



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA**



“Desarrollo de un sensor dinámico para medición de conductividad eléctrica con diferentes niveles de sales Cloruro de Sodio, Potasio, Calcio y Nitrógeno”

POR:

IRVIN ALEXIS MONTEJO VELASCO

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para

Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Saltillo, Coahuila, México

Abril, 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRICOLA

“Desarrollo de un sensor dinámico para medición de conductividad eléctrica con diferentes niveles de sales Cloruro de Sodio, Potasio, Calcio y Nitrógeno”

Por:

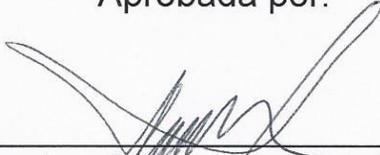
IRVIN ALEXIS MONTEJO VELASCO

TESIS

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECANICO AGRICOLA

Aprobada por:



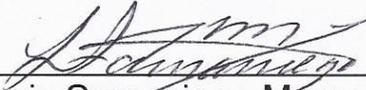
Dr. Santos Gabriel Campos Magaña
Asesor Principal



Ing. Rosendo González Garza
Coasesor



Ing. Héctor E. González Ramírez
Coasesor



Dr. Luis Samaniego Moreno
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México
Abril de 2016

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



Coordinación de
Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

A Dios primero por darme la vida, por darme también una familia tan maravillosa y gracias a él he podido alcanzar mis objetivos gracias también por rodearme de personas maravillosas.

A MIS PADRES, AUDELINA VELASCO BALCAZAR Y DIONICIO MONTEJO PEREZ gracias por haber confiado en mí y por todo el apoyo que me han brindado en todo este tiempo, gracias a ustedes estoy culminando con una etapa más de mi vida.

A MI ALMA TERRA MATER por darme la oportunidad de formar parte de esta institución.

AL DR. SANTOS GABRIEL CAMPOS MAGAÑA por brindarme su confianza, su apoyo, por su experiencia y conocimientos compartidos y por ser parte fundamental de este nuevo logro

A todo el personal del departamento de maquinaria agrícola por haberme brindado los elementos, necesarios para culminar mis estudios.

AL ING. FRESH E ING. DIEGO

Por su amistad, por sus consejos, conocimientos y herramientas necesarias para la solución de problemas las cuales me fueron y seguirán siendo útiles en problemas que durante mi vida profesional me habré de enfrentar

A todos mis amigos Tito Pérez, Gustavo Hernández, Amado Gutiérrez, Viridiana, Carlos Inares, Carlos Darwin, Jarry gracias por su amistad y apoyo en todo el transcurso de la carrera.

DEDICATORIAS

A mis padres:

Sr. Dionicio Montejo Pérez y Sra. Audelina Velasco Balcazar

Porque me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo mamá te quiero, gracias por todo papá. En especial para ti papá, por tus consejos, por creer en mí por tu apoyo incondicional, eres mi guía a seguir te quiero mucho

A mi Hermano Ulber de Jesús por brindarme su apoyo y su cariño, por apoyarme siempre en todas mis decisiones

A mis Abuelos

Por brindarme siempre sus apoyos, por darme consejos, por motivarme para salir adelante

A Mariela Hernández Frutis

Gracias por tu apoyo incondicional en todos los momentos difíciles de mi vida, por estar siempre a mi lado en los momentos que más te necesito y por hacerme muy feliz, eres una persona muy especial para mí.

Te deseo lo mejor. . . que Dios te bendiga siempre. . .

A la Familia Hernández Frutis

Por siempre brindarme su cariño, confianza y apoyo incondicionalmente

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS	III
RESUMEN.....	V
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo general.....	2
2.2. Objetivos específicos	2
III. HIPÓTESIS.....	2
IV. REVISION DE LITERATURA.....	3
4.1. <i>Agricultura de precisión</i>	3
4.2. <i>Sensores en agricultura de precisión para diagnósticos de suelos.</i>	4
4.2.1. Carro Porta Sensores para Diagnóstico de las Propiedades Físicas de Suelos Agrícolas	5
4.3. Salinidad en el suelo.....	5
4.3.1. Origen de la salinidad en los suelos	6
4.3.2. <i>Consecuencias de la salinidad en las plantas.</i>	7
4.4. <i>Humedad del suelo</i>	7
4.5. <i>Conductividad Eléctrica de un Suelo</i>	9
4.6. <i>Conductividad Eléctrica a Granel del Suelo (CEG)</i>	11
4.7. <i>Mecánica de suelos</i>	14
V. MATERIALES Y METODOS	17
5.1. <i>Materiales</i>	17
5.1.1 <i>Conductivimetro analógico Beckman solubridge RD-B15 de laboratorio</i>	17

5.2. Metodología	18
5.2.1 Soluciones de calibración	18
VI. RESULTADOS	20
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	28
6.1 Conclusiones	28
6.2 Recomendaciones	28
VIII. LITERATURA CITADA	29
IX. ANEXOS	32
Anexo 9.1 tabla de Calderón Sáenz F. (2005)	32

INDICE DE FIGURAS

Fig. (4.1) Carro porta sensores para el monitoreo de algunas propiedades físicas del suelo (López, 2014)	5
Fig. (4.2) Degradación de suelos en México (SEMARNAT 2009)	7
Fig. (4.3) Resistividad y conductividad grane –ceg- del suelo Vs humedad. Calderón Sáenz, F. (205).	11
Fig. (4.4) Conductividad granel-ceg- y resistividad de un suelo Vs. % de sales en la solución del mismo. Para una humedad constante del 15% p/p Calderón Sáenz F. 2005.	12
Fig. (4.5) Relación entre resistividad, conductividad y temperatura de un suelo con una humedad del 15.2%. Calderón Sáenz F. 2005	13
Fig. (4.6) El interior del triángulo está dividido en casillas, cada una de ellas representa una clase textural de suelo caracterizado por las proporciones de uno o de dos elementos dominantes; suelos arenosos, limosos, arcillosos, arcillo arenosos, etc. (Rucks et al., 2004).	15
Fig. (5.1) Conductímetro analógico Beckman solubridge RD-B15 de laboratorio	17
Fig. (6.1) Equipos utilizados para medir C.E	20
Fig. (6.2) Disoluciones de sales	21
Fig. (6.1.1)10Ecuación de regresión de C.E a diferentes concentraciones de cloruro de sodio	22
Fig. (6.1.2) Ecuación de regresión de C.E a diferentes concentraciones de nitrógeno	24
Fig. (6.1.3) Ecuación de regresión de C.E a diferentes concentraciones ecuación de triple 17	25
Fig. (6.1.4) Ecuación de regresión de C.E a diferentes concentraciones de fosfato de mono amónico	27

INDICE DE CUADROS

Tabla 4.1 Clase textural representada por esa casilla por ejemplo, franco, arcillo arenoso, etc. (Rucks et al., 2004). -----	16
Tabla 5.1 Miligramos en 50 mililitros y dilución -----	19
Tabla 6.1 Resultados de conductividad eléctrica en (us/cm) con diferentes niveles de cloruro de sodio disueltos en agua destilada. -----	21
Tabla 6.1.1 Análisis de varianza de conductividad eléctrica en (us/cm) con diferentes niveles de cloruro de sodio disueltos en agua destilada. -----	22
Tabla 6.1.2 Resultados de conductividad eléctrica en (us/cm) con diferentes niveles de urea (46% de nitrógeno) disueltos en agua destilada. -----	23
Tabla 6.1.3 Análisis de varianza de conductividad eléctrica en (us/cm) con diferentes niveles nitrógeno disueltos en agua destilada. -----	23
Tabla 6.1.4 Resultados de conductividad eléctrica en (us/cm) con diferentes niveles de triple 17 disueltos en agua destilada. -----	24
Tabla 6.1.5 Análisis de varianza de conductividad eléctrica en (us/cm) con diferentes niveles triple 17 disueltos en agua destilada. -----	25
Tabla 6.1.6 Resultados de conductividad eléctrica en (us/cm) con diferentes niveles de fosfato de mono amónico disueltos en agua destilada. -----	26
Tabla 6.1.7 Análisis de varianza de conductividad eléctrica en (us/cm) con diferentes niveles MAP disueltos en agua destilada. -----	26

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue desarrollado en “El Departamento de Maquinaria Agrícola de la UAAAN” y forma parte del proyecto titulado: “Desarrollo de equipos, sensores e instrumentos para agricultura de precisión y labranza de conservación” que dentro de sus objetivos destaca el desarrollo de equipos para la generación de mapas de conductividad eléctrica y humedad geo-referenciados. Los objetivos que se consideraron en esta tesis, para lograr el objetivo del proyecto fueron, Desarrollar un sensor dinámico de conductividad eléctrica para determinar niveles de sales en suelos agrícolas basado en un puente de wheatstone, Realizar la curva de calibración con diferentes niveles de sales.

Para lo cual se tomaron cuatro tipos de sales para la medición de conductividad eléctrica (C.E.) las cuales fueron cloruro de sodio (NaCl), urea con 46 % de nitrógeno, fosfato monoamónico (MAP) con 22 % de P, triple 17 (17 % de N, 17 % de P, 17 % de K), la conductividad eléctrica de las sales antes mencionadas se obtuvo con ayuda de un conductímetro analógico Beckman solubridge RD-B15 de laboratorio, las curvas de respuesta que se obtuvieron son superiores al 95 % de correlación lo cual indica que existe un alto índice de confiabilidad de las ecuaciones de respuesta empleando en método del conductímetro para estas soluciones disueltas en agua destilada.

Palabras claves: Conductímetro, Conductividad Eléctrica, Sales.

I. INTRODUCCIÓN

La Agricultura de precisión o manejo de sitio específico es la utilización de herramientas que permiten la obtención y análisis de datos geo-referenciados, mejorando el diagnóstico, la toma de decisiones y la eficiencia en el uso de insumos así como una disminución sustantiva en la contaminación. A nivel mundial las oportunidades y riesgos actuales en la producción de alimentos está vinculada con: alta demanda mundial de alimentos (granos, carne, aceite, proteína, bioenergía); alta demanda y costo de petróleo y gas natural en todo el mundo (el gas natural es 90% del costo de la producción de amoníaco); aumento del área fertilizada en el mundo; deficiencias de nutrientes que limitan la producción de cultivos y forrajes así como altos índices de contaminación ambiental entre otros.

Muchas actividades humanas ejercen un gran impacto sobre la naturaleza, teniendo la agricultura una particular importancia. La irrigación, una de las practicas más antiguas de la agricultura, ha conducido a resultados favorables y desfavorables; entre los causantes principales de resultados desfavorables esta la salinización, que por su inducción antrópica es denominada salinización secundaria (Szabolcs, 1979).

Cuando se habla de conductividad eléctrica de un suelo, se hace referencia a su extracto de saturación y para determinar la conductividad eléctrica de un suelo es necesario agregarle más agua y esta última contribuye a diluir el contenido de sales de la solución intersticial, rebajando su conductividad original (Calderón, 2001).

Se estima que aproximadamente 831 millones de hectáreas a nivel mundial están afectadas por sales, de estas 397 millones lo son por problemas de salinidad y 34 millones por condiciones asociadas a la sodicidad (FAO 2000)

Actualmente en la “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro” se encuentra en proceso el desarrollo de maquinaria y equipos e instrumentos automatizados para docencia e investigación en mecanización para la agricultura de precisión, con relación a esta problemática, el propósito del presente trabajo de tesis es el desarrollo de un sensor dinámico de conductividad eléctrica para medir diferentes niveles de sales en suelos agrícolas.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Desarrollar un sensor dinámico de conductividad eléctrica para determinar niveles de sales en suelos agrícolas basado en un puente de wheatstone.

2.2. Objetivos específicos

Realizar la curva de calibración con diferentes niveles de sales.

III. HIPÓTESIS

Es posible medir en forma dinámica la Conductividad Eléctrica del suelo sin que exista una diferencia mayor al 10% en comparación con los instrumentos de laboratorio.

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1. Agricultura de precisión

Agricultura de precisión (AP) es un concepto agrícola basado en la existencia de variabilidad en campo. Requiere el uso de nuevas tecnologías, tales como sistemas de posicionamiento global (GPS), sensores, satélites e imágenes aéreas junto con herramientas de manejo de información (SIG) para estimar, evaluar y entender dichas variaciones. La aplicación más exitosa de la Agricultura de Precisión ha sido los monitores de rendimientos instalados en cosechadoras. La mayoría de la tecnología de computación aplicada a la agricultura en el pasado estaba destinada a tareas que los productores encontraban aburridas y desagradables (ejemplos: impuestos, contabilidad, pagos). Los monitores brindan información sobre algo en que los productores tienen un interés apasionado: el rendimiento de los cultivos. El uso de monitores de rendimiento ha crecido rápidamente desde las pruebas a campo realizadas con algunos equipos en 1992. Los monitores tienden a estar instalados en cosechadoras modernas, más grandes, por eso se estima que se utilizaron en aproximadamente el 8% de la superficie cosechada de cereales y oleaginosas. Los monitores de rendimiento originales eran para granos de cereales y oleaginosas, pero hoy en día se están desarrollando para un amplio rango de cultivos, incluyendo forraje, remolacha azucarera, papa, tomate, maní y uvas. También se están desarrollando métodos, a través de un GPS, para lograr mapas espaciales de cultivos cosechados a mano, como manzanas y peras. Los primeros monitores de rendimiento solamente medían la cantidad producida. Actualmente se está desarrollando y comercializando equipamientos para medir contenido de proteína en grano y otros parámetros de calidad, sobre la marcha (López, 2012).

La AP se define como un conjunto de técnicas que permite la gerencia localizada de cultivos, con el fin de reducir las ineficiencias en la producción agrícola y aumentando el retorno económico para el agricultor. Su principal característica está en la integración de varias tecnologías, tales como sistemas de posicionamiento, programas de bancos de datos geográficos y sensores. (Bullock., 2000)

Bongiovanni *et al.*, (2006) menciona que la agricultura de precisión está basada en la existencia de la variabilidad en campos la cual ha requerido de tecnología tal como un sistema de posición global (GPS) sensores, satélites, e imágenes satelitales y sistema de información geográfica(SIG) para estimar y evaluar dichas variaciones. Menciona que los equipos geo posicionadores están integrados de un sistema de navegación y orientación cuyo funcionamiento es la de procesar y recibir información la cual proviene de los satélites ubicados a diferentes alturas sobre la superficie terrestre, cada satélite de GPS emite continuamente dos códigos de diferentes formatos digital.

En relación al desarrollo y perfeccionamiento de métodos para el sensoramiento de la conductividad eléctrica (CE) Corwin y Rhoades (1981) indica que por el método no invasivo de la CE del suelo constituye un tema de gran importancia en los esfuerzos que se realizan para la implementación de métodos de agricultura de precisión, la aplicación de un campo magnético al suelo ha sido empleado en el desarrollo de métodos y medios para el sensoramiento de la CE del suelo parámetro que se correlaciona con la salinidad y otras propiedades del suelo.

En el Handbook of Chemistry and Physics (1992), se menciona que en general, el flujo de electricidad a través de un conductor es debido a un transporte de electrones. Según la forma de llevarse a cabo este transporte, los conductores eléctricos pueden ser de dos tipos: conductores metálicos o electrónicos y conductores iónicos o electrolíticos. La conductividad eléctrica (CE) de una disolución puede definirse como la aptitud de ésta para transmitir la corriente eléctrica, y dependerá, además del voltaje aplicado, del tipo, número, carga y movilidad de los iones presentes y de la viscosidad del medio.

4.2. Sensores en agricultura de precisión para diagnósticos de suelos.

Se conoce como sensor cualquier dispositivo que permite convertir una magnitud física en una señal eléctrica que, posteriormente, puede manejarse para suministrar información o para ser tratada directamente por un ordenador. Para

facilitar su estudio, las herramientas de la AP se pueden clasificar en categorías (García *et al.*, 2005).

4.2.1. Carro Porta Sensores para Diagnóstico de las Propiedades Físicas de Suelos Agrícolas

Este desarrollo tecnológico se refiere a un equipo porta sensores cuyo propósito es medir en forma independiente y precisa entre otras variables, la energía requerida en las labores de labranza primaria, resistencia a la penetración, esfuerzo de falla del suelo, así como la fertilidad y humedad en suelos agrícolas; parámetros requeridos en la elaboración de mapas de diagnóstico en el manejo de sitio específico de alta productividad agrícola. El equipo de diagnóstico (Figura 4) está integrado por un carro porta sensores(1) acoplado a los tres puntos de levante hidráulico de tractores agrícolas, un sensor de fuerza axial del tipo de anillo(2), un sensor de par (3), un sensor de fuerza del tipo octagonal extendido(4) y un sensor de conductividad y capacitancia eléctrica (5). Los parámetros medidos son transformados a señales eléctricas para posteriormente ser acondicionados, convertidos a señales digitales y geo-referenciadas para su almacenamiento, análisis y elaboración de mapas de diagnóstico de sitio específico.

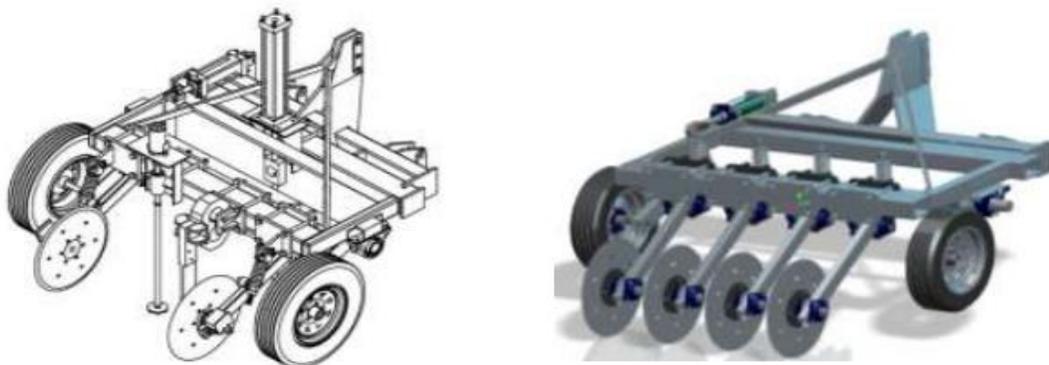


Fig. (4.1) Carro porta sensores para el monitoreo de algunas propiedades físicas del suelo (López, 2014)

4.3. Salinidad en el suelo

La salinidad es un ejemplo de degradación de los suelos, que presentan cambios significativos en su comportamiento físico-químico. Es conveniente mencionar, que la distribución de las sales en el suelo es heterogénea, debido a que

la salinización es un proceso complejo y variable en el espacio y tiempo a diferentes escalas de observación. Considerando lo anterior, el patrón de la variabilidad del contenido de sales cambia en función de la estación del año, aumentando su concentración en la temporada de estiaje, lo cual, afecta el estado físico de la superficie del suelo disminuyendo drásticamente la infiltración (Ruiz et al. 2007)

La concentración de sales confiere a los suelos, propiedades con efectos nocivos para los cultivos, donde se distinguen dos situaciones, según sea el catión predominante en el complejo de cambio Ca^{2+} o Na^{+} . Si el catión predominante es el Ca^{2+} , y las sales solubles son muy abundantes en el suelo, es probable que el perfil se encuentre muy poco diferenciado, pero su estructura tiende a ser estable, como resultado de la acción floculante del Ca^{2+} , por lo que la alta presión osmótica de la solución del suelo es la responsable de la baja productividad. A estos suelos se les denomina suelos salinos o halomorfos¹, siendo el suelo representativo el Solonchak que son suelos que tienen alta concentración de sales solubles en algún momento del año. Asimismo los Solonchaks, están ampliamente confinados a zonas climáticas áridas y semiáridas y regiones costeras en todos los climas (IUSS 2007).

4.3.1. Origen de la salinidad en los suelos

La salinización y sodificación de los suelos agrícolas son quizás los problemas más serios que enfrenta la agricultura en nuestros días. La aceleración de estos procesos se debe a la intensificación global de la desertificación, a la aplicación indiscriminada del agua para riego en zonas cercanas al mar y a la introducción masiva de sistemas de riego, sin asegurar que el destino final del drenaje sea el mar. Estos procesos provocan una disminución en el desarrollo y la producción de varios cultivos. Tal es el caso de cultivos sensibles como los frutales (aguacate, ciruelo, almendro, peral, y cítricos entre otros), mientras que dentro de los rangos normales de salinidad, la sensibilidad de la planta está determinada sobre todo por la composición de las sales y no por la concentración total de éstas (López-Climent et al. 2008). Se estima que aproximadamente 831 millones de hectáreas a nivel mundial están afectadas por sales, de estas 397 millones lo son por problemas de salinidad y 34 millones por condiciones asociadas a la sodicidad (FAO 2000).

En México el proceso de salinización afecta el 3.2% de su territorio, principalmente los estados que se observa en la (Fig. 4.2): Sonora, Sinaloa, Tamaulipas, San Luis Potosí, Chiapas, Nuevo León, Oaxaca, Veracruz y Zacatecas (SEMARNAT 2009)

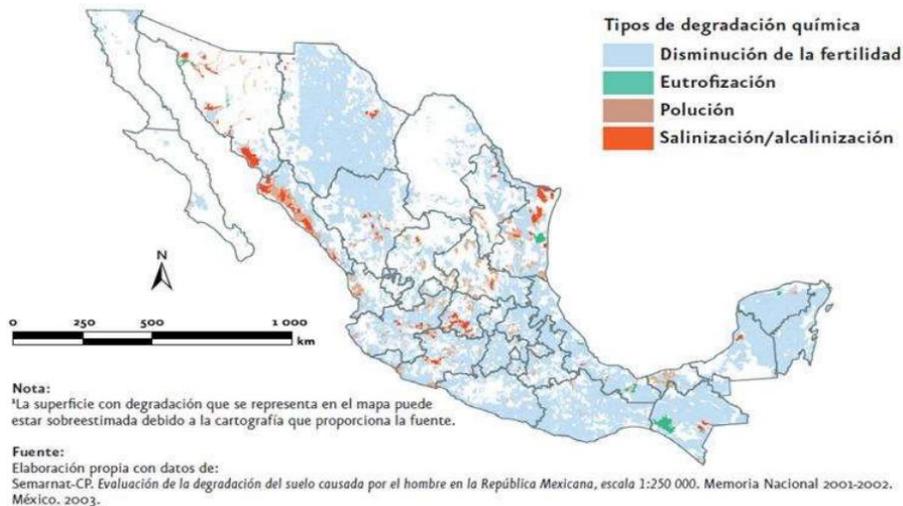


Fig. (4.2) Degradación de suelos en México (SEMARNAT 2009)

4.3.2. Consecuencias de la salinidad en las plantas.

La salinidad afecta cada aspecto de la fisiología de la planta y su metabolismo. La alta concentración de sales le ocasiona un desequilibrio iónico y estrés osmótico. Un fuerte estrés salino rompe la homeostasis del potencial hídrico y la distribución de iones (Alcaraz-Ariza 2012). Los efectos de las sales en las plantas, se presentan cuando son sometidas a elevadas concentraciones de una sal, lo que afecta la retención del agua, y de los efectos iónicos que esto ocasiona, muy específicamente sobre el citoplasma y las membranas de las células. El estrés salino rompe la homeostasis 3 iónica de las plantas al provocar un exceso tóxico de sodio (Na^+) en el citoplasma y una deficiencia de iones como el potasio (K^+). El sodio inhibe muchas enzimas y por eso es importante prevenir la entrada del mismo al citoplasma (Alcaraz-Ariza, 2012).

4.4. Humedad del suelo

El contenido de humedad del suelo varía (además de la influencia del clima) con el tipo, la profundidad y la cantidad de materia orgánica del suelo. Para la óptima

captación, percolación, almacenamiento y uso de la humedad del suelo, son importantes que estén presentes tres capacidades físicas:

- La capacidad de permitir que el agua entre, (infiltración).
- La capacidad para permitir que el agua se mueva fácilmente a través del perfil, (permeabilidad).
- La capacidad para almacenar la humedad adquirida en la zona radical y liberarla a las raíces de la planta, (retención del agua).

Muchos poros interconectados de un amplio rango de dimensiones, particularmente en la superficie del suelo, maximizarán la infiltración y reducirán la escorrentía, incrementando el agua disponible en el suelo. Los suelos con vegetación natural generalmente tienen gran porosidad debido a la alta actividad biológica y a la ausencia de interferencias con el hombre. Por consiguiente, tienen cualidades físicas superiores a la mayoría de los suelos usados para cultivos o pastos. Los espacios de poros en los suelos varían en dimensiones, y tanto la dimensión como la continuidad de los poros tienen una importante influencia en los tipos de actividades que ocurren en los poros. (Calegari et. al., 1998).

La humedad del suelo, los organismos y la materia orgánica son destruidos cuando los residuos de cultivos o la vegetación natural son quemados antes del cultivo. (FAO, 1996)

Los suelos contienen diferente cantidad de agua dependiendo de su textura y estructura. Durante el proceso de drenaje, la humedad del suelo disminuye continuamente. Después de un tiempo, el rápido drenaje se hace insignificante y en ese punto, la humedad del suelo se denomina "capacidad de campo." El punto de marchitamiento permanente se define como el contenido de humedad del suelo en el que la planta ya no tiene la capacidad de absorber agua del suelo haciendo que la planta se marchite y muera si agua adicional no es proporcionada. Sin embargo, la mayoría de las plantas estarán sometidas a un estrés hídrico significativo antes de este punto, y será muy factible que las plantas sufran una reducción importante en su

rendimiento mucho antes de alcanzar el punto de marchitamiento. (Gary A. Clark and Dorota Z. Haman., 1988)

4.5. Conductividad Eléctrica de un Suelo

Es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transmitir una corriente eléctrica y es igual al recíproco de la resistividad de la solución. Dicha capacidad depende de la presencia de iones; de su concentración, movilidad y valencia, y de la temperatura ambiental. Las soluciones de la mayoría de los compuestos inorgánicos (ej. aniones de cloruro, nitrato, sulfato y fosfato) son relativamente buenos conductores. Por el contrario, moléculas de compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas (ej. aceites, fenoles, alcoholes y azúcares) son pobres conductores de una corriente eléctrica. (Wetzel y Likens, 1997.)

Cuando se habla de conductividad eléctrica de un suelo, usualmente se hace referencia a la conductividad eléctrica de su extracto de saturación, y la conductividad eléctrica, como tal, es determinada en un medio líquido. Se supone, aunque esto aún no ha sido demostrado, que dicha conductividad corresponde a la Conductividad Eléctrica del líquido intersticial del suelo. Esta última aseveración adolece de una falla, para determinar la conductividad eléctrica de un suelo es necesario agregarle más agua y esta última contribuye a diluir el contenido de sales de la solución intersticial, rebajando su conductividad original (Calderón, 2001).

La conductividad es la medida total de sales en una solución, que es el factor que influencia la habilidad de la planta para absorber agua. En aplicaciones agrícolas, el monitoreo de salinidad ayuda a manejar el efecto de sales solubles en el crecimiento de las plantas. La CE es un indicador importante de calidad de agua, salinidad de suelo y concentración de fertilizante.

También puede definirse como la aptitud de ésta para transmitir la corriente eléctrica, y dependerá, además del voltaje aplicado, del tipo, número, carga y movilidad de los iones presentes y de la viscosidad del medio en el que éstos han de moverse. (Molina, 2012)

La conductividad eléctrica de un perfil del suelo indica la profundidad de las capas que lo componen, su textura, el contenido de materia orgánica, contenido de agua, capacidad de intercambio iónico, y niveles de salinidad. Los datos se pueden obtener mientras un aparato medidor cruza el campo, en líneas espaciadas entre 20 y 30 metros, dependiendo de la variabilidad espacial y de la precisión requerida. Un medidor equipado con un receptor de GPS diferencial permite que los datos obtenidos sean referenciados espacialmente para producir mapas. Los mapas digitales son insumo para definir zonas de manejo y para guiar la futura aplicación eficiente de insumos agrícolas. (Blackmore, 2002)

El valor de la conductividad eléctrica en el extracto de equilibrio a capacidad de campo puede ser mayor o menor que el del extracto de saturación, dependiendo de qué tan saturado de sales está el interior de los terrones del suelo. Este tipo de extracto al igual que el obtenido mediante el uso de sondas de succión tiende a reflejar más el contenido de sales externo a los terrones del suelo mientras que el extracto de saturación incorpora, promedia y homogeniza la totalidad del suelo. Cuando un suelo es “nuevo” y se empieza a fertilizar, el interior de los terrones, siempre es más pobre en nutrientes y por ende más baja su conductividad que la de la solución nutritiva que se está aplicando. Con el paso del tiempo, el suelo se va saturando de nutrientes y el interior de los terrones empieza a ser más rico que el exterior. Estas diferencias hacen que la interpretación de un extracto de saturación a capacidad de campo deba ser realizada cuidadosamente teniendo en cuenta estos factores (Camacho, 2009).

Es muy importante saber que los conductímetros emiten la mayoría de veces la conductividad eléctrica como valor de medición en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Pero a menudo se utiliza también en la práctica la unidad mg/l (lectura directa del contenido en sustancias sólidas disueltas). La relación es como sigue: $2 \mu\text{S}/\text{cm} = 1\text{ppm}$ (partes por millón) = $1 \text{mg}/\text{l}$. Los conductímetros tienen compensación manual o automática de temperatura.

4.6. Conductividad Eléctrica a Granel del Suelo (CEG)

Hasta aquí hemos hablado de la Conductividad Eléctrica del suelo medida en algún tipo de extracto líquido. Ahora vamos a hablar de la Conductividad Eléctrica medida directamente en el suelo, considerado este, como un medio poroso parcialmente saturado con agua y con algún contenido de sales disueltas. Esta, es la Conductividad que se denomina Conductividad Eléctrica a Granel (Bulk Conductivity), en lo sucesivo C.E.G.

La ecuación que define la CEG, es exactamente la misma que define la CE general de cualquier medio. En este caso el medio es directamente el suelo. Como la conducción eléctrica de un suelo se realiza a través de la fase líquida ya que los poros llenos de aire no conducen la corriente eléctrica, entonces la conducción dependerá del volumen de los poros llenos de fase líquida.

A medida que se agota la fase líquida se hacen menores los caminos por donde puede ser conducida la corriente eléctrica, entonces la conducción dependerá del contenido de humedad del suelo. La siguiente grafica ilustra esta relación.

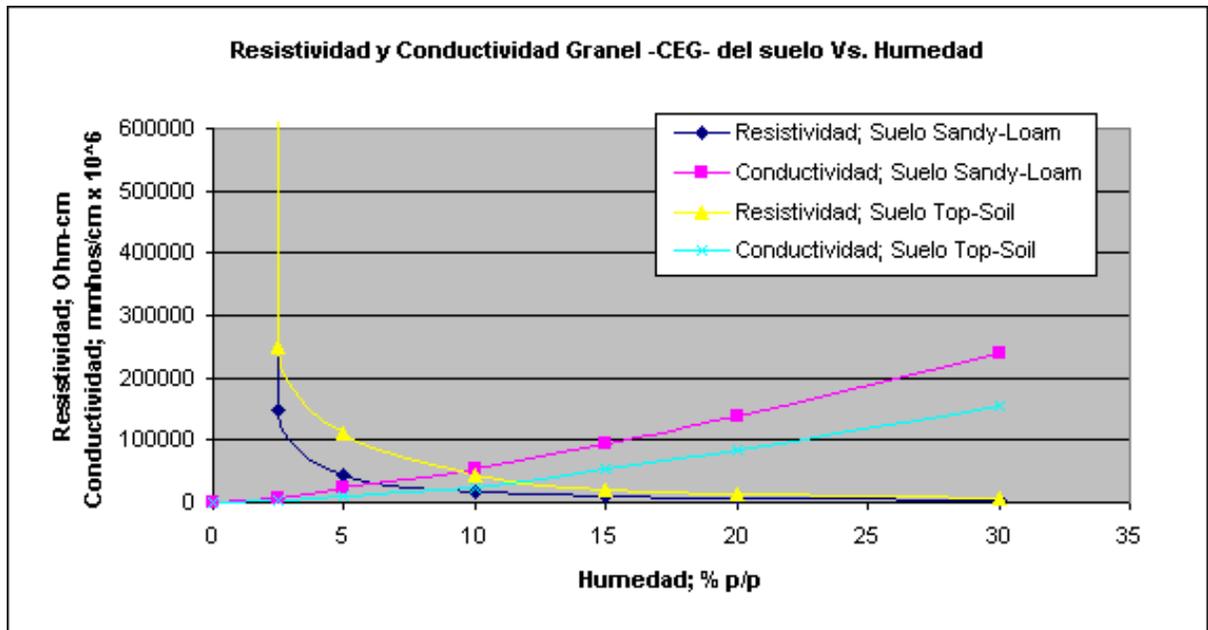


Fig. (4.3) Resistividad y conductividad granel –ceg- del suelo Vs humedad. (Calderón, 2005).

Por otro lado, mientras más conductiva sea la fase líquida, mayor será la Conductividad Granel del suelo. Para un cierto contenido de humedad, la conductividad granel dependerá del contenido de sales en la solución intersticial.

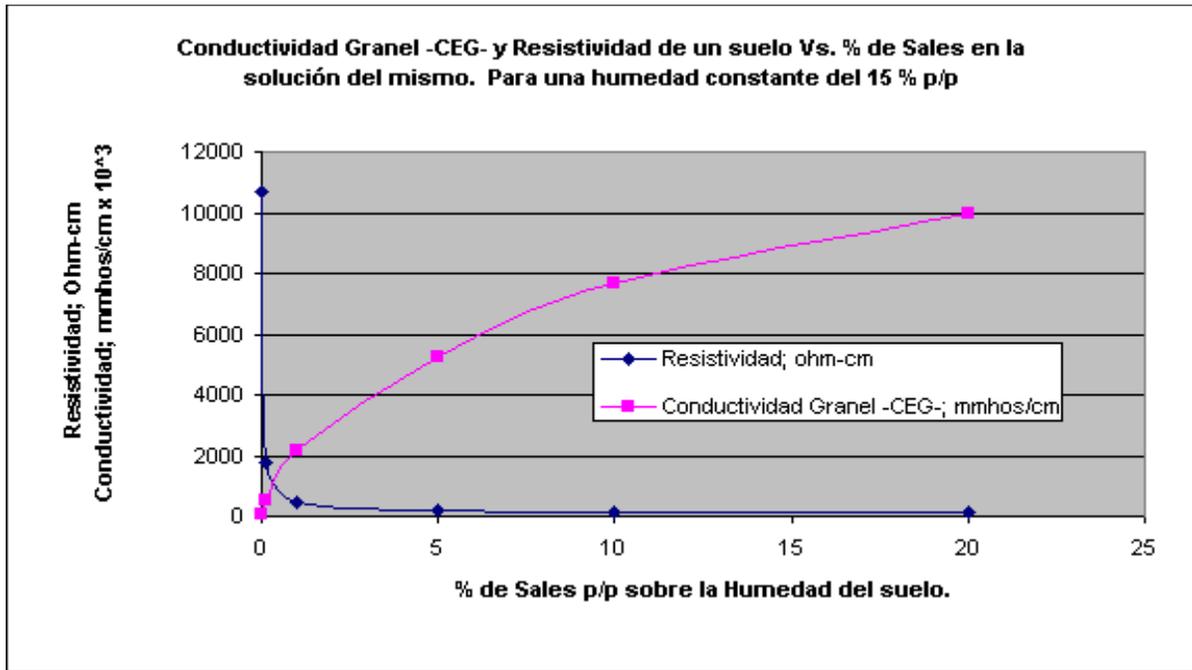


Fig. (4.4) Conductividad granel-ceg- y resistividad de un suelo Vs. % de sales en la solución del mismo. Para una humedad constante del 15% p/p (Calderón, 2005).

Adicionalmente a lo anterior, es sabido que la Conductividad Eléctrica de cualquier medio aumenta con la temperatura. Esto es debido a la mayor movilidad iónica. Este efecto puede verse en la gráfica siguiente:

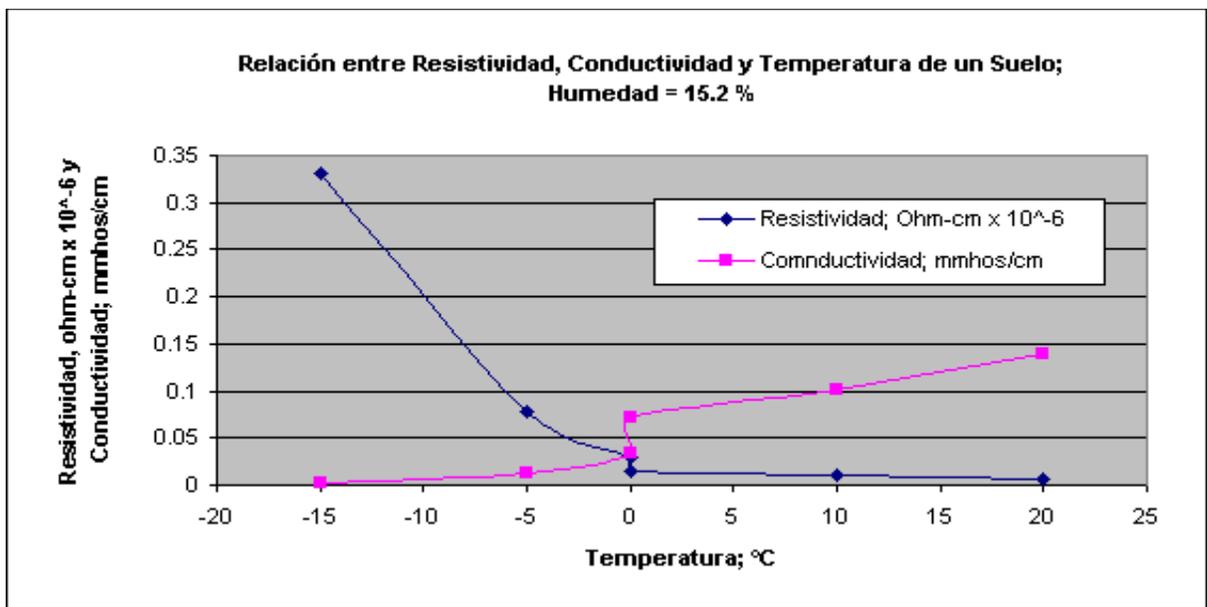


Fig. (4.5) Relación entre resistividad, conductividad y temperatura de un suelo con una humedad del 15.2%. (Calderón, 2005).

Este efecto sin embargo es menor que el efecto de la humedad. Como puede verse en las anteriores gráficas, la variación de la Conductividad entre 10 y 20 % de Humedad, es casi del 300 %, mientras que la variación de la Conductividad cuando la temperatura del suelo varía entre 10 °C y 20 °C es tan solo del 40 %. Usualmente la diferencia entre la T. máxima y la T. mínima a 10 cm de profundidad es inferior a 10 °C. <http://www.sws.uiuc.edu/warm>, <http://climate.umn.edu/>

De lo anterior se desprende que la CEG es una medida que depende fundamentalmente del contenido de humedad del suelo y del contenido de sales disueltas en dicha humedad. También depende secundariamente de otros factores tales como Temperatura, tipo de suelo, cantidad y clase de arcillas, porcentaje de saturación de bases del complejo de cambio etc.

De los anteriores factores, los únicos que varían en el corto plazo son la Humedad y la Conductividad de la Solución Intersticial, permaneciendo los demás relativamente constantes.

En la mayoría de los cultivos intensivos, el proceso de disminución de humedad del suelo o sustrato, se debe a la absorción activa de agua por las raíces de las plantas y concomitantemente de iones disueltos, así que la conductividad de la solución intersticial no varía demasiado durante este proceso.

4.7. Mecánica de suelos

El suelo constituye un recurso esencial para el desarrollo económico-social y es el sostén físico y químico de todos los ecosistemas terrestres (Gonzales *et al.*, 2009).

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles.

Para determinar el tipo granulométrico o clase textural de un suelo, se recurre a varios métodos. Se utilizan cada vez más los diagramas triangulares, siendo el triángulo de referencia un triángulo rectángulo o un triángulo equilátero. Se usa actualmente, de un modo casi unánime, un triángulo equilátero. Cada uno de sus lados a un eje graduado de 10 en 10, de 0 a 100, sobre el cual se transporta la cantidad del elemento que representa; en general un lado del triángulo corresponde a la arcilla, el otro al limo, el tercero a la arena, ver figura (4.6) (Rucks *et al.*, 2004).

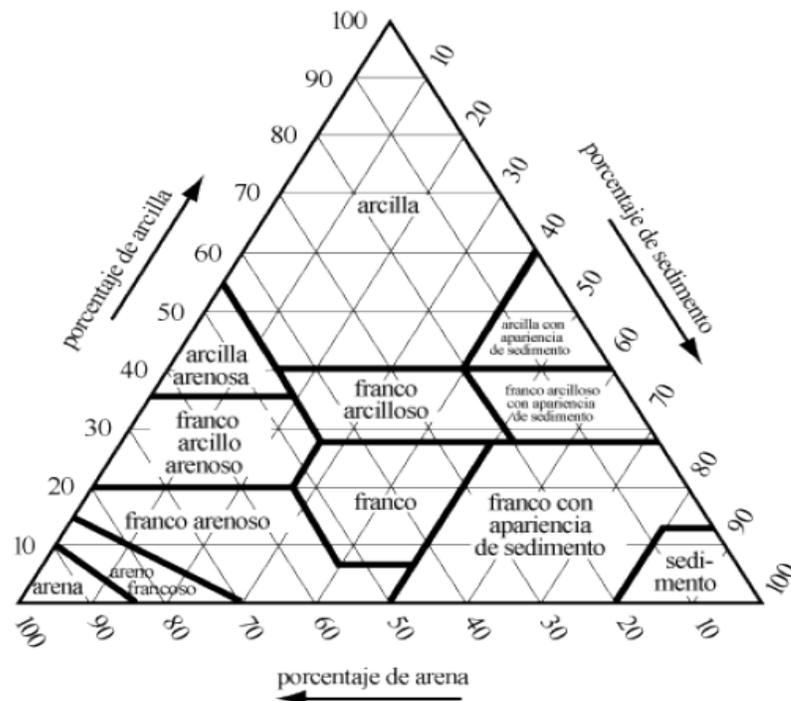


Fig. (4.6) El interior del triángulo está dividido en casillas, cada una de ellas representa una clase textural de suelo caracterizado por las proporciones de uno o de dos elementos dominantes; suelos arenosos, limosos, arcillosos, arcillo arenosos, etc. (Rucks et al., 2004).

Se utiliza el triángulo de la siguiente manera: cuando se dispone del análisis granulométrico de un suelo, su tenor en arcilla, en limo y en arena, determina un punto que se sitúa en el triángulo, en el interior de una casilla, y que permite identificarlo y darle un nombre asimilándolo a la clase textural representada por esa casilla por ejemplo, franco, arcillo arenoso, etc. Ver cuadro (4.1) (Rucks et al., 2004). La utilización de un triángulo, llamado de texturas no conduce más que a una primera aproximación en la interpretación del análisis de un suelo. En conclusión, tales triángulos, permiten, en principio, situar un suelo en un conjunto caracterizado por propiedades texturales; su empleo contribuya a fijar las ideas y normalizar en alguna medida la interpretación de los resultados del análisis granulométrico. (Rucks et al., 2004).

Tabla 4.1 Clase textural representada por esa casilla por ejemplo, franco, arcillo arenoso, etc. (Rucks et al., 2004).

Términos generales		Clases texturales
SUELO ARENOSO	Suelo de textura gruesa	Arenosos Arenosos-Francos
	Suelo de textura moderadamente gruesa	Franco-Arenosos Franco-Arenosos finos Franco-Arenosos muy finos
SUELO FRANCO	Suelo de textura media	Franco Franco-Limoso Limoso
	Suelos de textura moderadamente fina	Franco-Arcilloso Franco-Arcillo Arenoso Franco-Arcillo Limoso
SUELO ARCILLOSOS	Suelos de textura fina	Arcillo-Arenoso Arcillo-Limoso Arcilloso

Dada la complejidad del sistema suelo muchos métodos (físicos, físico-químicos, químicos, biológicos) son utilizados para la evaluación de su comportamiento y propiedades. Desde su mismo surgimiento la ciencia del suelo ha utilizado los métodos físicos de investigación, muchos de los cuales fundamentan las técnicas tradicionales (Cabrera et al., 2008)

V. MATERIALES Y METODOS

5.1. Materiales

- Agua destilada
- Suelo
- Mufla o estufa
- Fertilizantes (sales)
- Probeta de concentración de sales

5.1.1 Conductímetro analógico Beckman solubridge RD-B15 de laboratorio

El Conductímetro de Laboratorio es un equipo que permite medir la conductividad de una disolución a través de un circuito serie. Básicamente el instrumento se comporta como un óhmetro, donde la resistencia a medir es la propia del líquido, ver figura (5.1)



Fig. (5.1) Conductímetro analógico Beckman solubridge RD-B15 de laboratorio

5.2. Metodología

5.2.1 Soluciones de calibración

Para determinar las soluciones de calibración se tomó como referencia la tabla de Calderón (2005) Anexo 9.1, para lo cual se tomaron cuatro tipos de sales para la medición de conductividad eléctrica (C.E.) las cuales fueron cloruro de sodio (NaCl), urea con 46 % de nitrógeno, fosfato monoamónico (MAP) con 22 % de P, triple 17 (17 %de N,17 % de P,17 % de K), la conductividad eléctrica de las sales antes mencionadas se obtuvo con ayuda de un conductivímetro analógico Beckman solubridge RD-B15 de laboratorio considerando que tiene un valor inicial de $59 \mu S / cm$ de los resultados obtenido se realiza una diferencia para conocer la conductividad real, en soluciones de agua destilada. Y con ello generar las curvas de calibración del sensor de conductividad eléctrica.

En las primeras pruebas que se realizaron se utilizó agua destilada y cloruro de sodio el cual consistió:

Se pesó 37.2 gr de cloruro de sodio y se midió 500 ml de agua destilada con una pipeta volumétrica, una vez obteniendo las medidas se realizó la mezcla de estos en un matraz con la ayuda de un agitador para obtener una mejor concentración de la solución. De dicha solución se calcularon diferentes concentraciones para 50ml de agua destilada y conocer el peso como se muestra en el cuadro 5.1, realizando 3 repeticiones con el fin de medir la conductividad eléctrica en $\mu S / cm$ que existe con diferentes pesos de cloruro de sodio y registrar los datos que se obtienen, así mismo comparar con la máxima salinidad que puede llegar a soportar una planta.

Tabla 5.1 Miligramos en 50 mililitros y dilución

Miligramos (mg/ 50ml)	Mililitros de solución a ocupar (ml)
3.728	0.05
8.500	0.114
17.250	0.231
18.638	0.250
26.000	0.349
35.000	0.469
37.275	0.500
44.000	0.590
53.000	0.711
62.000	0.832
74.550	1.000
81.250	1.090
90.000	1.207

Siguiendo este mismo procedimiento se realizó la medición de conductividad eléctrica para Urea, triple 17 y fosfato monoamónico.

VI. RESULTADOS

Para lograr los resultados planteados se realizaron los cálculos para las soluciones de calibración y así mismo obtener los porcentajes de conductividad eléctrica que existen en diferentes tipos de sales empleadas (NaCl, Urea, MAP, Triple 17) como se muestran a continuación:

En la Fig. (6.1) y Fig. (6.2) se muestran los equipos empleados, como los recipientes con soluciones para llevar a cabo la medición de conductividad eléctrica con diferentes niveles de sales.



Fig. (6.1) Equipos utilizados para medir C.E



Fig. (6.2) Disoluciones de sales

En cuadro (6.1). Se muestran los resultados de conductividad eléctrica, en agua destilada en diferentes concentraciones de (NaCl), a una temperatura de 25 °C. El análisis de varianza de la regresión mostrado, en el cuadro (6.1.1). Nos indica una alta correlación ($R-Sq = 98.7\%$) de la ecuación con los intervalos de concentración seleccionados. En la Fig. (6.3). Se muestra la gráfica de regresión.

Tabla 6.1 Resultados de conductividad eléctrica en (us/cm) con diferentes niveles de cloruro de sodio disueltos en agua destilada.

Mililitros de solución ocupada (ml)	Miligramos (mg/50ml)	Conductividad eléctrica a diferentes concentraciones de NaCl (us/cm)			Promedio (us/cm)	Desviación estándar (us/cm)
		R1	R2	R3		
0.05	3.73	101	99	99	99.67	1.15
0.11	8.50	421	416	416	417.67	2.88
0.23	17.25	721	706	706	711.00	8.66
0.25	18.64	831	811	816	819.33	10.40
0.35	26.00	1161	1171	1166	1166.00	5.00
0.47	35.00	1591	1591	1541	1574.33	28.86
0.50	37.27	1641	1691	1691	1674.33	28.86
0.59	44.00	1936	1929	1939	1934.67	5.13
0.70	53.00	2341	2391	2341	2357.67	28.86
0.83	62.00	2641	2691	2691	2674.33	28.86
0.96	71.50	2841	2841	2841	2841.00	0.00
1.00	74.55	2941	2941	2941	2941.00	0.00
1.08	81.25	3041	3041	3041	3041.00	0.00
1.20	90.00	3821	3841	3821	3827.67	11.54

Tabla 6.1.1 Análisis de varianza de conductividad eléctrica en (us/cm) con diferentes niveles de cloruro de sodio disueltos en agua destilada.

Fuente	Df	Ss	Ms	F	P
Regresión	1	48827211	48827211	2953.77	0.000
Error	40	661218	16530		
Total	41	49488430			

Df.- Grados de libertad, Ss.- Suma de cuadrados, Ms.- Cuadrado medio, F.- factor F, P.-Probabilidad

Ecuación de regresión lineal

$$\text{Us/cm} = 93.58 + 39.78 \text{ mg/50ml}$$

$$S = 128.571 \quad R\text{-Sq} = 98.7\% \quad R\text{-Sq (adj)} = 98.6\%$$

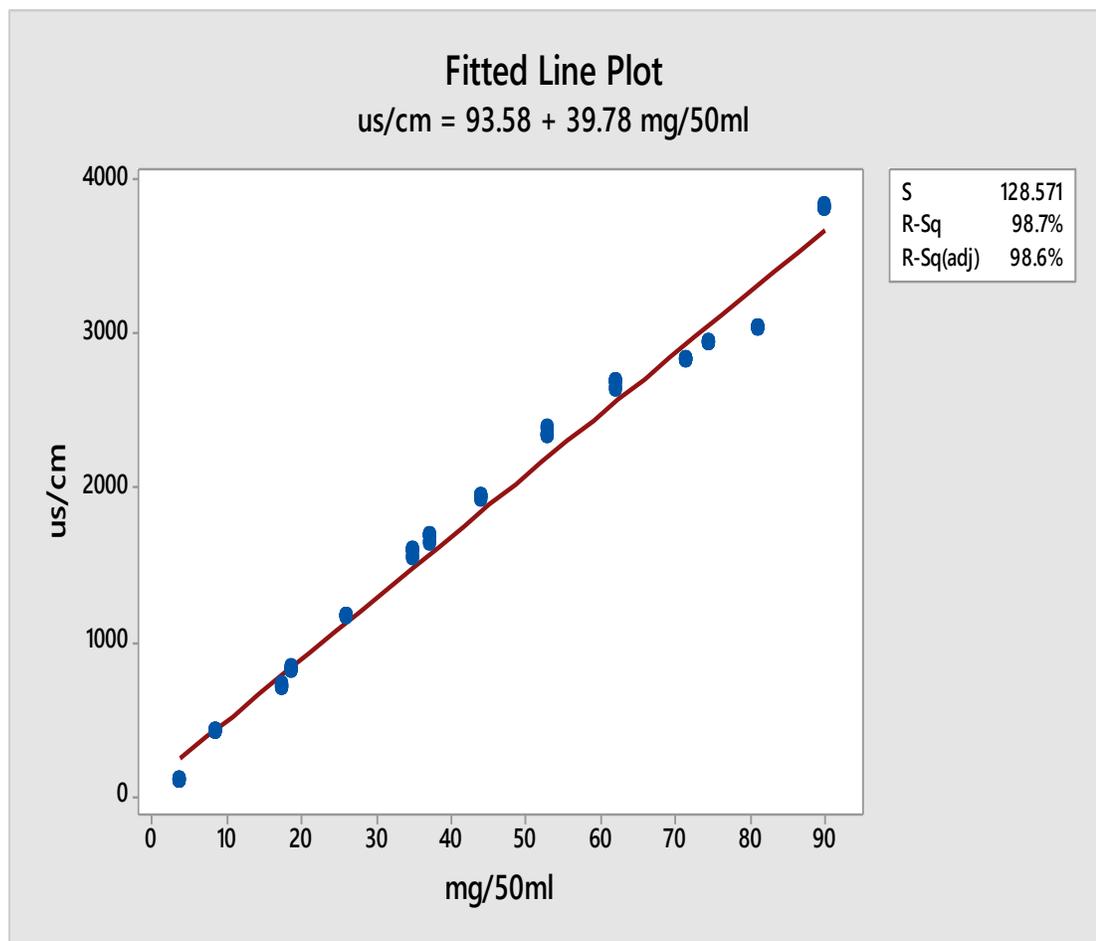


Fig. (6.1.1)10 Ecuación de regresión de C.E a diferentes concentraciones de cloruro de sodio

En cuadro (6.1.2). Se muestran los resultados de conductividad eléctrica, en agua destilada en diferentes concentraciones de (N), a una temperatura de 25 °C. El análisis de varianza de la regresión mostrado, en el cuadro (6.1.3). Nos indica una

alta correlación ($R-Sq = 98.0\%$) de la ecuación con los intervalos de concentración seleccionados. En la Fig. (6.1.2). Se muestra la gráfica de regresión.

Tabla 6.1.2 Resultados de conductividad eléctrica en (us/cm) con diferentes niveles de urea (46% de nitrógeno) disueltos en agua destilada.

Mililitros de solución ocupada (ml)	Miligramos (mg/50ml)	Conductividad eléctrica a diferentes concentraciones de N (us/cm)			Promedio (us/cm)	Desviación estándar (us/cm)
		R1	R2	R3		
0.05	3.72	3	2	2	2.33	0.57
0.11	8.50	5	5	4	4.67	0.57
0.23	17.25	6	7	6	6.33	0.57
0.25	18.63	8	8	8	8.00	0.00
0.35	26.00	9	10	9	9.33	0.57
0.47	35.00	11	10	11	10.67	0.57
0.50	37.27	12	12	12	12.00	0.00
0.59	44.00	14	14	14	14.00	0.00
0.70	53.00	20	19	20	19.67	0.57
0.83	62.00	21	22	22	21.67	0.57
1.00	74.55	27	27	27	27.00	0.00
1.08	81.25	29	29	29	29.00	0.00
1.20	90.00	35	35	36	35.33	0.57

Tabla 6.1.3 Análisis de varianza de conductividad eléctrica en (us/cm) con diferentes niveles nitrógeno disueltos en agua destilada.

Fuente	Df	Ss	Ms	F	P
Regresión	1	3739.07	3739.07	1816.45	0.000
Error	37	76.16	2.06		
Total	38	3815.23			

Df.- Grados de libertad, Ss.- Suma de cuadrados, Ms.- Cuadrado medio, F.- factor F, P.-Probabilidad

Ecuación de regresión lineal

$$Us/cm = 0.0270 + 0.3622 \text{ mg/50ml}$$

$$S = 1.43473 \quad R-Sq = 98.0\% \quad R-Sq \text{ (adj)} = 97.9\%$$

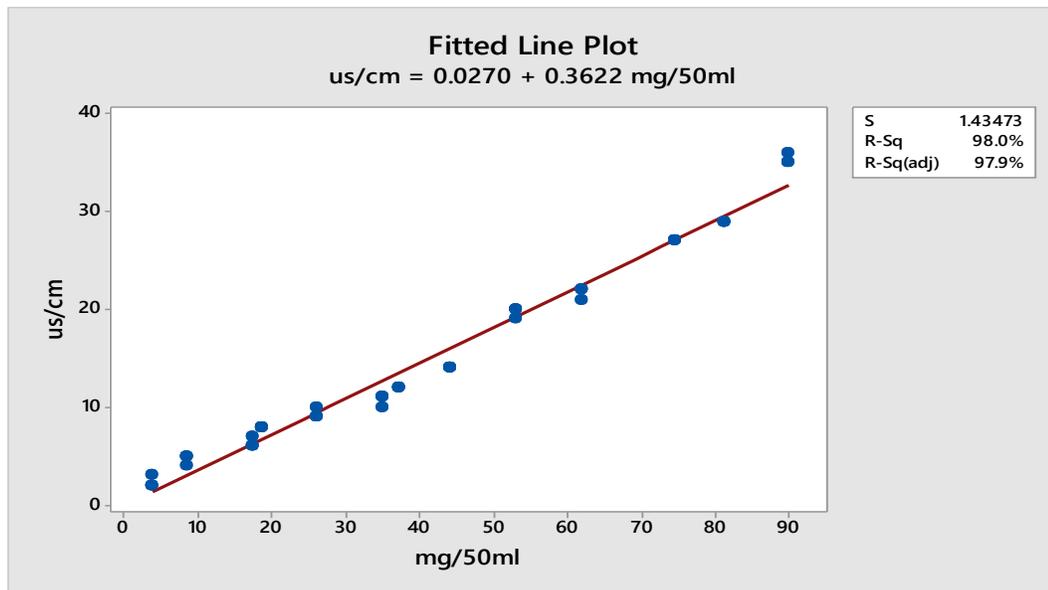


Fig. (6.1.2) Ecuación de regresión de C.E a diferentes concentraciones de nitrógeno

En cuadro (6.1.4). Se muestran los resultados de conductividad eléctrica, en agua destilada en diferentes concentraciones de (triple 17), a una temperatura de 25 °C. El análisis de varianza de la regresión mostrado, en el cuadro (6.1.5). Nos indica una alta correlación ($R-Sq = 98.8\%$) de la ecuación con los intervalos de concentración seleccionados. En la Fig. (6.1.3). Se muestra la gráfica de regresión.

Tabla 6.1.4 Resultados de conductividad eléctrica en (us/cm) con diferentes niveles de triple 17 disueltos en agua destilada.

Mililitros de solución ocupada (ml)	Miligramos (mg/50ml)	Conductividad eléctrica a diferentes concentraciones de Triple 17 (us/cm)			Promedio (us/cm)	Desviación estándar (us/cm)
		R1	R2	R3		
0.05	3.72	131	121	122	124.67	5.50
0.11	8.50	331	331	331	331.00	0.00
0.23	17.25	391	391	391	391.00	0.00
0.25	18.63	393	393	393	393.00	0.00
0.35	26.00	821	821	821	821.00	0.00
0.47	35.00	846	851	846	847.67	2.88
0.50	37.27	941	951	941	944.33	5.77
0.59	44.00	1191	1191	1191	1191.00	0.00
0.70	53.00	1441	1451	1441	1444.33	5.77
0.83	62.00	1691	1691	1691	1691.00	0.00
1.00	74.55	1941	1931	1941	1937.67	5.77
1.08	81.25	2041	2041	2041	2041.00	0.00
1.20	90.00	2241	2241	2241	2241.00	0.00

Tabla 6.1.5 Análisis de varianza de conductividad eléctrica en (us/cm) con diferentes niveles triple 17 disueltos en agua destilada.

Fuente	Df	Ss	Ms	F	P
Regresión	1	18014498	18014498	3147.13	0.000
Error	37	211792	5724		
Total	38	18226289			

Df.- Grados de libertad, Ss.- Suma de cuadrados, Ms.- Cuadrado medio, F.- factor F, P.-Probabilidad

Ecuación de regresión lineal

$$\text{Us/cm} = 0.0270 + 0.3622 \text{ mg/50ml}$$

$$S = 75.6578 \quad R\text{-Sq} = 98.8\% \quad R\text{-Sq (adj)} = 98.8\%$$

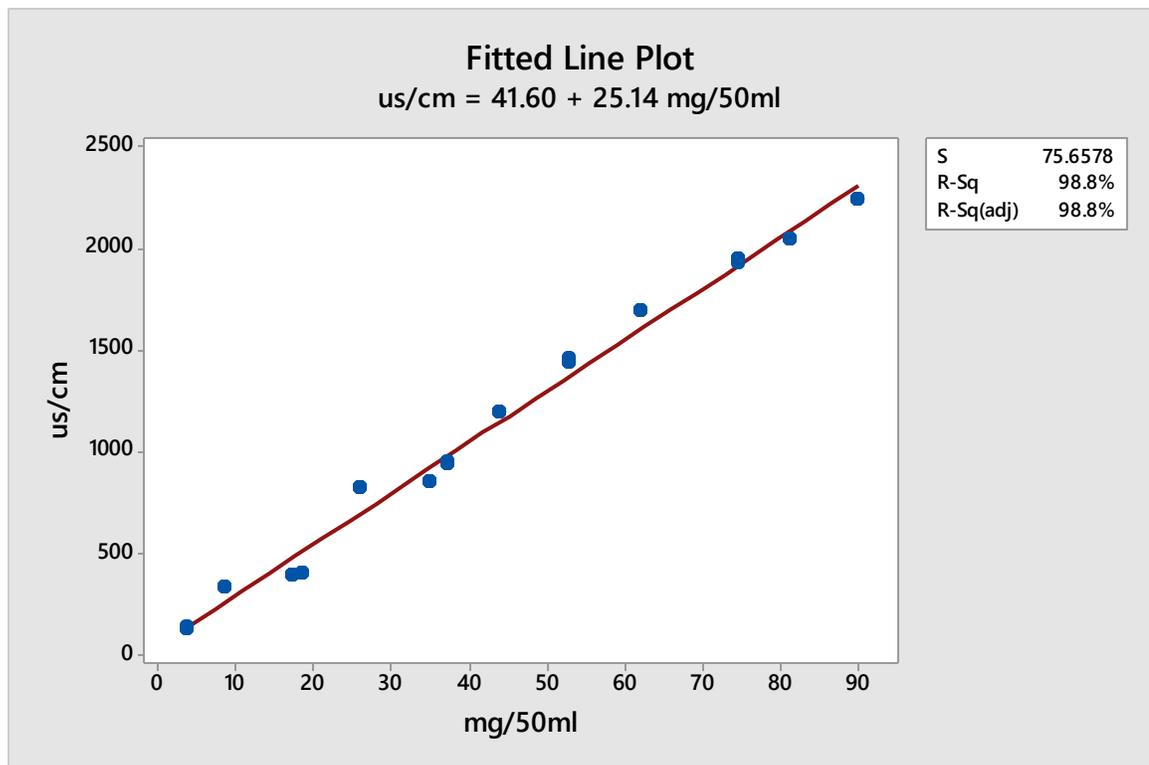


Fig. (6.1.3) Ecuación de regresión de C.E a diferentes concentraciones ecuación de triple 17

En cuadro (6.1.6). Se muestran los resultados de conductividad eléctrica, en agua destilada en diferentes concentraciones de (MAP), a una temperatura de 25 °C. El análisis de varianza de la regresión mostrado, en el cuadro (6.1.7). Nos indica una alta correlación ($R\text{-Sq} = 98.4\%$) de la ecuación con los intervalos de concentración seleccionados. En la Fig. (6.1.4). Se muestra la gráfica de regresión.

Tabla 6.1.6 Resultados de conductividad eléctrica en (us/cm) con diferentes niveles de fosfato de mono amónico disueltos en agua destilada.

Mililitros de solución ocupada (ml)	Miligramos (mg/50ml)	Conductividad eléctrica a diferentes concentraciones de MAP (us/cm)			Promedio (us/cm)	Desviación estándar (us/cm)
		R1	R2	R3		
0.05	3.72	71.00	71.00	71.00	71.00	0.00
0.11	8.50	186.00	186.00	186.00	186.00	0.00
0.23	17.25	216.00	221.00	221.00	219.33	2.88
0.25	18.63	361.00	361.00	361.00	361.00	0.00
0.35	26.00	451.00	451.00	451.00	451.00	0.00
0.47	35.00	511.00	511.00	511.00	511.00	0.00
0.50	37.27	541.00	541.00	541.00	541.00	0.00
0.59	44.00	791.00	791.00	791.00	791.00	0.00
0.70	53.00	861.00	861.00	861.00	861.00	0.00
0.83	62.00	1101.00	1101.00	1101.00	1101.00	0.00
1.00	74.55	1441.00	1451.00	1451.00	1447.67	5.77
1.08	81.25	1531.00	1531.00	1531.00	1524.33	5.77
1.20	90.00	1641.00	1641.00	1641.00	1641.00	0.00

Tabla 6.1.7 Análisis de varianza de conductividad eléctrica en (us/cm) con diferentes niveles MAP disueltos en agua destilada.

Fuente	Df	Ss	Ms	F	P
Regresión	1	10091128	10091128	2227.34	0.000
Error	37	167631	4531		
Total	38	10258759			

Df.- Grados de libertad, Ss.- Suma de cuadrados, Ms.- Cuadrado medio, F.- factor F, P.-Probabilidad

Ecuación de regresión lineal

$$\text{Us/cm} = - 51.19 + 18.82 \text{ mg/50ml}$$

$$S = 67.3096 \quad R\text{-Sq} = 98.4\% \quad R\text{-Sq (adj)} = 98.3\%$$

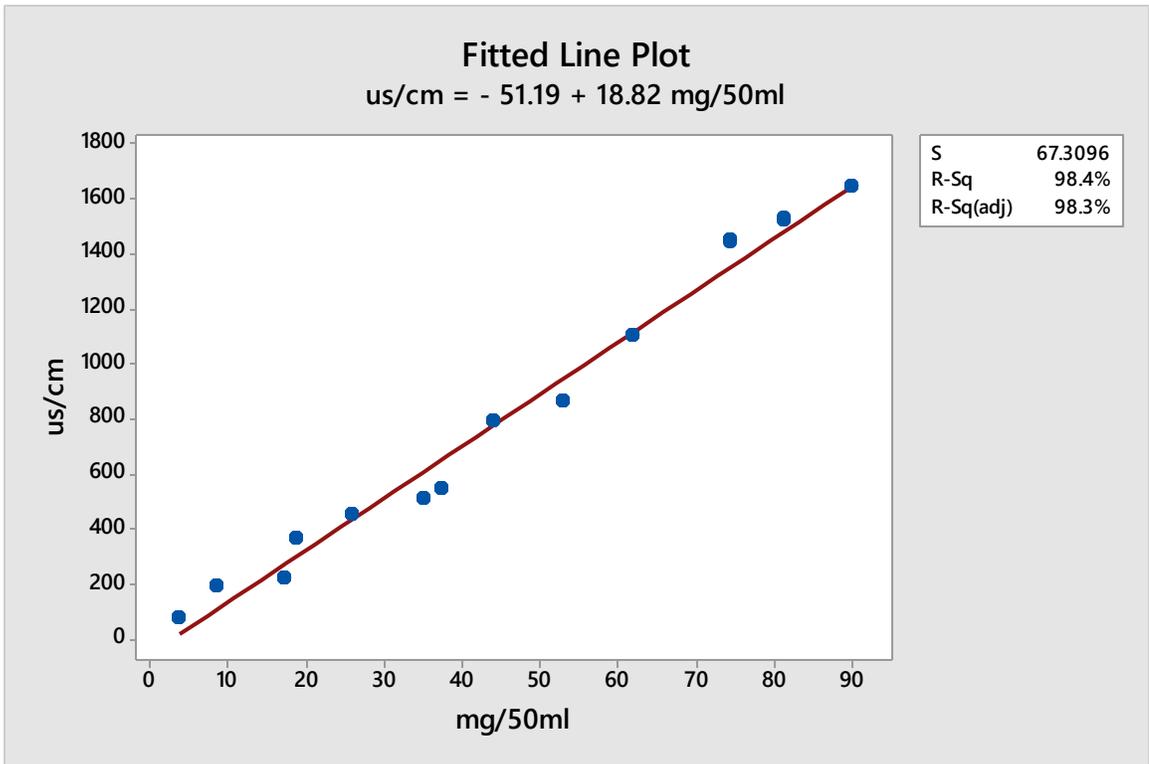


Fig. (6.1.4)13 Ecuación de regresión de C.E a diferentes concentraciones de fosfato monoamónico

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

1. Se obtuvieron curvas de respuesta de C.E superiores al 95 % de correlación para las sales (NaCl, UREA, TRIPLE 17, MAP), lo cual indica que existe un alto índice de confiabilidad de las ecuaciones de respuesta empleando en método del conductivímetro para estas soluciones disueltas en agua destiladas.
2. Las curvas de calibración obtenidas nos ayudaran como referencia de laboratorio para poder llevar acabo el desarrollo de un sensor dinámico de C.E y determinar niveles de sales en suelos agrícolas.

6.2 Recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos, para calcular la Conductividad Eléctrica se recomiendo lo siguiente:

1. Para realizar la mezcla del suelo con las diferentes sales, las muestras de suelo no deberán secarse en la estufa, ya que al calentarse a 105 °C se convierte al menos una parte de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en yeso de parís ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) el cual tiene mayor solubilidad en agua que el anterior. Para evaluar la salinidad en la mayor parte de los casos la extracción se puede hacer poco después de preparar la pasta saturada.

VIII. LITERATURA CITADA

- Alcaraz-Ariza.** 2012. Salinidad y vegetación. Geobotánica Tema 18. Universidad de Murcia España
- Blackmore, S.,** 2002, Developing the Principles of Precision Farming, Centre for Precision Farming, Royal.
- Bongiovanni, R.; Mantovani, E. C.; Best,S.; Roel, A (Ed.).** 2006. Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable.
- Bullock, D., S. and D.G. Bullock,** 2000, "From Agronomic Research to Farm management Guidelines: A Primer on the economics of Information and Precision Technology Agriculture".
- Cabrera, M. S., Paneque R P., Pérez O C., Plá R E.** 2008. Métodos de estudio del estado físico de los suelos. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 17. Universidad Agraria de La Habana, Cuba.
- Calderón, S.F.** 2001. Control de humedad en cultivos de clavel mediante el uso de Sensores Eléctricos; F. Calderón; Dr. Calderón Laboratorios Ltda. Avda. 13 No. 87-81 Bogotá D.C., Colombia S.A.
- Camacho M. Victoria.** 2009. Programa de Ingeniería de la Producción Agropecuaria, Universidad Nacional Experimental Sur del Lago-Venezuela.
- Corwin, D.L. and J.D. Rhoades:**<< Detrmining soil electricalconductivity using an inductive electromagnetic soil conductivity meter>>, Soil Sci. Soc. Amer.J.,45:255-260,1981.
- FAO** (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2000. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils. FAO. Land and Plant Nutrition Management. Rome, Italy.
- Garcia E., y Flego F.** 2005, *tecnología agropecuaria,universidad de Palermo, Buenos Aires argentina.*

- Gary** A. Clark and Dorota Z. Haman. 1988. Microirrigation in Mulched Bed Production Systems: Irrigation Depths. Pagina de Resultados AE72 del Dept. de Ing. Agr. Y Bio., Universidad de Florida. <http://edis.ifas.ufl.edu/ae049>. Ultima consulta 14 Enero 2013
- González**, C. O., Iglesias C. C. E., Herrera S. M. 2009. Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 18, P 2. Universidad Agraria de La Habana Cuba.
- IUSS** Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- Lide** D.R 1992 handbook of chemistry and physics 73rd edition
- López**-Climent MF, Arbona V, Pérez-Clemente RM, Gómez-Cadenas A. 2008. Relationship between salt tolerance and photosynthetic machinery performance in citrus. Environmental and Experimental Botany Vol. 62(2): 176–184.
- Lopez**-López, J.A. 2012. Evaluación de un Sensor de Permisividad Eléctrica para Agricultura de Precisión. Tesis de Nivel Licenciatura. Departamento de Maquinaria Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Molina**, B, M., 2012. Sensores por Conductividad eléctrica Programación de Interfaces.
- Rucks**, L., Garcia F., Kaplan A., Ponce L. J., HILL M. 2004. Propiedades Físicas del suelo. Facultad de Agronomía, Departamento Suelos y Aguas; Universidad de la Republica. Montevideo, Uruguay. 68 p.
- Ruiz** CE, Aldaco-Nuncio RA, Montemayor TA, Fortis HM, Olague RJ, Villagómez-Gamboa JC. 2007. Aprovechamiento y mejoramiento de un suelo salino mediante el cultivo de pastos forrajeros. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México. Técnica Pecuaria en México 45 (1):19-24

- SEMARNAT.** (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2009. El Medio Ambiente en México: En Resumen 2009. México. Gobierno Federal. (www.semarnat.gob.mx) pp. 20-23
- SZABOLCS, S.** (1979). "Review of research on salt affected soils". Natural Resources Research, XV. UNESCO. Paris. P. 137.
- Wetzel, R. G. and G. E. Likens.** 1979. Limnological Analyses. W. B. Saunders Co., Philadelphia. 357 pp.

IX. ANEXOS

Anexo 9.1 tabla de Calderón Sáenz F. (2005)

mg/lit de KCl	C.E. uS/cm a 25°C	Fórmula Exponencial	Desviación de la Fórmula con respecto a la Tabla; %
7.455	14.94	17.1	13.7
37.28	73.9	79.7	7.8
74.55	147	154.9	5.4
170	333	341.9	2.7
345	666	674.5	1.3
372.75	717.8	726.6	1.2
520	1000	1000.1	0.0
700	1333	1330.4	-0.2
745.5	1413	1413.3	0.0
880	1666	1657.3	-0.5
1060	2000	1981.5	-0.9
1240	2333	2303.5	-1.3
1430	2666	2641.3	-0.9
1491	2767	2749.4	-0.6
1625	3000	2986.2	-0.5
1800	3330	3294.3	-1.1
3727.5	6668	6626.1	-0.6
7455	12900	12889.8	-0.1
37275	58640	60430.7	3.1
74550	111900	117556.5	5.1