los más modernos estudios mediante material informático de imágenes digitalizadas. La digitalización de las muestras de suelo tiene varias ventajas generales que la hacen necesaria en muchos campos de estudio y, entre ellos, el del análisis de imagen. Ello facilita el cálculo numérico y simplifica el almacenamiento de la información (González y Sánchez, 2004).

La digitalización es convertir en números las coordenadas analógicas de cada punto. Para almacenar cada coordenada cromática suele usarse un byte (8 bits) de memoria, lo cual permite un total de 256 (2^8) niveles de intensidad de iluminación para el caso de luz cromática. Convencionalmente, para el caso de imágenes monocromáticas, los niveles de intensidad son 0 para el negro (intensidad nula) y 255 para el blanco (intensidad máxima) (Hallaire, 1997).

La interpretación de imágenes monocromáticas permite diferenciar el material sólido del vacío existente en el suelo, ello facilita la descripción de la porosidad y su organización espacial (González y Sánchez, 2004).

En términos ambientales el uso de esta técnica permite el mejor aprovechamiento del agua y suelo, ya que la descripción de la porosidad del suelo considerando sólo su volumen (Hallaire *et al.*, 1997) no es suficiente para explicar la dinámica que sigue el agua en el suelo, por lo que la caracterización del espacio poroso basado en su organización y distribución espacial puede ser descrito y cuantificado a partir del análisis de imagen, técnica que cuenta ya con un importante desarrollo en el estudio de la porosidad de los suelos (Bouma *et al.*, 1979; Stengel, 1979; German y Beven, 1981; Bullock y Keague, 1984; Bruand, 1986; Curmi, 1988; Grimaldi y Boulet, 1989-90; Hallaire, 1997., Hallaire *et al.*, 1997; González, 2002). El análisis de imagen se basa principalmente en la obtención y fabricación de monolitos (Bourrier, 1965) de suelo no alterado, para lo cual considera tres criterios esenciales antes del tratamiento de la

nagen: 1. La conservación de la estructura original del suelo, cualquiera que sea la aturaleza del material y su humedad. 2. La posibilidad de realizar cortes verticales u orizontales de gran tamaño, con la finalidad de acrecentar al máximo el campo de bservación. 3. La homogeneidad perfecta de la superficie del bloque para su análisis.

Esta técnica permite caracterizar la organización y distribución espacial de la orosidad a partir de tres criterios morfológicos: tamaño, forma, continuidad de los poros sus variaciones en el perfil. Con el fin de establecer índices ambientales para el manejo el suelo y agua en el sector agropecuario. Lo que puede ser de gran utilidad en los studios edáficos de la Comarca Lagunera.

II. OBJETIVO

Implementación de una técnica en el laboratorio del CENID-RASPA (INIFAP), que permita la cuantificación de la porosidad del suelo en muestras sin disturbar, bajo un programa de computación (Image Pro-Plus® versión 4.5) denominado Análisis de Imagen.

III. HIPÓTESIS

El impacto del manejo del suelo se puede describir, mediante la evolución de los espacios vacíos existentes en el mismo, es decir en la disminución o incremento de los diferentes tamaños y formas de los poros, para ello la implementación y utilización de técnicas avanzadas, permitirá una mejor interpretación y descripción de los procesos físicos que ocurren en el suelo.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. LA IMAGEN Y EL ESTUDIO DE LAS IMÁGENES.

El Análisis de Imagen. Es la separación, identificación y en ocasiones cuantificación de las distintas partes de un sistema complejo. Este sistema complejo en el caso del Análisis de Imagen, es la imagen. La imagen es una percepción visual de la realidad. No es la realidad. Nosotros percibimos las imágenes con la ayuda de unos órganos especializados en esta función, que son el cerebro y el órgano visual. Además de generar imágenes, el cerebro humano puede operar con imágenes. Las principales operaciones son (López *et al.*, 1994):

1.- Globalizar y cuantificar características de las imágenes.
2.- Comparar y clasificar imágenes.

Ante las limitaciones del cerebro humano para obtener información a partir de las imágenes, el hombre ha aprendido a utilizar técnicas auxiliares. Esa mejora se consigue a tres niveles distintos (Martínez, 1995).

La captación. Constituye un paso intermedio entre la realidad y nuestra percepción de la misma. A ese nivel, se ha desarrollado una serie de técnicas que permiten conseguir una percepción no humana de la realidad y, con ello, diferir la auténtica percepción y hacerla altamente objetiva. Para ello se utiliza una serie de soportes que permiten la obtención posterior de las imágenes. Estamos hablando de las cámaras fotográficas y de vídeo.

El análisis. Se trata de cualquier proceso mediante el que se pueda extraer información cuantitativa de una imagen.

El procesado. Se trata de cualquier manipulación de una imagen para producir otra, generalmente con la intención de analizarla después.

4.1.1. TIPOS DE IMÁGENES.

Las imágenes surgen de la interferencia entre ondas electromagnéticas y objetos materiales. De acuerdo con la clase de interferencia distinguimos tres tipos de imagen (Pertusa, 2003):

Imágenes de transmisión. En estas, las ondas electromagnéticas atraviesan el objeto, el cual se muestra más o menos resistente al paso de las mismas. En nuestra percepción, el órgano visual detecta como más intensos los puntos del objeto más permeables al paso de las ondas. Para que se pueda dar esta transmisión de ondas a pesar de la resistencia al paso de los objetos, éstos deben ser objetos finos.

Imágenes de reflexión. Aquí las ondas inciden sobre el objeto y se reflejan con un ángulo que depende principalmente del ángulo de incidencia. Se obtienen imágenes de este tipo mediante la lupa binocular y el microscopio electrónico de barrido.

Imágenes de emisión. Estas se producen por las ondas emitidas por el objeto, previa excitación por radiación de determinada longitud de onda.

El caso más característico es el del microscopio de fluorescencia, donde los objetos son iluminados con longitudes de onda apropiadas para producir la absorción de determinadas radiaciones (azul, violeta, ultravioleta) y la emisión de otras (a menudo roja, amarilla, verde y azul) (Ballarol. 2002).

4.1.2. INFORMACIÓN CONTENIDA EN LAS IMAGENES.

Cuando obtenemos imágenes tenemos un problema inherente y es que se da una pérdida de información respeto a la realidad. Vivimos en un mundo tridimensional y nos movemos en el espacio, pero cuando se capta una imagen obtenemos una percepción bidimensional porque en su elaboración, media la

proyección de ondas electromagnéticas sobre un plano. En el caso de un ojo este plano es su retina; en las cámaras fotográficas, su placa; en las cámaras de vídeo, sus sensores. A pesar de esto, las personas pueden percibir sensaciones espaciales, elaboradas por nuestro cerebro a partir de información virtual especial contenida en las imágenes. Es el caso de las líneas de fuga, que son líneas concurrentes en un punto de la imagen que dan la sensación de perspectiva o las luces y las sombras (Martínez y San Pedro, 1995).

Por otra parte, la información que percibimos en una imagen es de dos tipos: espacial, tal como la forma, el tamaño o la distribución de los objetos, y espectral, relacionada con la intensidad con la que se reciben los tres colores básicos rojo, verde y azul de las imágenes cromáticas. Esa información, podemos vincularla a los puntos de un sistema cartesiano de cinco coordenadas (dos espaciales, correspondientes a la proyección plana de los objetos, y tres cromáticas) (Balbuena, 2006):

Coordenadas espaciales (X, Y).
Coordenadas espectrales (rojo, verde, azul).

En ocasiones, debido a las herramientas usadas para la obtención de imágenes o para poder trabajar mejor con las mismas, se realiza una conversión de imágenes cromáticas (color) en monocromáticas (escala de grises) o en binarias (sólo dos colores). Esta conversión reduce el número de coordenadas a tres (Ballarol, 2002):

Coordenada espacial (X).
Coordenada espacial (Y) coordenada de intensidad de luz monocromática o binaria.

4.1.3. DIGITALIZACIÓN DE LAS IMÁGENES.

Por lo general, las imágenes que obtenemos a través de sistemas de captación no son apropiadas para someterlas a análisis. A menudo, para eso necesitamos transformarlas y esa transformación requiere la conversión de magnitudes analógicas en digitales. Como sabemos, las magnitudes analógicas poseen variación continua y, por ello, representan más fielmente la dinámica de los procesos reales continuos (por ejemplo, la medida del tiempo mediante un reloj de manecillas). Por el contrario, las magnitudes digitales varían de modo discreto y, por ello, representan de modo más artificial la dinámica de los procesos reales continuos (por ejemplo, la medida del tiempo mediante un reloj digital) (González y Sánchez, 2004).

La digitalización consiste en la transformación de un modo de medir en otro. Esta digitalización suele implicar una pérdida de información, porque al estimar el número de unidades de medida que equivalen a la magnitud analógica hemos de redondear. La magnitud analógica (el valor real) está dentro del intervalo de la unidad correspondiente de la magnitud digital, pero, hecha la transformación, no es posible saber exactamente donde se encuentra. A pesar de este problema, la digitalización tiene varias ventajas generales que la hacen necesaria en muchos campos de estudio y, entre ellos, el del análisis de imagen. Por una parte facilita el cálculo numérico y por otra simplifica el almacenamiento y copia de la información (Pertusa, 2003).

En el campo de las imágenes, digitalizar significa convertir en cifras las coordenadas analógicas de cada punto, es decir, las espaciales y las espectrales. En el caso de las coordenadas espaciales, cada punto de la imagen es proyectado sobre una estructura de diminutos puntos (pixeles) o elementos sensibles a la luz, ordenados cartesianamente, los cuales están en el aparato de captación. Píxeles, es la abreviatura de (*picture element)* o en castellano elemento de la imagen. La resolución de una imagen digitalizada es el número de pixeles. A mayor número de

pixeles, mayor resolución. Generalmente, cuanto más alto es el número de pixeles, mayor es la calidad de la imagen. En el caso de las coordenadas espectrales hablamos de intensidades de luz. Cada elemento sensible del aparato produce una intensidad de corriente proporcional a la intensidad de luz que recibe. Estos valores son llevados a una matriz de números que constituyen el resultado de la digitalización. Cada pixeles, que ocupa una coordenada espacial dentro de la matriz XY, presentará tres valores de intensidad de luz cromática, o un valor de intensidad de luz monocromática (Balbuena, 2006).

4.1.4. CONCEPTOS BÁSICOS DE ANÁLISIS DE IMAGEN.

Campo. Es el punto de partida en un proceso de análisis. Muchos libros de texto definen el campo como la totalidad de una imagen. No obstante, Visilog 5 utiliza una definición algo distinta. En esta aplicación existe una "pantalla de campo" en la que se puede situar la totalidad o sólo una parte de una imagen completa (la cual siempre será visible en el área "imagen"). Y como solución podríamos llamar campo a la totalidad de una imagen o una parte seleccionada de ella. (Balbuena, 2006).

Objeto. Como un detalle de mayor importancia. Esta definición es evidentemente convencional. Lo que puede ser importante para un investigador puede no serlo para otro. Los objetos de una imagen no tienen por qué coincidir con objetos biológicos reales (Martínez y San Pedro, 1995).

Fondo. Es lo que resta de una imagen al sustraer los objetos del campo.

Segmentación. Es el proceso que lleva a la diferenciación entre objetos y es una operación de procesado de imagen. Frecuentemente la segmentación incluye varios procesos de tratamiento de la imagen. Como es el caso de la binarización. Que consiste en el paso de una imagen cromática o monocromática (escala de grises), a una imagen binaria. En esta última aparecerán sólo dos valores de intensidad de luz (0,1 como apagado, encendido) en función de los valores previos de los pixeles en la imagen original. Cuando se pretende la segmentación se intenta que los pixeles

correspondientes a objeto tengan el mismo valor y este sea diferente al de los pixeles que corresponden a fondo. Para conseguirlo, debe buscarse un intervalo de valores de intensidad de luz monocromática dentro del cual los pixeles se consideren pertenecientes a objeto. Para la determinación de los objetos basta localizar grupos de pixeles de igual valor (Pertusa, 2003).

4.1.5. EL ANALIZADOR DE IMÁGENES.

La mayoría de los sistemas de análisis de imagen actuales se organizan entorno a ordenadores personales, los cuales tienen como componentes principales los siguientes elementos, como se muestra en la figura 1:

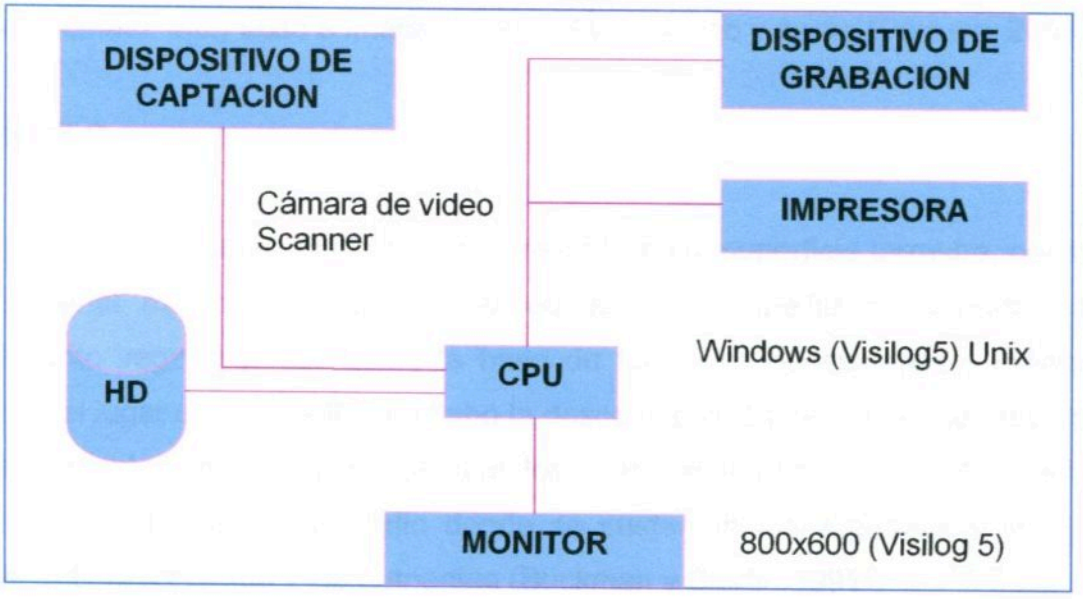

Figura 1. Componentes principales de un analizador de imágenes.

CPU. Es el microchip encargado de ejecutar las instrucciones y procesar los datos que son necesarios para todas las funciones del computador. Se puede decir que es el cerebro del computador (Martínez y San Pedro, 1995).

Monitor. Elemento hardware que está constituido básicamente por un tubo de rayos catódicos, más sus conexiones al CPU y dispositivos de encendido y

apagado, controles de imagen, pantalla-display, etc. Su operación está gobernada por el sistema operativo (Martínez y San Pedro, 1995).

HD. (Disco duro): Dispositivo de almacenamiento de datos mediante tecnología magnética que consta de un disco en el que se graba la información, para recuperarla posteriormente gracias a una o varias cabezas lectoras – grabadoras (Ballarol, 2002).

Dispositivos de captación. Hace referencia a cámaras fotográficas, cámaras de video, scanner, etc. (Pertusa, 2003).

Impresora. Periférico del ordenador diseñado para copiar en un soporte "duro" (papel, acetato, etc.) texto e imágenes en color o blanco y negro (Pertusa, 2003).

4.2. SUELO.

El suelo es un producto natural, presente en la superficie terrestre, constituido por material mineral y orgánico disgregado. Es el medio de soporte para el crecimiento vegetal y, por tanto, la base de todos los ecosistemas terrestres. Es también el lugar en que se lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica y al que retornan los productos minerales en los ciclos de nutrientes. Constituye el hábitat para muchos animales, el medio donde se sustentan los vegetales y el lugar de donde obtienen el agua y los nutrientes (Buckman y Brady, 1991).

4.2.1. LA FORMACIÓN DEL SUELO.

El suelo es el resultado de la interacción de cinco factores: el material madre, el clima, los factores bióticos, la topografía y el tiempo. El material madre es el substrato a partir del cual se desarrolla el suelo. El clima influye en la formación del suelo a través de la temperatura y la precipitación, así como sobre la vida animal y vegetal. Los factores bióticos plantas, animales, bacterias y hongos son el origen de

la materia orgánica del suelo, y los que facilitan su mezcla con la materia mineral. La topografía afecta a la cantidad de agua que penetra en el suelo y a la tasa de erosión. El paso del tiempo es necesario para un desarrollo completo del suelo (Gavande, 1979).

4.3. POROSIDAD DEL SUELO.

La porosidad es la relación entre el volumen de los espacios vacíos y el volumen total de la masa del suelo (Stengel, 1997). En un suelo hay varios tamaños de poros y cada uno tiene una función específica. Poros grandes y medianos: facilitan la aireación y la infiltración, permiten la circulación del aire y el agua. Poros pequeños: conducen el agua y los microporos almacenan agua. La proporción de los poros grandes y pequeños en el suelo permite establecer un equilibrio aire-agua. Los poros permiten el desarrollo y la nutrición de la raíz y planta y toda actividad del suelo (González y Sánchez, 2004).

La porosidad del suelo se determina principalmente por el acomodo de las partículas sólidas. Los suelos arcillosos y orgánicos, ricos en coloides, generalmente tienen altos valores de porosidad alrededor de 0.6 cm^3/cm^3 debido a que las cargas eléctricas de estos coloides generan un acomodo de partículas con mucho espacio libre (poros). Los suelos arenosos contienen bajos valores de porosidad, debido a la baja capacidad reactiva de sus partículas; sus valores aproximados son de 0.4 cm^3/cm^3. En suelos compactados se pueden observar valores de porosidad de 0.3 cm^3/cm^3 (García, 2005).

Los poros por su diámetro, son clasificados conceptualmente, como macroporos y microporos; los macroporos permiten el libre movimiento de agua y aire, y miden más de 30 micras de diámetro. Los microporos tienen menos de 30 micras de diámetro y retienen entre este valor y unas 0.2 micras el agua que generalmente utilizan las plantas. Los poros de menor diámetro retienen muy fuertemente el agua del suelo (Narro, 1994).

El tamaño de los poros también tiene importancia en el crecimiento de las raíces. El diámetro promedio de estas en plantas anuales es de alrededor de 0.03 cm., con pelos radicales de 0.001 cm. El volumen del suelo ocupado por las raíces es de alrededor de 1% (Shaxson y Barber, 2003).

La importancia agrícola de la porosidad del suelo es muy grande y sus características dependen de la textura, estructura, contenido de materia del suelo, tipo e intensidad de cultivos, labranza y otras características del suelo y su manejo. Como regla general, los suelos bajo sistemas de producción agrícola intensiva tienden a compactarse, y al reducir su porosidad pierden parte de su potencialidad de producción (Narro, 1994).

El flujo del agua en el suelo se realiza por espacios vacíos (porosidad); de ahí que la organización y características de estos espacios condicionen el transporte y retención del agua, para posteriormente ser aprovechados por las plantas o para alimentar los mantos acuíferos. Un parámetro hidrodinámico como la conductividad hidráulica a saturación depende en gran medida de la abundancia relativa y de la distribución espacial de los vacíos existentes en el suelo; la descripción de tales espacios, considerando solo un volumen, generalmente no es suficiente para explicar la dinámica que sigue el agua en el suelo (González,2002) por lo que la caracterización del espacio poroso basado en los caminos de circulación preferencial del agua puede ser descrita y cuantificada a partir de tres criterios morfológicos: tamaño, forma y continuidad de los poros y sus variaciones en el perfil. Esto puede realizarse a través de técnicas de análisis de imagen procedimiento que cuenta ya con un importante desarrollo en el estudio de la porosidad del suelo (González y Sánchez, 2004).

La porosidad es la cuantificación del espacio ocupado por poros en un sustrato, y también se denomina espacio de poros, espacio poroso o espacio vacío. Normalmente se expresa como porcentaje respecto al volumen aparente del sustrato. El volumen aparente es el volumen que ocupa un sustrato incluyendo la

materia sólida y los poros internos y externos, tanto los abiertos como los cerrados. La Densidad aparente (Da) es la relación entre la masa o peso de las partículas y el volumen aparente que ocupan. La porosidad externa es la que se genera por el propio empaquetamiento de las partículas y depende del modo de empaquetamiento, tamaño del contenedor, forma, tamaño y naturaleza de las partículas. La porosidad interna depende de la naturaleza de las partículas, estado e interconexión de los poros. La porosidad interna puede estar abierta o cerrada. Los poros abiertos son los que tienen conexiones con el sistema de poros externos y también se denominan poros percolantes. Los poros cerrados o no percolantes son los que no tienen conexión con el sistema de poros externos. La porosidad efectiva es la porosidad percolante, abierta o interconectada, que es la que contribuye a la retención y movimiento del agua en el suelo (Burés, 1997).

El espacio de los poros de un suelo es la porción ocupada por aire y agua. La cantidad de este espacio viene determinada casi totalmente por la colocación de las partículas sólidas. Si ellas tienden a ligarse estrechamente entre si, como en las areniscas o en subsuelos compactos, la porosidad total es baja. Si se colocan en agregados porosos, como en el caso frecuente de una textura media de los suelos altos en materia orgánica, el espacio de los poros será más elevado, por unidad de volumen. En los suelos existen en general dos tipos de poros, macro y microporos. Mientras no se exija una línea sutil de demarcación, diremos que los macroporos están caracterizados por permitir el libre movimiento del aire y la filtración del agua. Por el contrario, en el microporo de poro, el movimiento del aire está casi enteramente impedido y el del agua muy restringido, hasta incluso retardar el movimiento capilar. Así, en un suelo arenoso, a pesar de su porosidad total baja, el movimiento del aire y del agua es sorprendentemente rápido por el predominio de los microespacios (Buckman y Brady, 1991).

En el suelo se distinguen tres tipos de poros en función de su tamaño; macro, meso y micro poro. Los macro poros, o porosidad no capilar, esta formada por espacios grandes, ocupados frecuentemente por aire. A menudo se presentan en

forma de grietas que separan los agregados e incluso penetran en los mismos. Su importancia depende sobre todo de la estructura del suelo, su grado de fisuración y parcialmente de la textura. Es más elevada en los suelos arenosos. Los microporos dependen también de la estructura pero sobre todo de la textura (arcilla) y de la actividad biológica. Es muy grande en los suelos ricos en elementos finos y en los dotados de una microfauna numerosa y activa (Fitzpatrick, 1987).

El uso intensivo y prácticas inoportunas de labranza a lo largo de estos 40 años, ha conducido a la degradación estructural del suelo afectando principalmente las capas superficiales y subsuperficiales, lo que puede ser descrito y cuantificado a partir de la abundancia relativa y de la distribución espacial de espacio poroso (González, 1995).

El flujo del agua en el suelo se realiza por los espacios vacíos (porosidad), de ahí que la organización y las características de estos vacíos condicionen el transporte y la disponibilidad del agua para, posteriormente, ser aprovechados por los nogales o alimentar los mantos acuíferos. La relación entre el manejo del huerto y la infiltración del agua se puede obtener mediante la abundancia relativa y distribución espacial del espacio poroso. (González y Sánchez, 2004).

La evolución de la estructura de las capas superficiales y subsuperficiales del suelo, resulta en parte el impacto de las prácticas de labranza. Por lo tanto el funcionamiento hídrico (retención, infiltración y escurrimiento) de estas capas esta en función del arreglo de la estructura (SAGARPA, 2004).

La búsqueda de técnicas o métodos de análisis que consideren la observación y cuantificación de los espacios vacíos a la escala mm^2 sobre muestras de suelo no alteradas condujo a establecer un método de aproximación para caracterizar morfológicamente la porosidad mediante un análisis de imagen. La descripción de la porosidad del suelo considerando solo su volumen no es suficiente para explicar el impacto del manejo del huerto en la condición física y dinámica que sigue el agua en

00045

el suelo, por lo que las características del espacio poroso basado en su organización y su distribución espacial puede ser descrito y cuantificado a partir del análisis de imagen. (González y Sánchez, 2004).

La porosidad depende de la textura, de la estructura y de la actividad biológica del suelo. Para una correcta aireación del suelo y una buena retención de agua, es conveniente que la porosidad se sitúe entre el 40 % y el 60 %. Valores menores del límite inferior pueden crear asfixia en las raíces, contenidos de agua retenida muy bajos, o ambas cosas a la vez. Un valor superior al límite máximo supone una dificultada para el contacto entre el suelo y las raíces de las plantas (Donrroso, 2003).

Una porosidad elevada es extremadamente favorable a la vegetación ya que facilita el arraigamiento, asegura la conservación del agua y favorece los cambios entre el vegetal y el suelo, permitiendo la difusión del agua y del aire. Pero el espacio poroso se halla distribuido entre toda la masa del suelo, existiendo huecos de diferentes formas y tamaños con orientaciones muy distintas (Baver *et al.*, 1980).

Naturalmente, la circulación del agua está influida por el volumen ocupado por la macro porosidad, pero también por la forma y distribución de los poros correspondientes (Shaxzón *et al.*, 2003).

4.4. EL AGUA EN EL SUELO.

El suelo es un sistema de gran complejidad, constituido por material sólido, líquido y gaseoso. La fase sólida puede ser mineral u orgánica; la porción mineral es un conjunto de partículas de varios tamaños, formas y estructura química y la porción orgánica incluye residuos vegetales o animales en diferentes estados de descomposición, así como organismos vivos en plena actividad. La fase liquida es el agua, que llena total o parcialmente los espacios libres entre las partículas del suelo y que varia en su composición química y en su facilidad de movimiento. La fase

gaseosa o de vapor ocupa el espacio poroso entre las partículas del suelo que no está lleno con agua; su composición varía ampliamente en intervalos de tiempo relativamente cortos. Entre los mas importantes fenómenos relacionados con los suelo se encuentran los de naturaleza netamente física, asociados con propiedades que dependen de las interacciones entre las partículas sólidas y el liquido presente en el espacio poroso. Por esta razón, se ha hecho fundamental profundizar y difundir el conocimiento de las propiedades y comportamiento del sistema suelo-agua, en relación con sus condiciones climatológicas, el crecimiento de las plantas y el ciclo hidrológico (Gurovich, 1999).

La física de los suelos es el estudio del estado y transporte de materia y energía en el suelo. Actualmente, la investigación en aspectos fundamentales y aplicados a la física de suelos es llevada a cabo a través de todo el mundo en relación con la hidrológia, ecología, ingeniería y agricultura. Dado que el suelo es escenario en todo momento de complejas interacciones entre sus componentes, es extremadamente difícil definir su estado físico en un momento determinado (Baver *et al.*, 1980).

4.4.1. EL SUELO COMO SISTEMA DISPERSO.

El termino "suelo", alude a la capa más superficial de la corteza terrestre que ha sufrido los efectos del clima y se a fragmentado en partículas. Inicialmente se ha formado por la desintegración y descomposición de rocas a través de procesos físicos y químicos, y ha sufrido también los efectos de la actividad y acumulación de residuos de numerosas especies biológicas. El suelo puede ser estudiado y descrito desde muchos puntos de vista, por lo tanto la ciencia del suelo es en realidad un conglomerado de varias disciplinas separadas pero interdependientes. En los sistemas dispersos por lo menos una de las fases esta subdividida en pequeñas partículas que en conjunto muestran un área superficial considerablemente grande. Ejemplos de sistemas dispersos frecuentes en la naturaleza son: los suelos coloidales, los geles, las emulsiones y los aerosoles. El suelo es un sistema

heterogéneo, polifásico, particulado, disperso y poroso. La naturaleza dispersa de los suelos y la actividad en la interfase entre las partículas, resultante de esta naturaleza, da origen a fenómenos como expansión, contracción, dispersión, agregación, adhesión, adsorción, intercambio iónico y otros (Fitzpatrick, 1987).

El suelo es en consecuencia un sistema realmente complejo. Su matriz sólida consiste en partículas que difieren en composición química y mineralógica, así como en tamaño, forma y orientación. La acomodación u organización de estas partículas en el suelo determina las características de los espacios porosos, en los cuales el agua y el aire son transportados o retenidos. El agua y el aire varían en composición tanto en el tiempo como en el espacio (López, *et al.*, 1994).

4.4.2. FLUJO DEL AGUA EN EL SUELO.

En la realidad, cuando la variable tiempo interviene en las relaciones entre agua y el suelo, sobreviene un proceso dinámico, llamado *flujo de agua en el suelo*, que se desarrolla intensamente y con velocidades y direcciones variables, entre diferentes puntos del perfil del suelo (Chávez, 2004).

Entre los principales procesos de flujo de agua en el suelo debe destacarse: la infiltración o entrada de agua al perfil del suelo, la redistribución del agua entre puntos diferentes del perfil, el drenaje o paso del agua bajo la zona radical, la evaporación o pérdida de agua en forma de vapor hacia afuera del perfil del suelo y por último el movimiento del agua desde el suelo hacia las raíces de las plantas. Todos estos procesos de flujo, que actúan de forma simultánea o secuencial, determinan el contenido de agua en un punto del suelo en un instante dado; normalmente esa condición no representa una situación de equilibrio. El conocimiento de las velocidades de flujo de cada uno de los procesos mencionados y la resultante de estos, constituyen la evaluación de la economía del agua en el suelo llamada también "balance hidrológico" del suelo (Martínez, 1971).

El balance hidrológico del suelo indica la posibilidad de la planta de desarrollar actividad productiva (fotosíntesis) a través de la transpiración; modificaciones artificiales de este balance. Como sucede en los cultivos. En ese sentido, el estudio de las velocidades relativas de los procesos de flujo de agua en el suelo determina en buen medida la frecuencia del riego (cuando regar) y en forma indirecta la lámina de riego, o sea, la tecnología del riego (Fuentes y García, 1999).

4.4.3. LA CAUSA DEL MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO.

La velocidad del flujo del agua en el suelo está determinada por dos factores principales: a) La fuerza que actúa sobre cada porción del volumen de agua y b) La resistencia al flujo, ofrecida por el espacio poroso del suelo. La fuerza que actúa sobre el volumen del agua del suelo está presentada a su vez por dos términos: la fuerza presentada, que hace que el agua caiga a un nivel menor y la fuerza debida a las diferencias de presión hidrostática en diferentes puntos del sistema, existiendo la tendencia a moverse de una zona alta a una de baja presión. Si la temperatura varia a través del sistema o si varia la concentración de sales, se afectara, la presión de vapor de agua y existirá un transporte de agua por difusión en la fase de vapor (Yépez, 2004).

4.4.4. CONTENIDO DE HUMEDAD ORIGINAL DEL SUELO.

Este factor también influye en la entrada de la precipitación, puesto que es obvio que si el suelo esta saturado ya no puede admitir más agua. Esas condiciones se presentan en las partes bajas de las pendientes y en las depresiones en donde se acumulan los escurrimientos y el agua freática llega a la superficie. En esos sitios, la precipitación se acumula formando depósitos temporales o permanentes (Voisin y Orona, 1993).

4.4.5. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA EN EL SUELO.

El estado y movimiento del agua en el suelo son muy complejos y, por tanto, un concepto general tiene que ser presentado como cierto número de etapas, seguido de unos cuantos ejemplos que ilustren las interrelaciones.

El estado del agua en el suelo varía desde uno en que es libre, para circular por el mismo, hasta aquel en que está adsorbida firmemente en la superficie de las partículas, de tal manera que el agua es retenida en el suelo con diversos grados de tensión o succión. La tensión con que el agua es retenida se expresa en muchas formas, pero un modo común de hacerlo es en bares. La tensión que se requiere para sostener una columna de agua de 1000 cm de altura es alrededor de 1000 milibares o 1 bar (Chávez, 2004).

4.4.6. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA.

Dos características importantes de la humedad del suelo son la Capacidad de campo y el Punto de marchitez permanente. Después de que el suelo se ha saturado y se ha drenado el exceso de agua, se dice que respecto a la humedad se encuentra en su Capacidad de campo y el agua es mantenida a una tensión de alrededor de 50 milibares. Si hay plantas creciendo en ese terreno, extraerán agua hasta que ya no puedan hacerlo y luego se marchitarán y finalmente morirán si el suelo no se vuelve a humedecer. El punto en que se inicia la marchitez permanente. Es cuando el agua esta retenida a unos 15 milibares, pero ese valor tiene ligeras diferencias de una especie de planta a otra y entre un suelo y otro. Así pues el agua disponible para las plantas es la que se encuentra entre los puntos de capacidad de campo y de marchitamiento Permanente. Esta cantidad varia de suelo a suelo, siendo mayor en los limos y menor en las arenas (Medina, 2000).

4.5 LA COMARCA LAGUNERA.

Se localiza en el altiplano central al Norte de México entre los meridianos 102° 30' y 104°48' de longitud Oeste y los paralelos 24°25' y 26° 55' de longitud Norte. Cuya altitud es de 1,139 msnm y está limitada al Oeste por la Sierra Madre Occidental, donde la altitud varía de 2,000 a 3,200 metros, al Este por la Sierra Madre Oriental, cuya altitud varia de 1,800 a 2,500 metros. Estas barreras orográficas determinan el clima árido y semiárido que predominan en la región. La localización hidrológica de esta región es la cuenca baja de los Ríos Nazas y Aguanaval figura 2 (SAGARPA, 2004).

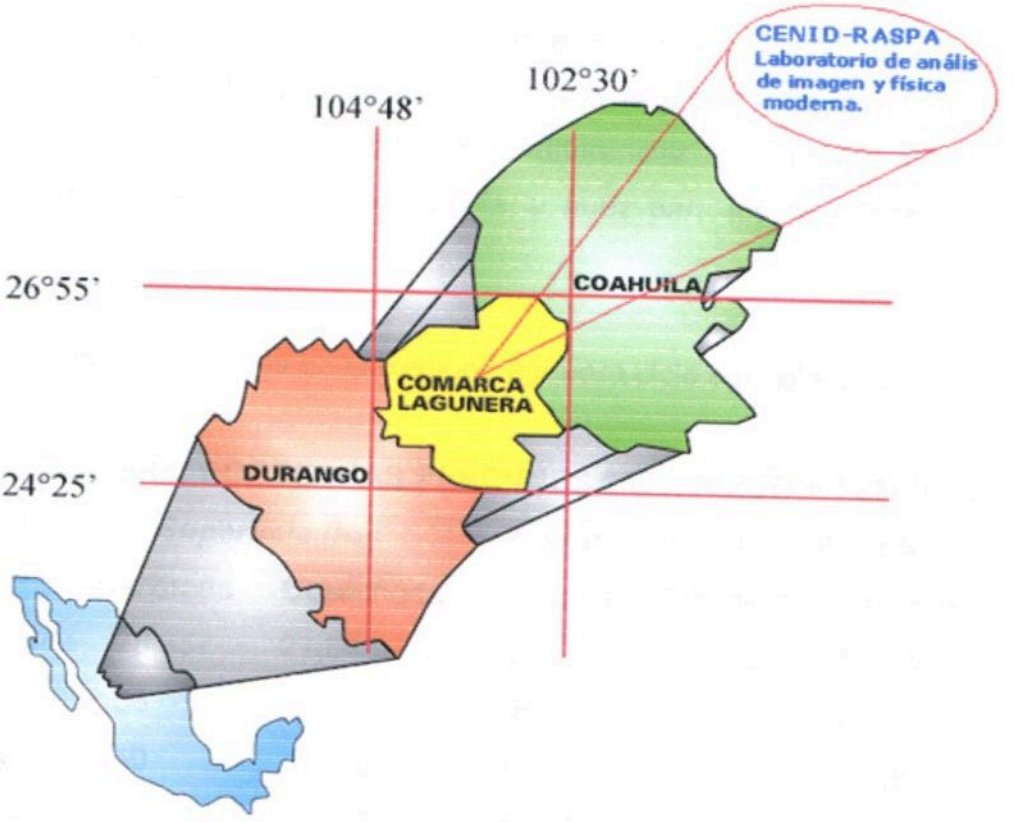

Figura 2. Localización de la Comarca Lagunera en el altiplano central y ubicación del CENID-RASPA (INIFAP).

4.5.1. EL CLIMA.

La Comarca Lagunera en su conjunto tiene una precipitación media anual de 253 mm, apenas el 31% de la precipitación media nacional (777 mm) y una temperatura máxima en los últimos 10 años de 29° C, una mínima de 12° C y una temperatura media de 20° C, con una evaporación potencial medida en el tanque evaporimetro tipo A, del orden de 2,100 milímetros anuales y la evapotranspiración real de 1700 a 1800 milímetros para el cultivo de alfalfa, lo que clasifica su clima como seco templado (Chávez, 2004).

4.5.2. CULTIVOS.

En el cuadro 1. Se presenta la superficie sembrada y cosechada del año 2005 para la Comarca Lagunera, además se muestra la producción y rendimiento para cultivos perennes. Dicho cuadro permite diferenciar los cultivos por orden de importancia para los semiperennes alfalfa, y nuez para los perennes (SAGARPA, 2004).

Cuadro 1. Cultivos perennes en la Región Lagunera ciclo agrícola 2005.

SIEMBRA Y COSECHAS PERENNES 2005, RIEGO + TEMPORAL						
Producto	***Superficie (ha)***		***Producción (ton)***		***Rendimiento (ton/ha)***	
	Sembrada	Cosechada	Estimada	Obtenida	Estimado	Obtenido
Alfalfa verde	28,357	27,843	1,612,582	1,576,344	56,947	56,615
Durazno	58	0	288	0	4,966	0
Espárrago	40	0	180	0	4,500	0
Manzana	7,070	0	64,423	0	9,112	0
Nuez	11,904	0	16,312	0	1,370	0
Uva	395	0	3,732	0	9,448	0

4.6. GENERALIDADES DEL NOGAL PECANERO (*Carya Illinoensis, Koch*).

4.6.1. ORIGEN.

El nogal pecadero es originario del sureste de los Estados Unidos de América y al norte de México, en Estados Unidos se encuentra principalmente en los estados de Kansas, Louisiana, Missouri, Oklahoma, Texas y al Norte de México se encuentra en Chihuahua, Nuevo León y Coahuila (Musalem, L. 2005). La clasificación taxonómica del nogal de nuez de pecana es ubicada dentro de la familia Juglandaceae y su nombre científico es *Carya illinoensis Koch* (SAGARPA-INIFAP 2002).

4.6.2. NOGAL PECANERO EN MÉXICO.

La superficie cosechada de nogal pecanero se localiza en el norte del país, y prácticamente en su totalidad en áreas de riego (gravedad y bombeo), y en áreas muy marginales de temporal, correspondiendo el 71.95 % a la superficie de bombeo fuera de los Distritos de Riego, 23.91% a la superficie de gravedad dentro de los Distritos de Riego y el restante 4.13 % a la superficie de temporal. Los principales Distritos de Riego con plantaciones de nogal pecanero son el 051 Costa de Hermosillo, Sonora; el 005 Delicias, Chihuahua, y el 017 Región Lagunera, Coahuila, Durango. Las superficies relevantes dedicadas a la producción de nogal pecanero en el norte de México se describen en el cuadro 2.

Cuadro 2. Superficie de nogal pecanero en México.

ESTADO	MUNICIPIO	SUPERFICIE (HA)
Chihuahua	Jiménez, Delicias	37,040
Coahuila	Parras, Torreón y Matamoros	10,856
Nuevo León		4,270
Durango		3,270

En el año agrícola 2000 se cosecharon 48,992 ha, de nogal con un rendimiento promedio nacional de nuez de 1.18 ton/ha, generando un valor de la producción promedio en México de 203.5 millones de pesos (Musalem, L. 2005).

4.6.3. EL NOGAL PECANERO EN LA REGIÓN LAGUNERA.

En la Comarca Lagunera durante el periodo 1990–2004, la superficie establecida con nogal creció un 64% y la producción un 80%, reflejo del incremento en los rendimientos por unidad de superficie. En el año 2004 la Comarca, contó con 6.228 ha. De nogal, con una producción de 7,951 toneladas (SAGARPA, 2004).

V. MATERIALES Y METODOS

5.1. LOCALIZACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL.

El trabajo experimental fue desarrollado en el laboratorio de Física Moderna, y Análisis de Imagen de el Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Relación Agua – Suelo – Planta - Atmósfera (CENID-RASPA) perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el km. 6+500 margen derecho del canal Sacramento en Gómez Palacio Durango.

5.2. TÉCNICAS Y MÉTODOS PARA CUANTIFICAR LA POROSIDAD DEL SUELO.

Técnicas indirectas: Densidad aparente, compactación, infiltrometria a diferente tensión.

Técnicas directas: Porosidad a base de mercurio, análisis de imagen.

La técnica de Análisis de Imagen consiste en la obtención de muestras de suelo sin alterar, enseguida estas muestras se trasladan al laboratorio, y mediante un proceso de intercambio agua por acetona y la impregnación de una resina cristal virgen permite la cuantificación y descripción del tamaño y forma de los poros de la muestra analizada. La técnica del análisis de imagen se fundamenta en tres etapas esenciales:

1.-La obtención de las muestras de suelo no alterado, se realizó con la metodología de Bourrier (1965) y González (2002).

2.-Para el intercambio del agua por acetona e impregnación de resina en la muestra de suelo, se utilizó la metodología de Hallaire (1997) y González (2002).

3.-Para la cuantificación de la porosidad del suelo sobre la superficie de l muestra ya preparada para ello se utilizó el programa computacional Image Pro Plus V 4.5.

A continuación se describen las tres etapas:

Etapa 1.- Se describe el perfil del suelo, se seleccionan los horizontes para cuantificar la porosidad y enseguida se obtienen cubos o muestras de suelo no alterados de 15 x 15 x 15 cm. Figura 3, se les añade parafina entre las paredes de cartón y el suelo para evitar la alteración de la muestra, en seguida se corta a la base del cubo y transporta al laboratorio para la obtención de los monolitos mediante la deshidratación e impregnación de las muestras.

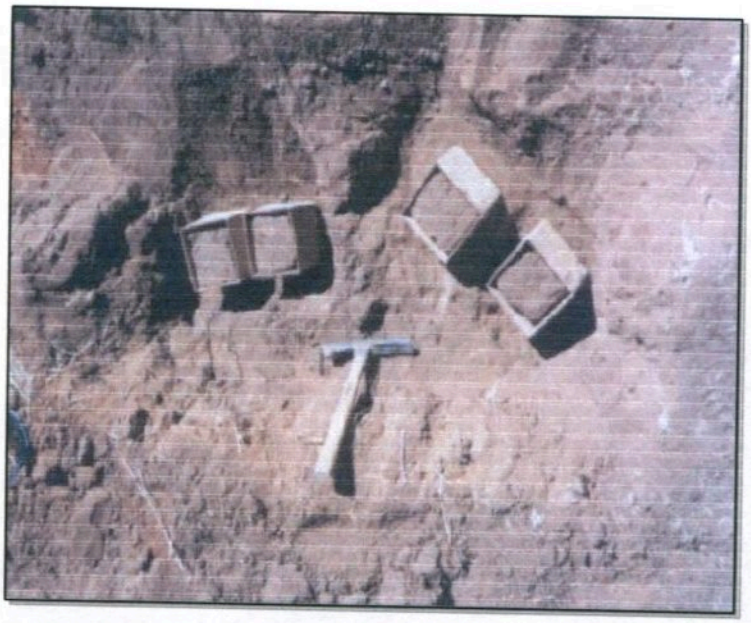

Figura 3. Obtención de muestras de suelo.

Etapa 2.- Intercambio de agua por acetona en las muestras de suelo. Para ello se diseño e implemento un dispositivo que permite la impregnación de las muestras de con acetona.

Primera fase. Se utilizaron cuatro desecadores de cristal (Vak umfest) y permiten la generación de vacío al interior de estos, presentan una válvula de color azul (Schtt Duran 10.21) en la parte superior del desecador la cual permite regular la presión de la bomba de vacío (Modelo EV-40, Presión -20 in/Hg, serie 651, desplaza 40 L / mn) esta se encarga de realizar el vacío dentro del desecador para que las muestras se impregnen por capilaridad, en el interior de este se coloca una franela que cubre a un disco de porcelana con perforaciones el cual tiene que estar en contacto con la acetona para que la muestra se impregne de esta manera evitamos la alteración de la estructura del suelo y de la porosidad, al desplazar el agua por acetona.

Las mangueras hipodérmicas son de plástico resistente a la acetona, están conectadas a las válvulas azules y a la bomba de vació para que pueda pasar la presión necesaria dentro de los desecadores como se muestra en la figura 4.

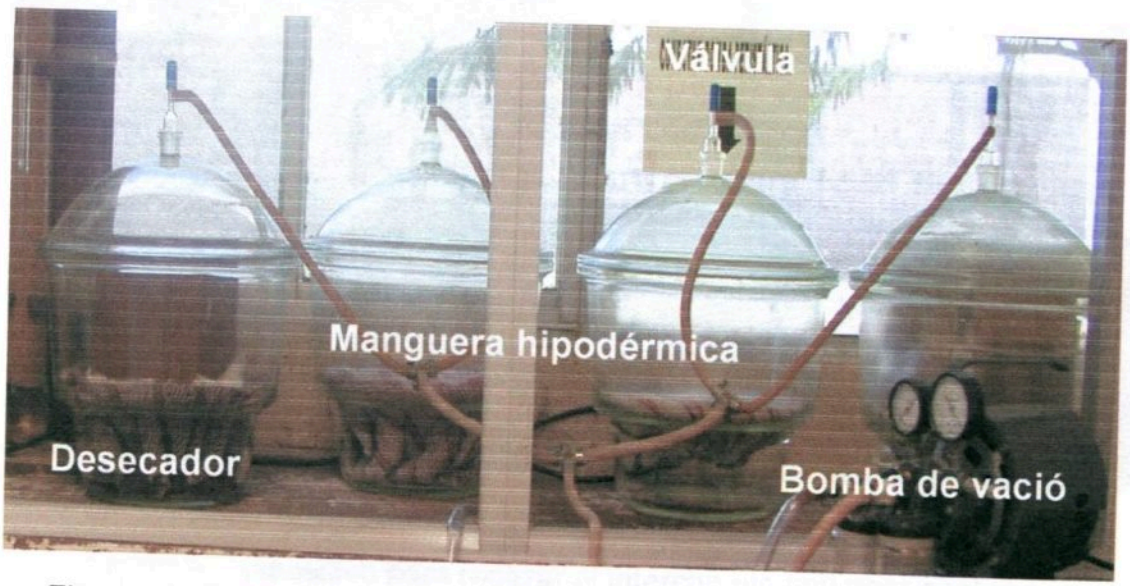

Figura 4. Dispositivo para realizar la impregnación de las muestras con cetona.

En la segunda fase de esta misma etapa. Los cubos se sacan de los esecadores y se colocan dentro de una caja de plástico transparente la cual se atura con acetona para que los cubos se sumerjan por completo esto permite no

alterar la estructura del suelo cualquiera que sea su textura, esta caja es conectada con manguera hipodérmica a una bomba peristáltica (No. 17 de gasto 30 cm^3/mn, modelo 77200-60) y a tres columnas de cristal que están postradas sobre una base de madera y contienen una malla biológica (Tamiz molecular UOP, tipo 4A, beads, diameter 1.7-2.4 mm) de tamaño de 4 amstrong esta retiene el agua y deja pasar la acetona.

Para el proceso de intercambio agua por acetona se utilizó un dispositivo que se diseñó e instaló en el laboratorio de física moderna y que consta de las siguientes partes como se observa en la figura 5.

Figura 5. Dispositivo para realizar el intercambio agua por acetona.

Fase tres de la etapa 2. Se preparó una resina liquida de poliestireno saturada conteniendo aproximadamente 30% de estireno añadida con un pigmento uorescente a los rayos ultra violeta (Uvites da mejor contraste a los espacios vacíos los minerales del suelo), se utilizo propanona o acetona (CH_3COCH_3) como olvente para la mezcla y un catalizador o secante (Etil-metil-cetona) es un peroxido

orgánico. Ello permitirá la solidificación de la muestra para su posterior análisis de la porosidad.

Fase cuatro de la etapa 2. Impregnación: Una vez que la resina esta lista. La muestra de suelo se pone en una caja de plástico de 20 x 20 x 20 cm, sobre de esta se colocan bolsas de plástico. Posteriormente una caja de cartón de 17 x 17 x 17 cm y dentro de ella la muestra de suelo de 15 cm^3.

Todo lo anterior se hace con el fin de que la resina no se tire por los lados, también se coloca papel o cartón alrededor de la muestra para hacer más resistentes las paredes de la caja. Cuando la muestra esta lista se le agrega la resina tomando en cuenta que la muestra se coloca dentro de la caja de plástico con anticipación ya que al agregar el catalizador la resina se puede endurecer dentro del vaso de precipitado si el tiempo se alarga.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente trabajo de investigación se enfocó a la implementación de la técnica de Análisis de imagen en laboratorio, que consistió básicamente en tres etapas, la primera obtención de la muestras no alteradas *in situ*, y obtenidas por Gregory en el año 2004, de huertas de nogal pecanero en la Comarca Lagunera bajo diferente manejo del suelo, y en el contexto del mismo proyecto de investigación que se lleva acabo en las instalaciones del CENID-RASPA, la segunda consiste básicamente en la preparación de dichas muestras en laboratorio, en la tercer etapa se cuantifica la porosidad sobre la superficie de las muestras.

Etapa 1. Cuando la muestra llegó a laboratorio se registró y se marcó con un indeleble a la acetona y resina, para evitar la perdida de información de la muestra, enseguida se impregnó con acetona de forma gradual y por capilaridad durante un tiempo de 24 horas a una presión de vacío constante de 55 cmHg, para ello se utilizaron los desecadores, en el fondo de cada desecador se añadieron 2000 ml, de acetona.

Es importante que la franela este inmersa en la acetona y en contacto con la ese de la muestra de suelo, en seguida se tapan los desecadores, y a las tapaderas e les pone vaselina para que sellen herméticamente y evitar que la presión que ntra a ellos se escape, por ultimo se abrieron las válvulas, como se muestra en la gura 6.

Figura 6. Desecador para realizar la impregnación de las muestras.

Etapa 2. Las muestras se sacan de los desecadores y se trasladan a la caja de plástico que contiene 30 L de acetona esta caja es conectada con manguera hipodérmica a una bomba peristáltica y a tres columnas que contienen una malla molecular de tamaño de 4 amstrong lo que retiene el agua y deja pasar la acetona este proceso se lleva acabo para el intercambio agua por acetona como se muestra en la figura 7.

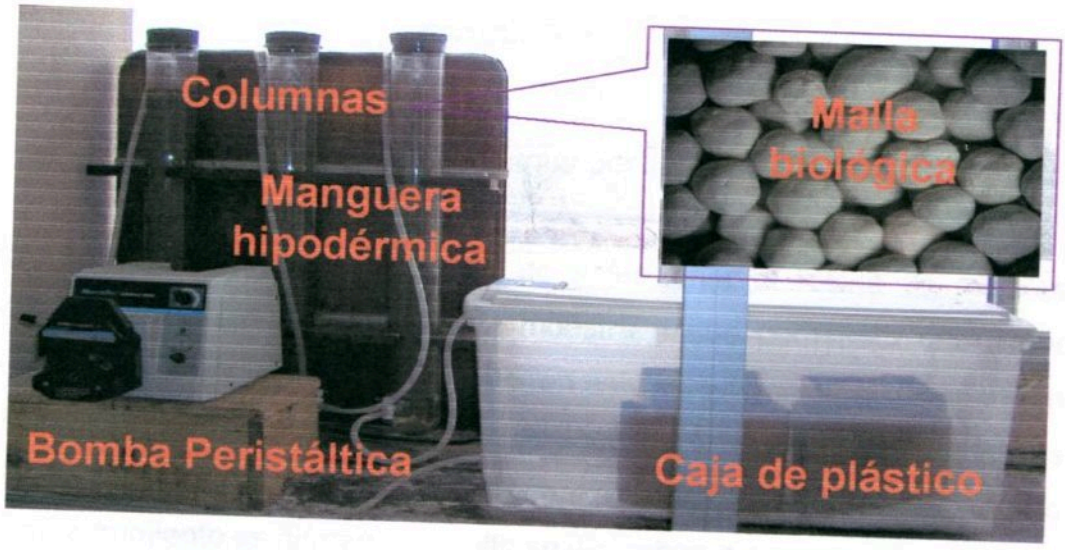

Figura 7. Dispositivo para realizar el intercambio agua por acetona.

Este dispositivo permite la circulación del agua y acetona en la dirección como se marca en la figura 8. Ello permite que la bomba peristáltica mantenga un flujo constante de gasto 30 cm^3/min, y la malla biológica permite la retención del agua y deja pasar la acetona exclusivamente, y continuar con la circulación hasta el desplazamiento total del agua en el sistema. Cuando la malla biológica se satura por agua, se requiere cambiarla e introducirla a una estufa a una temperatura constante de 120 °C durante 24 horas para evaporar el agua y volver a utilizar dicha malla.

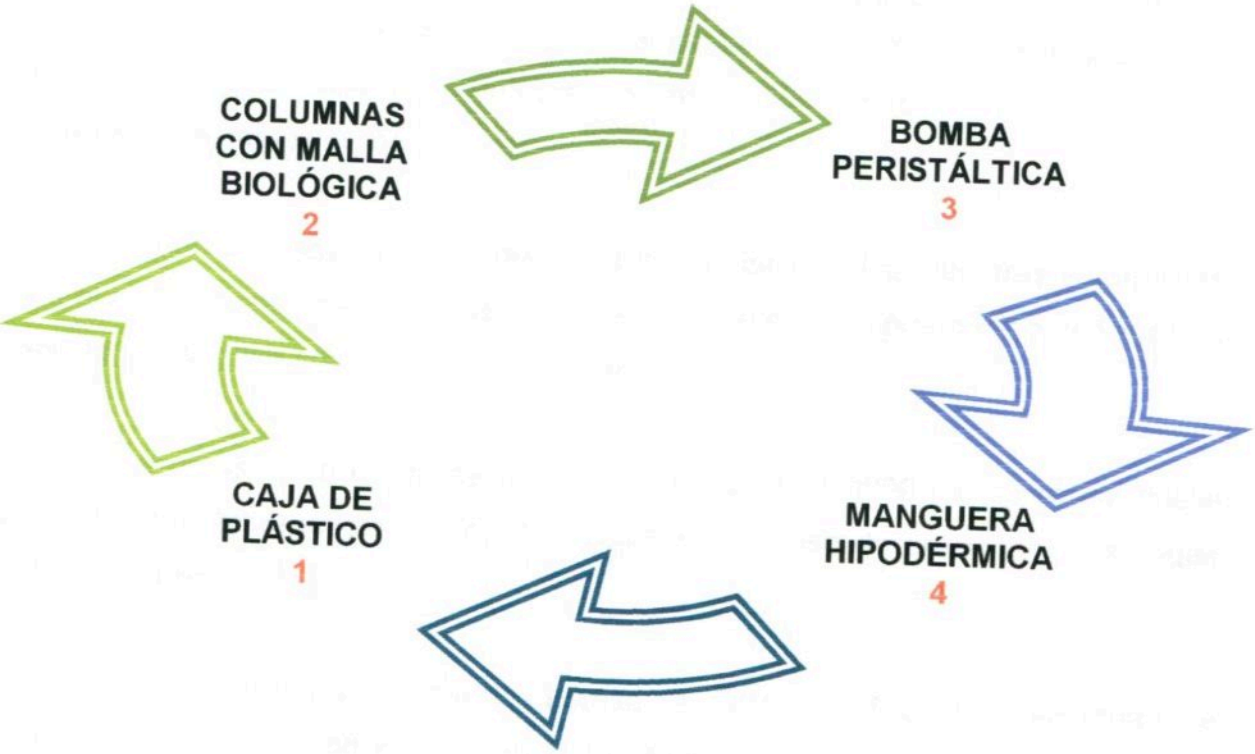

Figura 8. Desplazamiento de agua por cetona en el sistema.

Finalizado este proceso, y con el fin de seleccionar la resina de mejores aracterísticas para el endurecimiento de la muestra y que permitiera una mejor istribución de la misma en los vacíos del suelo, en esta investigación se compararon os tipos de resina existente en el mercado regional, y dadas sus características ueden aparentar ser muy similares sin embargo al contacto con el suelo y bajo resión su comportamiento es diferente por ello se describen a continuación:

Resina cristal preparada. Consiste en un promotor las cantidades de este en un bote de 20 kg, son de 25 ml/kg, catalizador o secante 25 ml/k y monómero 25 ml /kg, que como su nombre lo dice ya vine preparada para su uso según el fabricante lo que incrementa su densidad y dificulta el manejo.

Resina cristal virgen. Este tipo de resina es preparada con un pigmento fluorescente (uvitex ®), con acetona para que sea menos densa que la resina cristal preparada y catalizador o secante este es el que permite que la resina seque dentro de los poros de las muestras. Además al poner dentro de los disecadores las muestras de suelo son impregnadas por medio de vació y alcanza a entrar perfectamente por los poros.

Posterior al desplazamiento del agua en el sistema, las muestras están listas para el siguiente proceso que cosiste en la preparación e impregnación de la resina hacia la muestra y a continuación se describe.

1.- La preparación de la resina consiste en agregar 3000 ml, de resina cristal virgen para la impregnación de cada muestra en un vaso de precipitado y se agita durante 40 min.

2.- Se diluyen 8 g, de pigmento fluorescente Uvitex en 130 ml, de acetona y se agita a la mano, posteriormente se agrega la dilución a la resina, sino se desliza bien se agita a la mano con la varilla de vidrio, después se deja 10 min, con el agitador magnético, y se le agregan 100 ml, más de acetona para diluir el resto del Uvitex®.

3.-Pasando los 10 min, en que se mezclan bien la resina, Uvitex® y acetona. Se le agrega 10 ml de catalizador a la resina y se deja agitando de 2 a 3 min.

4.- Por ultimo los cubos son colocados en dos desecadores a una presión de 55 mHg durante 24 hr. para que por medio de vacío la resina pueda entrar por los poros de estos. Se dejan los cubos de suelo en los desecadores por un periodo de 5

días, posteriormente son trasladados a la estufa para suelos a una temperatura constante de 48^0 C, durante 24 hr. Al término de este tiempo son llevados al sol para que la resina termine de secar, se exponen a los rayos del sol durante 8 días posteriormente son llevados a cortar con una sierra eléctrica figura 9.

Figura 9. Cubos de suelo de 15 cm^3 impregnados con resina.

Etapa 3. Cuantificación de la porosidad por análisis de imagen. En la figura 10, e muestran los cortes horizontales que se realizaron a cada cubo de suelo, de mensiones de 4 cm, de espesor lo que permite la obtención de tres secciones por ubo. Enseguida se pule la superficie de cada sección, hasta obtener La omogeneidad perfecta de la superficie del bloque para su análisis.

Figura 10. Corte y pulido sobre la superficie a analizar.

En el laboratorio de imágenes, los cortes de los cubos se iluminaron con luz ultra violeta, las superficies de cada sección del cubo se sometieron a dos escalas diferentes para cuantificar los poros de tamaño grande y mediano (macro y mesoporos). Para determinar macroporos se utiliza una escala, la cual se muestra en la figura 11.

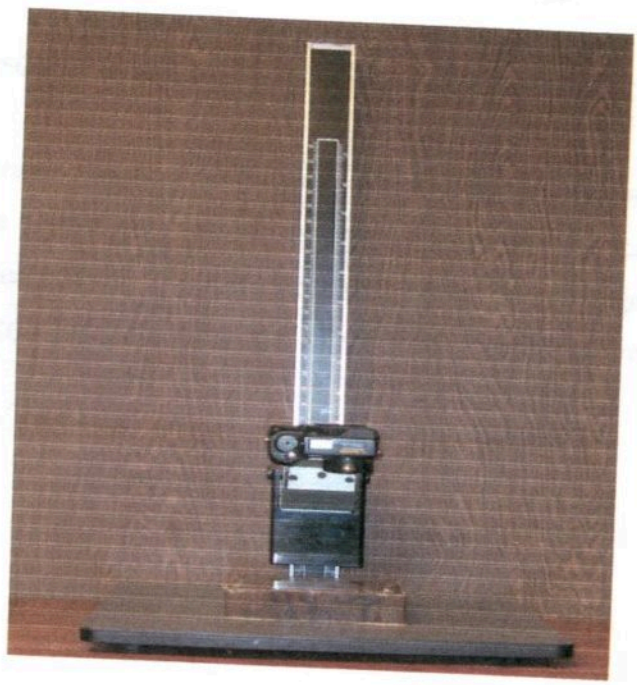

Figura 11. Escala para determinar macroporos.

Para la determinación de mesoporos se requiere de un microscopio estereoscopio figura 12.

Figura 12. Microscopio estereoscopio para determinar mesoporos.

Para poder determinar macroporos el corte es puesto sobre la escala, a esta se le coloca una cámara digital la cual sirve para fotografiar los cortes que se realizaron a cada uno de los cubos de suelo. Antes de tomar una imagen la muestra debe ser iluminada con dos lámparas de luz ultravioleta, como se muestra en la figura 13.

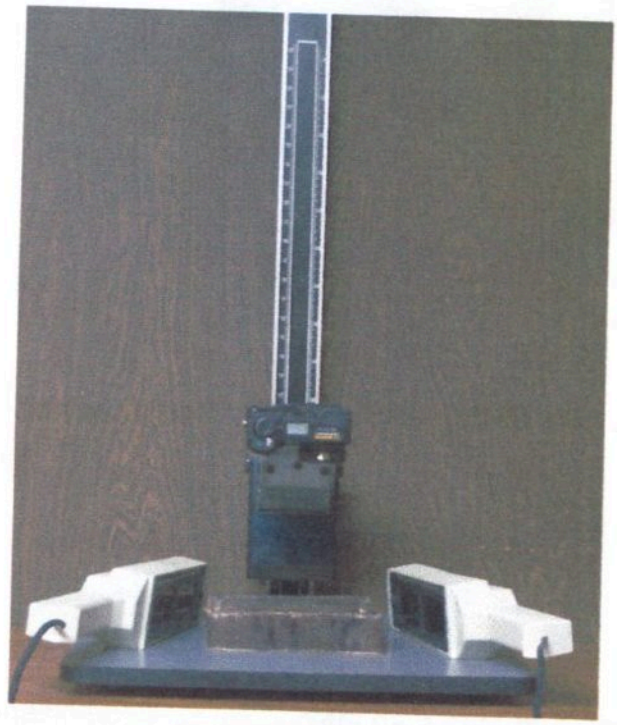

Figura 13. Iluminación con luz ultra violeta para determinar macroporos.

La cámara esta conectada a una televisión en la cual se visualiza, a tiempo real, la imagen de los cortes realizados a cada uno de los cubos de suelo.

En la figura 14. Para poder determinar mesoporos se utiliza un microscopio estereoscopio, colocamos la cámara digital en la parte superior de este y ponemos el corte que se leva a digitalizar, enfocamos la imagen y con las lámparas de luz ultravioleta iluminamos la muestra. Las imágenes se pueden observar en la televisión, para su selección y finalmente para su digitalización.

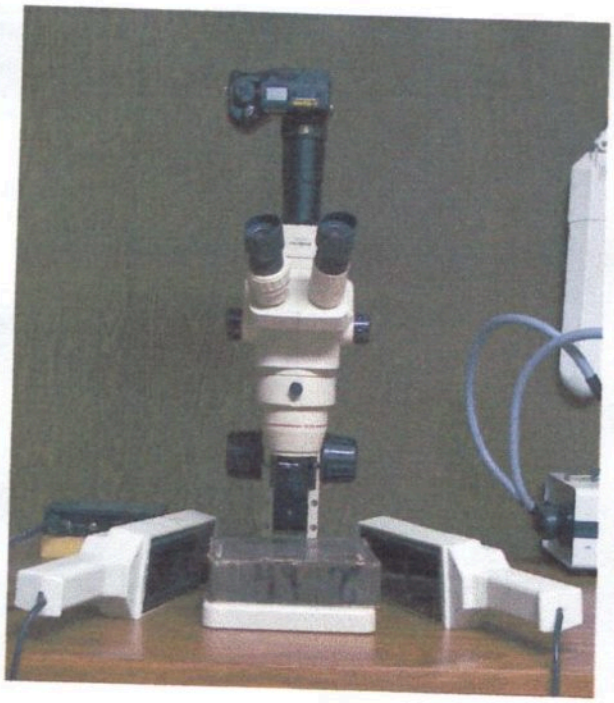

Figura 14. Iluminación con luz ultravioleta para determinar mesoporos.

6.1 COMPARACIÓN DEL TIPO DE RESINA EN SU DISTRIBUCIÓN EN LOS ESPACIOS VACÍOS.

Para ello se presentan las siguientes imágenes digitalizadas bajo luz ultravioleta.

Resina cristal preparada. La figura 15 muestra la imagen de la porosidad del suelo cuando se utilizó la resina cristal preparada dicha imagen no permite cuantificar la porosidad debido a que la resina endureció prácticamente en su totalidad en la superficie de la muestra y no alcanzó a entrar a los espacios vacíos en este caso la muestras no fue trasladada a la estufa.

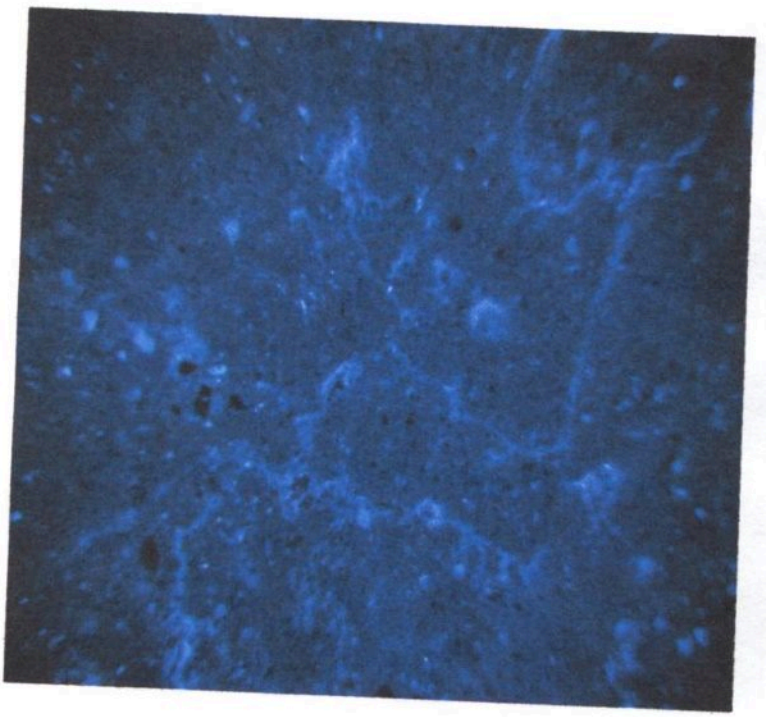

Figura 15. Impregnación con resina cristal preparada.

Resina cristal virgen. Este tipo de resina se diferencio por el hecho de que unas muestras entraron a la estufa y otras no, en donde se encontraron diferencias significativas en la impregnación.

La figura 16. Muestra la digitalización de la imagen cuando el cubo de suelo es impregnado por la resina cristal virgen pero no se introdujo a la estufa lo que no permite una buena impregnación lo anterior debido a que la resina requiere calor para iniciar la polimerización y enseguida el endurecimiento paulatino sin llegar a alterar la estructura de la muestra.

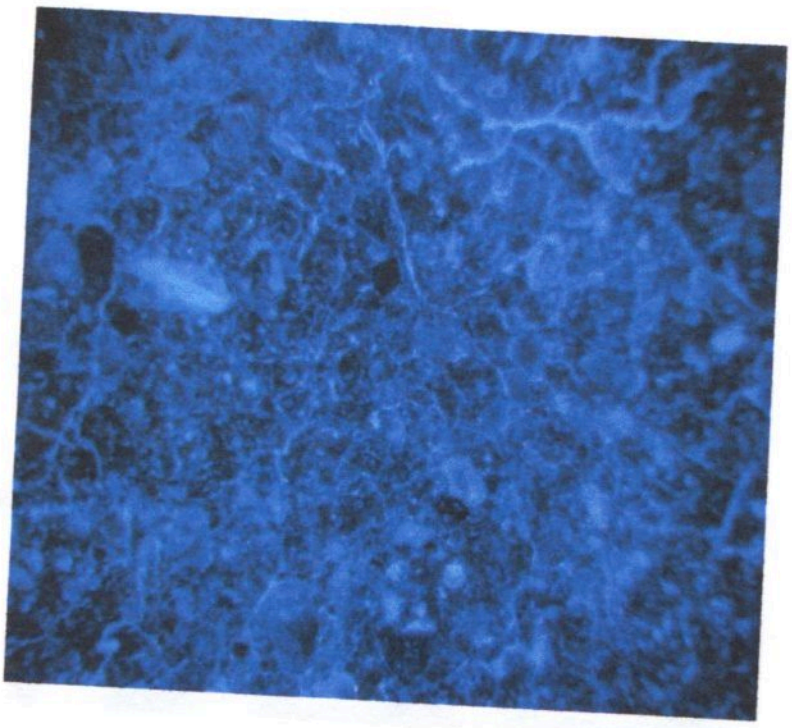

Figura 16. Impregnación con resina omitiendo la entrada a la estufa.

La figura 17. Muestra una imagen con resina cristal virgen más calentamiento por estufa a una temperatura constante de 48°C durante 24 hr, donde se observa perfectamente que la resina impregno a la muestra por completo y a diferencia de la anterior esta si permite una buena distribución del pigmento fluorescente a los rayos UV, y por consiguiente se esta en posibilidades de cuantificar la porosidad del suelo bajo una técnica de mayor exactitud que los métodos y/o técnicas clásicas.

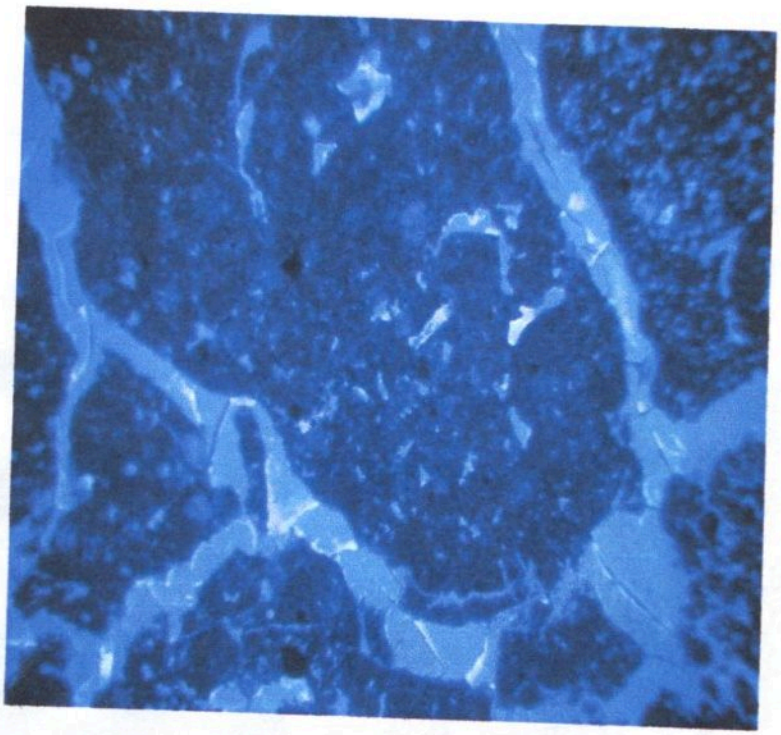

Figura 17. Muestra impregnada con resina, introducida a la estufa.

6.2 CUANTIFICACIÓN DE LA POROSIDAD BAJO UN PROGRAMA COMPUTACIONAL.

Posterior a la preparación y digitalización de las muestras las imágenes son procesadas en la computadora para poder cuantificar el tamaño y forma de los espacios vacíos existentes sobre la superficie de los cortes seleccionados bajo un programa computacional Image Pro-Plus® V4.5.

Dicho programa, se fundamenta en la identificación y determinación automática del número total de objetos que configuran una imagen. Para conseguir la información de las diversas medidas que tienen los cortes de suelo, el sistema debe ser calibrado, ya que es un componente primordial en el proceso de análisis de imagen y la precisión de la información obtenida. Para calibrar el Image Pro-Plus® V4.5, se requiere de una cuadrícula milimétrica de tamaño conocido. Tras la adquisición y proceso de la imagen de calibración, el sistema transforma las medidas

00045

reales de las coordenadas «X» e «Y» de la cuadrícula introducidas por el operario, en unidades de píxeles. En el se digitalizan las imágenes iluminadas con luz ultravioleta para convertirlas en imágenes binarias para esto se tienen que anexar al programa los datos correctos de las escalas obtenidas de cada imagen si los datos son incorrectos entonces el programa no cuantifica la porosidad existente en las muestras de suelo asta que sean corregidos como se muestra en la figura 18.

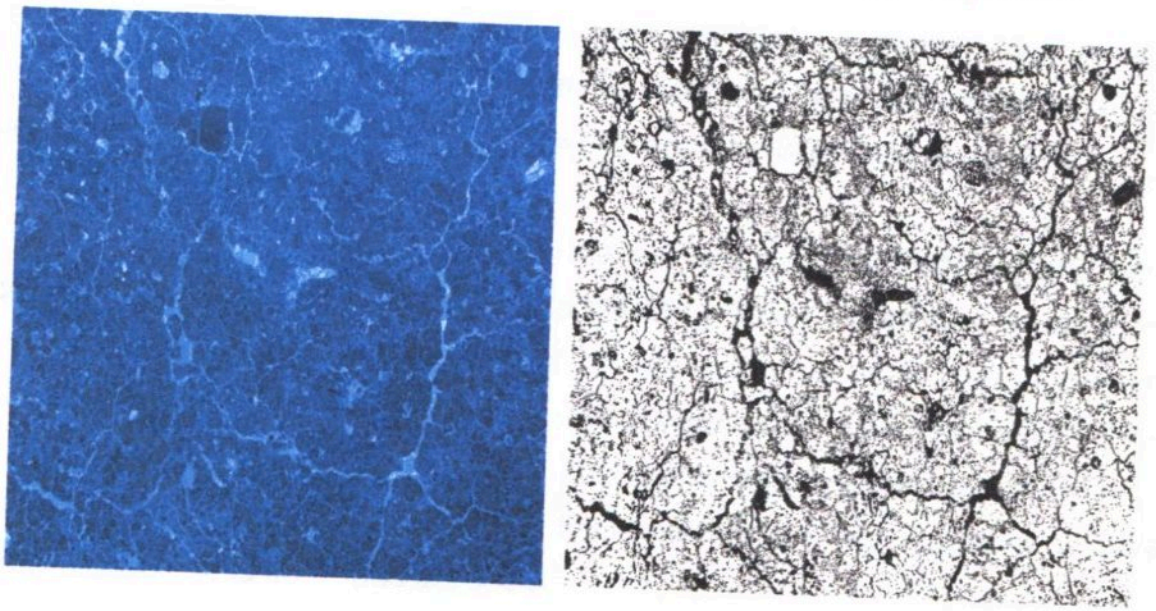

Figura 18. Imagen iluminada con luz UV, convertida a binaria.

VII. CONCLUSIONES

La búsqueda de técnicas y/o metodologías que permitan el mejor aprovechamiento del agua y suelo, con fines ambientales, condujo a implementar una técnica en el laboratorio del CENID-RASPA (INIFAP) que permita la preparación de muestras de suelo sin disturbar, para analizar y cuantificar la porosidad del suelo.

Para ello, se diseño e instalo un dispositivo que permite el desplazamiento del agua por acetona en los poros de la muestra por vía capilar, para poder ser impregnada por una resina cristal virgen. Lo anterior permitió dar respuesta a los tres criterios esenciales para el análisis y cuantificación de la porosidad del suelo.

La implementación de esta técnica es de mayor precisión ya que permite cuantificar los poros del suelo en base a tamaño y forma a diferencia de las técnicas clásicas o tradicionales que determinan la porosidad del suelo, basándose en un porcentaje y volumen, que en términos de conservación y aprovechamiento de los recursos agua y suelo no es suficiente. Los resultados muestran que la resina cristal virgen es la mejor opción para la impregnación de las muestras y para la cuantificación de la porosidad del suelo.

VIII LITERATURA CITADA.

Balbuena, J. A. 2006 [En línea] Técnicas de Análisis de Imagen. http://www.uv.es/balbuena/tai/tai.html (consulta 13 de abril de 2006).

Ballarol, W. M. 2002. [En línea] Métodos Analíticos. http://www.si.edu/scmre/about/analytical_methods_spanish.htm (consulta febrero 3 de 2006).

Baver, I. D., W. H. Gardner y W. R. Gadner, 1980. Física de Suelos. Editorial UTEHA, México. Pág. 196-204.

Buckman, y N. C. Brady, 1991. Naturaleza y Propiedades de los Suelos. Edición 4ta. México Editorial UTEHA - Grupo Noriega. Pp 57 – 59.

Bullock, P. y J. A. Keague, 1984. Estimating air-water properties of a clay soil. Comptes rendus du colloque fonctionnement hydrique et comportement des sols. Dijon, del 22 al 25 de mayo, AFES, pp. 55-67.

Bouma, J., A. Jongerius. y D. Schoonderbeek, 1979. Calculation of saturated hydraulic conductivity of some pedal clay using micromorphometric data. Soil Sci. Soc. Am J. Vol. 43, pp. 261-264.

Bourrier, J. 1965 La mesure des caractéristiques hydrodynamique des sols para la méthode Vergierèm. Bulletin technique du génie rural. Núm. 73.

Burés, S. 1997. Editorial Agrotecnica S, S. L. Madrid, España. 1er. Edición, pp. 69-70.

Cruand, A. 1986. Contribution à l`étude de la dynamique de l`espace poral. Utilisation des courbes de retrait et des courbes de rétention d`eau. Sci. Sol. Vol. 24, pp. 351-362.

Chávez R., E. 2004. El flujo permanente y la evolución del diseño de riego en huertos de nogal pecanero *(Carya illinoensis,* Koch*)* bajo sistemas de manejo diferente. Tesis, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México (sin publicar).

Curmi, P.1988. Structure, espace poral du sol et fonctionnement hydrique. Analyse de quelques cas concrets. Sci. Sol. Vol. 26, núm. 3, pp 203-214.

Donrroso, C. 2003. Introducción a la Edafología, Departamento de Edafología Química Agrícola. Unidad Docente e Investigador De la Facultad de Ciencias. Universidad de Granada España.

Fitzpatrick, E. A.1987. SUELOS Su Formación, Clasificación y Distribución. Edición 3re. México. Editorial CEESA. Pág. 47-48-49- 53.

Fuentes, Y. J. y L. G. García. 1999. Técnica de riego, 1ra Edición. Editorial mundi-prensa, México.

García, N. 2005 [En línea] Propiedades del Suelo, Propiedades Físicas, Porosidad. http://www.unex.es/edafo/ECAP/ECAL5PFPorosidad.htm (consulta marzo 15 de 2006).

Gavande, S. A. 1979. Física de Suelos, Principios y Aplicaciones. Editorial Limusa. pp. 54-57.

German, P. y K. Beven, 1981. Water flow in soil macropores. I. An experimental infiltration. J. Soil Sci. Vol. 32, pp.1-13.

González, C. G. 1995. La Compactación en Huertos de Nogal Pecanero. Tercer Simposiom Internacional Nogalero (NOGATEC). Torreón, Coahuila, México. Pág 55-56.

González, C. G. 2002. Fonctionnement hydrodynamique des sols de versant en amont de petits barrages en région semi-aride du Nord Mexique (Rasch Atotonilco). Tesis doctoral. Université d`Angers, Francia (sin publicar).

González, C, G y I, C. Sánchez. 2004. Morfología de los poros de circulación preferencial del agua en el suelo mediante técnicas de análisis de imagen. Ingeniería Hidráulica de México. Vol. XIX, No, 3. Pág.15.

Grimaldi, M. y Boulet. 1987-1990. Relation entre l`espace et le fonctionnement hydrodynamique d` une couverture pédologique sur socle de Guyane francaise. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie. Vol. XXV, núm. 3, pp. 275-263.

Gurovich R., L. A. 1999. Riego Superficial Tecnificado; Edición 2da. Editorial Alfaomega. México. Pág. 35-37-38-73.

Hallaire, V. 1997. Description of microcrack orientation in a clayey soil using image analysis. Ringrose-Voase, A.J. y Humphreys, V.G.S. (editores) Elsevier, Amsterdam.

Hallaire, V., P. Curmi, y Widiatmaka.1997. Morphologie de la porosité et circulations préférentielles en saturé. Cas des horizons d` un système pédologique armoricain. Etude et Gestions des sols. Vol. 4, núm.2. Pág. 115-126.

López M., J. Porta y A. C. Roquero. 1994. Edafología, para la Agricultura y el Medio Ambiente. Edición 1er. Editorial Mundi-Prensa, pp. 77-78.

Martínez M., M. 1971. Calibración y comparación de algunos métodos para la determinación de humedad del suelo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México (sin publicar).

Stengel, P.1997. Utilisation de l`analyse des systèmes de porositè pour la caractèrisation de l`ètat physique du sol in situ. Ann. Agron. Vol. 30, nùm. 1, pp. 27-51.

Voisin, O. y C. I. Orona 1993. Agricultura de Temporal. Estudio de los factores que influencian los escurrimientos y el uso del agua en la Región Hidrológica No. 36. SARH-INIFAP-CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango México. Pág. 273-285.

Yépez T., E. M., 2004. Distribución y Temporal de la Humedad en el Suelo con y sin Acolchado Plástico bajo Riego por Cintilla. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreón, Coahuila. México (sin publicar).