



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

“EFECTO DE LA ZEOLITA COMO SUSTRATO EN *PINUS PSEUDOSTROBUS SP.* PARA EL MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS”

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de:

Licenciatura en Ingeniería Ambiental.

Presenta:

CECILIA GALVEZ DE GANTE

Director de Tesis:

Dra. María de los Ángeles Velasco Hernández.

Codirector de Tesis:

Biól. José Gerardo López Ortega.

Puebla, Pue. Octubre 2018

CONTENIDO

Introducción	1
Planteamiento del problema	2
Justificación	3
Objetivo general.....	5
Objetivos particulares.	5
Hipótesis.....	5
1. ANTECEDENTES	7
1.1 Definición de Sustrato.....	7
1.2 Composición de un sustrato.	7
1.3 Funciones de un Medio de Crecimiento o sustrato.....	8
1.4 Propiedades de los sustratos.....	8
1.4.1 Propiedades físicas de los sustratos.	9
1.4.2 Propiedades químicas de los sustratos.	11
1.4.3 Propiedades biológicas de los sustratos.	13
1.5 Tipos de sustrato.	14
1.6 Problemáticas del uso de sustratos en la actividad viverística.	15
1.7 Sustrato ideal.....	16
1.8 Problemática de los sustratos actuales.	17
1.9 La zeolita como sustrato.....	18
1.10 Uso, aplicaciones y beneficios de la zeolita.....	18
1.10.1 Beneficios que producen las zeolitas en la agricultura.....	19
1.10.2 Beneficios que producen las zeolitas en la producción de fertilizantes orgánicos.....	20
1.10.3 Beneficios de la zeolita en la producción de fertilizantes químicos y organominerales.....	20
1.10.4 Beneficios que producen las zeolitas para la sanidad vegetal.	21
1.10.5 Beneficios que producen las zeolitas para la mecanización agrícola.....	22
1.10.6 Beneficios que producen las zeolitas para el riego y el drenaje de los suelos. 23	
1.10.7 Beneficios que producen las zeolitas para los cultivos.....	24
1.11 Zeolita.....	24
1.11.1 Definición de zeolita	24
1.12 Origen de las zeolitas.	25
1.13 Tipos de zeolitas.....	25
1.13.1 Propiedades de las zeolitas naturales.	26
1.13.2 Composición química de las zeolitas naturales.....	27
1.14 Zeolita clinoptilolita	28
1.15 Zeolita Clinoptilolita en México.	29

1.16 Descripción de la especie forestal <i>Pinus pseudostrobus</i> sp.	29
1.17 Calidad de la planta en los Viveros Forestales.	30
2. METODOLOGÍA	33
2.1 Sustratos utilizados.....	33
2.2 Trasplante y riego.	34
2.3 Medición de las variables: Altura, Diámetro, Longitud de raíz y Peso Seco. ...	36
2.5 Determinación de pH del suelo medido en agua.	36
2.6 Determinación de densidad aparente del suelo.	36
2.7 Determinación de densidad real del suelo.	37
2.8 Determinación de humedad del suelo por gravimetría.....	38
2.9 Determinación de Materia Orgánica y Carbono Orgánico.....	39
2.10 Determinación de Textura del Suelo.	40
3. RESULTADOS	43
3.1 Promedios.....	43
3.2. Análisis estadístico.	47
3.2.1 Diagramas de cajas y bigotes.....	47
3.2.2 Análisis de la varianza.	53
3.2.3 Gráficos de probabilidad Normal	57
3.2.4 Varianza constante	58
3.3 Análisis del suelo.	60
3.3.1 Contenido de humedad.	60
3.3.2 Textura del suelo.	61
3.3.3 Materia Orgánica y Carbono Orgánico.	61
3.3.4. pH.....	61
3.3.5 La Densidad Real.....	62
3.3.6 Densidad Aparente.....	62
3.4 Sustratos utilizados.....	63
DISCUSIÓN	64
CONCLUSIONES	65
ANEXO 1 Viabilidad económica del uso de la zeolita clinoptilolita como sustrato. ...	68
BIBLIOGRAFÍA	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1 Representación de la estructura zeolítica con catión de intercambió.	22
Ilustración 2 Clasificación de algunas Zeolitas Naturales.	28

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Calendario de Actividades.....	34
--	----

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Composición de los sustratos.	33
Tabla 2. Métodos empleados para el análisis de suelo.	33
Tabla 3. Variación de la altura (cm) de la especie Pinus pseudostrobus sp. (10 pinos) con diferentes porcentajes de zeolita activada.	43
Tabla 4. Variación del diámetro (mm) de los 10 pinos con diferentes porcentajes de zeolita activada.	44
Tabla 5. Variación de la longitud de raíz (cm) de los 10 pinos con diferentes porcentajes de zeolita activada.	44
Tabla 6. Variación del peso seco total (g) de los 10 pinos con diferentes porcentajes de zeolita activada.	45
Tabla 7. Variación de la altura (cm) de los 10 pinos con diferentes porcentajes de zeolita sin activar.....	45
Tabla 8. Variación del diámetro (mm) de los 10 pinos con diferentes porcentajes de zeolita sin activar.	46
Tabla 9. Variación longitud de raíz (cm) de los 10 pinos con diferentes porcentajes de zeolita sin activar.	46
Tabla 10. Variación del peso seco total (g) de los 10 pinos con diferentes porcentajes de zeolita sin activar.	47
Tabla 11. Comparación de tratamientos de altura con zeolita activada.....	53
Tabla 12. Comparación de tratamientos del diámetro con zeolita activada.	54
Tabla 13. Comparación de tratamientos de la longitud de raíz zeolita activada.	54
Tabla 14. Comparación de tratamientos de peso seco total con zeolita activada.....	54
Tabla 15. Comparación de tratamientos de altura con zeolita sin activar.	55
Tabla 16. Comparación de tratamientos de diámetro con zeolita sin activar.	55
Tabla 17. Comparación de tratamientos de longitud de raíz con zeolita sin activar....	56
Tabla 18. Comparación de tratamientos de peso seco total con zeolita sin activar. ...	56
Tabla 19. Análisis del suelo (tierra de monte).	60
Tabla 20. Clasificación del suelo según su valor de pH.	62

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Diagrama de caja y bigotes de la altura de los pinos con zeolita activada.	48
Figura 2. Diagrama de caja y bigotes de la altura de los pinos con zeolita sin activar.	49
Figura 3. Diagrama de caja y bigotes del diámetro de los pinos con zeolita activada.	49
Figura 4. Diagrama de caja y bigotes del diámetro de los pinos con zeolita sin activar.	50
Figura 5. Diagrama de caja y bigote de la longitud de raíz de los pinos con zeolita activada.....	51

Figura 6. Diagrama de caja y bigotes de la longitud de raíz de los pinos con zeolita sin activar.	51
Figura 7. Diagrama de caja y bigotes del peso seco total de los pinos con zeolita activada.....	52
Figura 8. Diagrama de caja y bigotes del peso seco total de los pinos con zeolita sin activar.	52
Figura 9. Gráficas de probabilidad normal de las variables con zeolita activada.	57
Figura 10. Gráficos de probabilidad normal de las variables medidas con zeolita sin activar.	58
Figura 11. Gráficos de predichos contra residuos de las variables medidas con zeolita activada.....	59
Figura 12. Gráficos de predichos contra residuos de las variables medidas con zeolita sin activar.....	59

Agradecimientos.

A Dios primordialmente, me ha dado regalos como la vida y la gran oportunidad de cumplir mis sueños.

A mis más grandes ejemplos en la vida mis padres, quienes me han dado su amor y apoyo incondicionalmente, nunca me cansaré de agradecerles todo lo que me han dado.

A mi familia, mi hermano y mi abuelita siempre apoyándome y aconsejándome en los días buenos y días difíciles, gracias por su amor y cariño.

A mis amigos y amigas Gaby, Abi, Naye, Lupita, San, Taylor, Miriam, Oscar, Axel, Edgar, Abraham, Emmanuel, etc. quienes han estado en mi vida ,brindándome risas y sonrisas, haciéndome pasar los días más felices en la Universidad, gracias por su hermosa amistad, gracias a cada persona que se presentó en este proceso de mi vida.

A mi asesora Dra. Ángeles gracias por presentarme esta oportunidad de trabajar en este proyecto, gracias por su paciencia, atención y enseñanzas que me brindo, le deseo de todo corazón que se cumplan todas sus metas en todos los aspectos de su vida.

A mi asesor Biol. Gerardo gracias por apoyarme, por su paciencia, su atención y todos sus consejos, gracias por transmitirme sus conocimientos, le deseo que todas sus metas se cumplan en todos los aspectos de su vida.

Gracias al Departamento de Zeolitas BUAP por su apoyo para la realización de este trabajo.

Gracias al Profesor Miguel Ángel Alvarado por ayudarme a la interpretación de resultados, gracias por su paciencia y sus conocimientos compartidos.

Gracias a todos los profesores y profesoras que durante mi estancia académica me enseñaron la gran importancia de aprender, a valorar que el conocimiento abre puertas y que el conocimiento es infinito.

Gracias a todos ustedes.

INTRODUCCIÓN

México es uno de los cinco países en América Latina y el Caribe con mayor cantidad de bosques y selvas. La superficie forestal arbolada ocupa alrededor de un tercio del país (64,8 millones de hectáreas), el 53% se clasifica como bosques y el 47% restante corresponde a selvas (CONAFOR, 2014).

En México existe una gran diversidad de bosques y selvas, que además de absorber el Dióxido de Carbono (CO₂), ayudan a la captura de agua, a la conservación de la biodiversidad y del suelo, a la filtración de contaminantes del aire, suelo y agua, y a la regulación del clima, también los bosques proveen productos forestales como alimentos, medicinas, leña, maderas, fibras naturales y remedios medicinales, además de espacios para la recreación. Estos bosques y selvas se encuentran bajo fuertes amenazas por el avance de la ganadería, la minería y la agroindustria, cambios de uso de suelo, etc.,(CCMSS, 2018).

Las políticas actual de desarrollo forestal y restauración ambiental en México, de acuerdo con el Programa Estratégico Forestal – 2025 (PEF), se han enfocado especialmente al desarrollo de programas de reforestación y recuperación de suelos (Cervantes *et al.*, 2008); además se aprueba la importancia de las plantaciones forestales para incrementar la producción maderable para abastecer la demanda de productos forestales del país. Por lo tanto, su objetivo está enfocado a mitigar o compensar las disfunciones ambientales e incrementar su productividad, sin que esto implique que ecosistema degradado vuelva a su estado original (Caravias *et al.*, 2007), en efecto, las plantaciones forestales cada vez cobran mayor importancia, rehabilitan y/o sustituyen los bienes y servicios que proveen las masas forestales naturales (Rodríguez, 2008).

Además de implementar políticas de restauración ambientales se requiere de otras acciones, para revertir la destrucción de recursos forestales, se establecen programas masivos de reforestación o de plantaciones forestales, utilizando plántulas de calidad producidas en vivero, en donde muchas ocasiones utilizan como sustrato principal la tierra de monte. Por consiguiente la elección del sustrato a emplear es de especial interés para producir con éxito plántulas en un vivero.

La composición física y química del sustrato está directamente relacionada con el crecimiento, desarrollo, producción y supervivencia de las especies (Prieto, 1986). Por lo general, se utilizan mezclas de diferentes tipos de sustratos, siempre buscando una textura liviana que facilite el drenaje y la aireación, que presenten un medio adecuado donde la planta desarrolle un buen sistema radical que le permita prosperar una vez plantada en el terreno definitivo (Musálem y Fierros, 1979).

Los principales problemas a que se enfrenta un productor de plantas es disponer de un sustrato ideal que permita el adecuado desarrollo de las plantas. Así mismo, los costos de producción por el uso de mezclas de diferentes sustratos es cada vez más elevados para los viveros. Sin embargo, el uso de diferentes sustratos orgánicos e inorgánicos causa un impacto ambiental indeseable (Sandoval y Stuardo, 2000). Por lo tanto, es necesaria la búsqueda de sustratos alternativos, más económicos y fáciles de adquirir (Reyes *et al*, 2005).

Diversas investigaciones se ha demostrado la utilidad de zeolitas naturales como la clinoptilolita y la modernita como las más comunes en la aplicación en la agricultura debido a que es posible utilizar la zeolita como mejorador de la eficiencia de aprovechamiento de los fertilizantes inorgánicos, principalmente los nitrogenados, y como mejorador o acondicionador del suelo (INIFAP, 2013).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día la deforestación a desaparecido gran parte de los pulmones naturales del planeta como lo son los bosques y las selvas, el impacto y la complejidad de este problema han determinado las causas sustancialmente, los bosques están siendo talados no sólo por extracción de madera, sino también debido a la tierra requerida para producir otras actividades relacionadas con la agricultura comercial, los bosques son de suma importancia debido a que cumplen con servicios vitales; recolectan y filtran agua dulce, con lo cual mantienen el ciclo hidrológico general del planeta así como también moderan inundaciones o sequías, conservan la salud del suelo porque sostienen la fertilidad en la capa superficial rica en nutrientes (López, 2012).

La repercusión de los árboles tiene la función principal relacionada a la producción de oxígeno y captura del carbono logrando mejorar la calidad del aire que respiramos y con ello lograr tener menor emisión de gases efecto invernadero, impidiendo el calentamiento en el planeta, todos los arboles contribuyen al medio ambiente así como al bienestar social y económico de la humanidad (Guarnaschelli y Garau 2009).

La deforestación deja suelos desnudos que se exponen a la erosión como consecuencia disminuye en gran medida la capacidad de la superficie terrestre para controlar su propio clima y composición lo cual incide en el calentamiento global (Rautner *et al.*, 2013).

Debido a las acciones antropogénicas el uso del suelo, se altera el equilibrio dinámico, que disminuye la calidad actual y futura de este, como consecuencia el suelo ha sufrido diversas alteraciones físicas, químicas y biológicas, mencionando algunos fenómenos que comúnmente dañan su naturaleza de este son: acidificación, salinización, deforestación, pero sobre todo de la contaminación de los suelos por el uso inadecuado y excesivo de productos químicos (fertilizantes, herbicidas, fungicidas, etc.) que afectan las condiciones geomorfológicas y las propiedades intrínsecas del suelo (Espinosa, 2011).

El suelo es uno de los recursos no renovables más explotado por el hombre (Social, 2009), es indispensable el aprovechamiento de los suelos en las actividades agrícolas, forestales, pastorales y de urbanización que se llevan a cabo para satisfacer las necesidades de la creciente expansión demográfica dado a que esta demanda mayor productividad de alimentos, mayor demanda de recursos y aumento de consumo, en consecuencia la superficie natural de suelos productivos es limitada, lo que significa que parte de la tierra restante no es apta para la agricultura (FAO, 2015).

JUSTIFICACIÓN

La recuperación de suelos es de vital importancia y para solucionar el problema es necesario presentar nuevas alternativas en donde se puedan recuperar sus propiedades (Solís, 2000).

¿Porque utilizar la zeolita como sustrato?

Es una alternativa eficiente para el desarrollo de nuevos sustratos, con características ideales para el óptimo crecimiento de plántulas, dado que las zeolitas naturales cubren dichas necesidades específicas debido a su constitución; su estructura física y química las hace un sustrato atractivo en la agricultura y el cultivo de plantas forestales (Vasqués y Yunca, 2008; Salas, 2014).

Anteriormente se han hecho estudios utilizando la zeolita como sustrato en especies forestales, de este modo se desea emplear en la especie de *Pinus pseudostrobus sp.* para el establecimiento de plantaciones forestales como una alternativa o posibilidad

para la recuperación de suelos degradados se desea usar la zeolita clinoptilolita como posible sustrato en crecimiento de esta especie (Vasqués y Yunca, 2008).

En la actualidad comúnmente se utilizan sustratos como la turba de musgo, peat moss, agrolita, perlita y vermiculita, para la producción de plantas en vivero se emplean estos sustratos comerciales, cuyo costo es muy elevado, lo cual es una limitante para su utilización, pues reduce significativamente los márgenes de utilidad; por lo anterior se necesita buscar sustratos alternativos (Mateo *et al.*, 2011). Es preciso decir que la extracción de estos sustratos tienen muchas consideraciones ambientales debido a su alto costo de producción en los viveros (Mañas *et al.*, 2009) se plantea usar la zeolita porque precedentemente se han hecho estudios en donde la zeolita se aplica en la agricultura como mejorador de la eficiencia en los fertilizantes inorgánicos, principalmente los nitrogenados así como reparador o recuperador del suelo (Paredes *et al.*, 2013).

Es por ello que se buscan alternativas que ayuden a conservar nuestro medio ambiente, incrementando la capacidad de producción de especies forestales. Los ecosistemas forestales y agroforestales pueden absorber cantidades significativas de carbono en biomasa y conservan los suelos (Espinosa *et al.*, 2008).

OBJETIVO GENERAL.

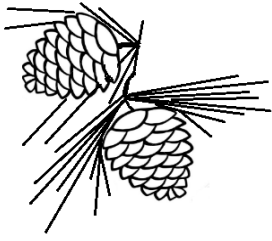
Aplicar la zeolita clinoptilolita cálcica en suelo para obtener un sustrato que permita el crecimiento del pino de la especie *Pinus pseudostrobus sp.*

OBJETIVOS PARTICULARES.

1. Desarrollar un sustrato adecuado.
2. Determinar el porcentaje de sustrato más efectivo para el crecimiento y el desarrollo de esta especie forestal.
3. Analizar las variables fisicoquímicas de suelo: contenido de humedad, pH, textura, densidad real y aparente, cantidad de materia orgánica y carbono orgánico.
4. Medir el crecimiento del pino en: altura, diámetro del tallo, longitud de raíz, y peso seco total.

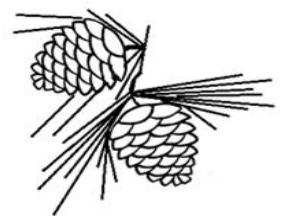
HIPÓTESIS

La aplicación de la zeolita clinoptilolita cálcica en suelo permite la obtención de un sustrato que mantiene las propiedades fisicoquímicas del suelo para un desarrollo óptimo del crecimiento del pino de la especie *Pinus pseudostrobus sp.*



CAPÍTULO 1

Antecedentes



1. ANTECEDENTES

1.1 DEFINICIÓN DE SUSTRATO.

Se define como sustrato al sistema en donde la planta desarrolla su sistema radical en un medio confinado, en un espacio limitado y aislado, fuera del suelo. El término sustrato en la agricultura se aplica a todo material sólido, natural o de síntesis distinto al suelo *in situ*, que colocado en un contenedor, en forma pura o de mezcla, que permite el desarrollo del sistema radicular y el crecimiento del cultivo que puede intervenir o no en la nutrición de la planta (Castellanos y Vargas, 2009).

1.2 COMPOSICIÓN DE UN SUSTRATO.

El sustrato es colocado en un contenedor, los materiales varían en su composición de acuerdo a las propiedades o características con las que se usan, existe una gran diversidad de materias primas de las cuales son elaborados; así mismo, las propiedades para el crecimiento variaran de acuerdo al material con el que son mezclados, la mezcla debe adecuarse a los requerimiento del cultivo en contenedor por esta razón es necesario llevar a cabo la caracterización de los materiales a emplear como sustratos, así como evaluar su efecto en el crecimiento de las plantas (Arcos *et al.*, 2011)

Las plantas que están cultivadas en contenedores, tienen ciertos requerimientos funcionales tal que deben ser proporcionado por el medio de crecimiento como son: agua, aire, soporte físico y nutrientes minerales,etc.

El desarrollo y evolución de las plantas de vivero, el sustrato es una base fundamental, puesto que en este crecerán dos sistemas de la planta (la aérea y el subterráneo), morfología y fisiología así como la disponibilidad de nutriente para ella (Cruz *et al.*, 2012).

Un buen sustrato o medio de crecimiento es esencial para la producción de plantas de calidad, debido a que el volumen del contenedor es limitado, el sustrato y sus componentes deben poseer características físicas y químicas que permitan un crecimiento óptimo (Martínez *et al.*, 2014) .

Para producir plantas en vivero de buena calidad se emplean sustratos comerciales (peat moss, agrolita, vermiculita, perlita, etc.), cuyo costo es muy elevado, esto es una limitante para su utilización, debido a que reduce significativamente los márgenes de

utilidad; en vista de esto se necesitan buscar sustratos alternativos más económicos, ecológicos y de mayor disponibilidad (Mateo *et al.*, 2011).

1.3 FUNCIONES DE UN MEDIO DE CRECIMIENTO O SUSTRATO.

Un sustrato es un sistema de tres fracciones (sólida, líquida y gaseosa) cada una con una función propia: la fracción sólida asegura el sostenimiento mecánico del sistema radicular y la estabilidad de la planta, la fracción líquida como su nombre lo indica aporta a la planta el agua y al interactuar con la fase sólida hay disponibilidad y distribución de nutrientes necesarios para ella, la fracción gaseosa asegura la transferencia de oxígeno y dióxido de carbono en todo el entorno radicular (Masaguer y Cruz, 2006).

1.4 PROPIEDADES DE LOS SUSTRATOS.

La composición del sustrato debe favorecer el proceso de crecimiento y desarrollo del sistema radical para tener consiguientemente una buena condición de la planta (Martínez *et al.*, 2014).

El sustrato debe ser liviano, del mismo modo debe ser químicamente inerte. Por otra parte para lograr un buen desarrollo, las plantas deben estar bajo condiciones apropiadas: nutricionales y ambientales. Para lograr las condiciones óptimas del sustrato: las mezclas deberán tener las características físicas adecuadas de retención de agua así como también que faciliten el drenaje y la aireación (Arcos *et al.*, 2011).

Los sustratos utilizados para la producción de plantas en contenedores, tienen la función de proveer soporte físico, así mismo de proporcionar aire, agua y nutrientes para el buen desarrollo de las raíces, de igual modo debe de existir un equilibrio entre el agua retenida y la aireación en este, en el medio de crecimiento esto es un aspecto esencial, debido a que debe existir suficientes poros pequeños para retener el agua que va a absorber la planta y suficientes poros grandes para permitir el intercambio de aire con el medio externo para mantener las concentraciones adecuadas de oxígeno. Por otra parte, el sustrato debe ser lo suficientemente pesado, es decir, con suficiente densidad aparente para mantener a la planta en posición vertical, evitando el volcamiento, y al mismo tiempo sin exceso de peso que dificulte el crecimiento y desarrollo de las plantas (Jiménez y Caballero, 1990; Pire *et al.*, 2003).

Algunas de las características químicas y físicas del sustrato son: pH, conductividad térmica (CE), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), granulometría, aireación, porosidad total, porosidad de retención de humedad, densidad aparente, curva de liberación de agua, agua no disponible, agua fácilmente disponible, el agua difícilmente disponible, el agua de reserva (Martínez y Roca, 2011).

1.4.1 Propiedades físicas de los sustratos.

Las propiedades físicas de un sustrato son más importantes que las químicas, puesto que las segundas las podremos modificar mediante el manejo de las soluciones nutritivas, siendo las primeras más difíciles de modificar (Baixauli y Aguilar, 2002).

Las propiedades físicas constituyen el conjunto de características que describen el comportamiento del sustrato en relación a las fracciones sólida, líquida y gaseosa del sustrato, dichas características dependen tanto la alimentación de la planta como la respiración radicular y todos los procesos afectados por ellas.

Sin ellos es muy difícil cuantificar la calidad de los sustratos, comparar los diversos materiales y prever sus aplicaciones, su comportamiento y cómo deben manejarse.

Una vez que el sustrato ha sido ocupado por las raíces dentro de un contenedor, no es posible modificar las propiedades físicas, así que sólo se resuelve haciendo la elección acertada del material (Martínez y Roca, 2011).

Las propiedades físicas que se determinan generalmente en los sustratos son el espacio poroso total, la capacidad de retención de agua y de aire, la densidad aparente y densidad de las partículas (Pastor, 2000; Arcos *et al.*, 2011).

Estas vienen determinadas por la estructura interna de las partículas, su granulometría y el tipo de empaquetamiento del material o naturaleza del sustrato. Algunas de las más destacadas son (Pastor, 2000):

- Densidad real y aparente
- Distribución granulométrica
- Porosidad y aireación
- Retención de agua
- Permeabilidad
- Distribución de tamaños de poros
- Estabilidad estructural

A continuación se describirán algunas de las propiedades físicas de un sustrato:

Porosidad total.

El espacio poroso o porosidad total es un indicador de los espacios disponibles en el sustrato (ocupados por agua o aire), representa el volumen de aire del material, seco en estufa, expresado como un porcentaje del volumen total (ProNAP,2014).

El total de poros se mide en microporos, que son los encargados de retener el agua, y los macroporos que permiten la correcta aireación y drenaje del sustrato. La porosidad puede ser: intraparticular (poros en el interior de las partículas), que podrá estar conectada al exterior o cerradas, esta última no será efectiva y se le conoce como porosidad ocluida o interparticular, poros existentes entre las diferentes partículas. El valor óptimo de porosidad es superior al 85% (Baixauli y Aguilar, 2002).

Capacidad de retención de agua.

La capacidad de retención de agua de un medio es el volumen de agua que se retiene después del riego y el drenaje. La cantidad de agua retenida por un medio particular es dependiente en la distribución del tamaño de las partículas y la altura del recipiente. Cuando un medio determinado se ha saturado con agua y se ha permitido drenar libremente, se dice que el medio está a la “capacidad del recipiente.” El volumen del medio ocupado por el aire a este nivel de humedad es la denominada porosidad de aireación o espacio drenable de poros (Ingram *et al.*, 1993).

En otras palabras, la capacidad de retención de agua es el volumen de agua que el sustrato no puede contener (ProNAP, 2014).

El valor óptimo se sitúa entre el 20-30%, cualitativamente dicho valor es el encargado de suministrar aire y por lo tanto, oxígeno a las raíces de la planta. Un mismo volumen de sustrato retendrá más agua cuanto menor sea la altura del contenedor, debiendo adecuar la altura al tipo de sustrato empleado (Baixauli y Aguilar, 2002).

Densidad Real.

La densidad real expresa la relación entre la masa del material seco a 105°C (en estufa) y el volumen real ocupado por las partículas, sin incluir el espacio de poros intermedios (Martínez y Roca, 2011).

Densidad aparente.

La densidad aparente representa el peso seco del medio con relación al volumen total que ocupa mientras que la densidad de partículas está representada por el mismo peso con relación al volumen del material sólido (Pire *et al.*,2003).

Granulometría.

Generalmente los sustratos están constituidos por partículas de distintos tamaños. Las propiedades físicas de un sustrato suelen variar considerablemente en función de la distribución porcentual de cada uno de los rangos de tamaños en que estén clasificadas las partículas (Martínez y Roca, 2011) .

Distribución del tamaño de las partículas.

El tamaño de los poros determina la capacidad del sustrato en retener el agua y aire. La porosidad aumenta en la medida que lo hace el tamaño medio de las partículas, es muy importante la distribución del tamaño de sus partículas.

Las partículas pequeñas hacen disminuir la porosidad y aumentar la cantidad de agua retenida.

El material más adecuado es de textura media a gruesa, con distribución de tamaño de los poros entre 30-300 micras, que retiene suficiente agua fácilmente disponible y posee un adecuado contenido de aire (Baixauli y Aguilar, 2002).

Estructura estable.

Que permita una buena durabilidad del material y una manipulación adecuada (Baixauli y Aguilar, 2002).

1.4.2 Propiedades químicas de los sustratos.

A diferencia de las propiedades físicas de un sustrato, las propiedades químicas pueden ser y/o son modificadas a lo largo de un ciclo de producción, como puede ser en casos; cuando se recurre a programas intensivos de fertirriego o el uso de fertilizantes de lenta liberación (Cabrera, 1999; García *et al.*,2001).

Así mismo, la evaluación inicial de las propiedades químicas de un sustrato se concentra principalmente en aquellos parámetros que podrían afectar más significativamente el cultivo en su fase de establecimiento, como lo son el pH y CE (García *et al.*,2001).

Estas propiedades vienen definidas por la composición elemental de los materiales; éstas caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución del mismo. Entre las características químicas de los sustratos destacan (Pastor, 2000):

- Capacidad de intercambio catiónico
- pH
- Capacidad tampón
- Contenido de nutrimentos
- Relación C/N

A continuación se describirán algunas de las propiedades químicas de un sustrato:

Capacidad de intercambio catiónico C.I.C.

Se define como la suma de cationes que pueden ser adsorbidos por unidad de peso del sustrato, es decir, la capacidad de retener cationes nutrientes e intercambiarlos con la solución acuosa.

Una CIC alta es propia de los sustratos orgánicos. Se expresa en miliequivalentes por unidad de peso o volumen, meq/100 g. o meq/100 cc (Baixauli y Aguilar, 2002).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se define como la cantidad de cationes presentes en la superficie del sustrato y que pueden intercambiarse con los cationes de la solución nutriente, hasta alcanzar un equilibrio (Martínez y Roca, 2011)

pH.

El pH influye en la asimilabilidad de los nutrientes por la planta. Con un pH inferior a 5 pueden presentarse deficiencias de nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y con valores superiores a 6.5 se disminuye la asimilabilidad de hierro (Fe), fósforo (P), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), y cobre (Cu).

Los materiales orgánicos presentan mayor capacidad, que los inorgánicos y por lo tanto, mayor capacidad para mantener constante el pH.

El nivel óptimo aconsejado para el manejo de cultivo sin suelo de hortalizas en la disolución del sustrato se sitúa en valores comprendidos entre 5.5 y 6.8, que es el rango en el que se encuentran de forma asimilable la mayor parte de los nutrientes (Baixauli y Aguilar, 2002).

Relación C/N.

El valor de dicha relación da una idea del grado de inmadurez de los sustratos orgánicos y de su estabilidad. Un nivel del orden de 30 puede ser indicativo de la falta de descomposición del sustrato, dando lugar a una inmovilización del nitrógeno de la solución y a una reducción del oxígeno debida a la actividad microbiana. En sustratos para horticultura se recomiendan valores inferiores a 20 (Baixauli y Aguilar, 2002).

1.4.3 Propiedades biológicas de los sustratos.

Se refiere a las propiedades dadas por los materiales orgánicos, es decir, cuando éstos no son sintéticos, son inestables termodinámicamente y por lo tanto, susceptibles de degradación mediante reacciones químicas, primordialmente por la acción de microorganismos (Búres, 1999). Cualquier actividad biológica en los sustratos es claramente perjudicial. Los microorganismos compiten con la raíz por oxígeno y nutrientes, también pueden degradar el sustrato y empeorar sus características físicas (Vásquez y Yunca, 2008).

Entre las características biológicas destacan:

- Contenido de materia orgánica.
- Estado y velocidad de descomposición.

A continuación se describirán algunas de las propiedades biológicas de un sustrato:

Velocidad de descomposición.

La descomposición de los sustratos se da generalmente en los orgánicos, siendo deseable para el manejo de sistemas de cultivo sin suelo que tengan una baja velocidad de descomposición por degradación biológica. En aquellos casos en los que opte por la elección de sustrato orgánico y se pretenda una larga duración de cultivo, deberemos elegir y tomar las medidas oportunas para evitar una rápida degradación (Baixauli y Aguilar, 2002).

Estar libre de semillas de malas hierbas y de patógenos.

Sobre todo en los sustratos naturales y de origen orgánico. Estos sustratos han de estar también exentos de sustancias tóxicas (Baixauli y Aguilar, 2002).

1.5 TIPOS DE SUSTRATO.

Existen diferentes tipos de sustrato, se pueden clasificar de acuerdo a su origen y/o naturaleza de los materiales, sus propiedades y/o características; como su estructura física, contenido orgánico y estabilidad, su capacidad inherente, etc., (Vásquez y Yunca, 2008).

Se pueden clasificar los distintos sustratos utilizados en:

a) Sustratos orgánicos, que se subdividen al mismo tiempo en:

- De origen natural: se caracterizan por estar sujetos a la descomposición biológica, como ejemplo las turbas.
- Subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, industriales y urbanas: se caracteriza por que la mayoría de los materiales de este grupo se encuentran en un proceso de compostaje, para su adecuación como sustratos (fibra de coco, cortezas de árboles, aserrín y virutas de la madera, cascarillas de arroz, pajas o residuos de cereales, orujo de uva, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, etc.).

b) Sustratos inorgánicos, que se subdividen en:

- De origen natural, es decir, que no requieren de un proceso de manufacturación, generalmente se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso, mayormente modificándose mediante tratamientos físicos sencillos, no son biodegradables entre los que encuentran: la arena, las gravas y las tierras de origen volcánico.
- De síntesis: como lo son los polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (espuma de poliuretano, poliestireno expandido, etc.).
- Transformados o tratados: productos que conllevan a un proceso de manufacturación, como lo son: la lana de roca, fibra de vidrio, perlita, vermiculita, arcilla expandida, arlita, ladrillo troceado, etc.
- Residuos y subproductos industriales. Comprende los materiales procedentes de muy distintas actividades industriales (escorias de horno alto, estériles del carbón, etc.).

Sin embargo, la elección de un determinado material depende de: la disponibilidad y adquisición del sustrato, las condiciones climáticas, la efectividad de la producción, asimismo de la especie cultivada, de sus propiedades y características, el importe, la facilidad de manejo, la homogeneidad, del manejo, etc.(Baixauli y Aguilar, 2000).

1.6 PROBLEMÁTICAS DEL USO DE SUSTRATOS EN LA ACTIVIDAD VIVERÍSTICA.

Existen varios aspectos que se deben tomar en cuenta con respecto a la utilización de sustratos de acuerdo al tipo de materiales, debido a que pueden condicionar de manera decisiva el éxito o fracaso del proyecto en la producción de la planta (Pastor, 1999).

Estos aspectos son los siguientes:

- **Manejo.**

La experiencia que tienen los viveros en emplear los sustratos como medio de cultivo, demuestra que el manejo del sustrato es una de las claves del éxito en la producción de plantas.

Un buen sustrato (adaptado de acuerdo a sus propiedades; físicas, químicas, en el cultivo) puede comportarse de manera muy deficiente si no se maneja adecuadamente; mientras que un sustrato inadecuado (aunque tenga limitaciones de acuerdo a sus propiedades) puede obtener producciones elevadas si su manejo es el adecuado.

- **Precio.**

El costo del sustrato debe ser accesible, en otras palabras, lo más económico posible, por esta razón a veces resulta imposible, no contar con la disponibilidad de obtención de este, de acuerdo a su tipo (de origen: natural, sintético, subproducto, residuo, tratado, etc.) (Nelson, 1998).

- **Disponibilidad.**

Hoy en día los sustratos de origen natural mayormente participan en el agotamiento de los recursos naturales no renovables, esto afecta también a las mezclas o combinaciones que pueden proporcionar los diferentes materiales para formar un determinado sustrato (Lemaire, 1997).

Por esta razón se están encontrando en el mercado nuevas alternativas de materiales “ecológicamente correctos”, como los procedentes del reciclaje de subproductos que son a la vez biodegradables o reciclables (Burés, 1997).

El aprovechamiento de este tipo de materiales ofrece dos ventajas fundamentales: la primera se refiere al precio, el cual trata de materiales autóctonos más baratos de obtener y a los que no se les carga el costo añadido del transporte, en tanto la segunda ventaja integra y da una finalidad productiva a materiales secundarios y/o subproductos de otros procesos productivos (principalmente industriales). Por ello, el beneficio del uso de este tipo de materiales es primordialmente económica y de igual forma ecológica.

Ahora lo novedoso de los sustratos es que ya no sólo se busca que tenga un rendimiento elevado en la producción del cultivo, sino que además tenga un valor

añadido; por ejemplo eliminación de algunas enfermedades provenientes de hongos, nuevos sustratos con una elevada capacidad de intercambio catiónico, incluso que aumenten la eficiencia en el uso del agua, tanto durante la fase de vivero de las plantas que son cultivadas en contenedor, como durante la fase de transplante al terreno definitivo de estas plantas (Martínez y Roca, 2011).

1.7 SUSTRATO IDEAL.

Una vez conocidos los principales parámetros que definen un sustrato, se procede a hacer referencia a un “sustrato ideal”, sin que anteriormente surja una pregunta ¿si existe un sustrato ideal?, la respuesta es “no”.

Convenientemente el sustrato debe ser adecuado para cada caso, específicamente dependerá de numerosos factores: como el tipo de planta que se producirá, el tamaño, tamaño, material y forma del contenedor, sistema de riego y fertirrigación, etc., (Masaguer y Cruz, 2006), además de la fase del proceso productivo en el que se interviene (semillado, germinado, estaquillado, crecimiento, etc.), condiciones climatológicas, y lo que es más importante, el manejo de ese sustrato. Sin embargo, se puede hacer referencia a los requerimientos que un buen sustrato debe tener, como son (Pastor, 2000):

- Alta capacidad de retención de agua fácilmente disponible
- Alta aireación
- Baja densidad aparente
- Elevada porosidad
- Baja salinidad
- Elevada capacidad tampón
- Baja velocidad de descomposición
- Estabilidad estructural
- Bajo costo
- Fácil manejo (mezclado, desinfección, etc.)

En los viveros forestales que tienen sus productividad en contenedores, un medio de crecimiento ideal debe de poseer las siguientes propiedades (Masaguer y Cruz, 2006):

a) Propiedades físicas:

- Alta capacidad de retención de agua disponible.
- Buena distribución y balance en el tamaño de poros.
- Suficiente suministro de aire.

- Baja densidad aparente.
- Alta porosidad.
- Estructura estable, que impida la contracción (o hinchazón del medio).
- Estabilidad dimensional (expansión y contracción, descomposición de materiales orgánicos, y la relación espacio-encogimiento en volumen).
- Alta capacidad de humedecimiento .

b) Propiedades químicas

- Alta Capacidad de Intercambio Catiónico.
- pH ligeramente ácido
- Ajustable o adecuada capacidad de intercambio catiónico, dependiendo de que la fertirrigación se aplique permanentemente o de modo intermitente, respectivamente.
- Suficiente nivel de nutrientes (no en exceso, ni limitantes)..
- Baja salinidad.
- Elevada capacidad tampón y capacidad para mantener constante el pH.
- Mínima velocidad de descomposición.

c) Otras propiedades:

- Material que evite plagas y enfermedades (Libre de semillas de malas hierbas, nematodos y otros patógenos y sustancias fitotóxicas.
- Facilidad de manejo para el mezclado y llenado de los contenedores.
- Buen promotor de formación de un cepellón firme.
- De bajo costo y de fácil disponibilidad. .
- Resistencia a cambios externos físicos, químicos y ambientales.

Reportado por Vásquez y Yunga (2008).

1.8 PROBLEMÁTICA DE LOS SUSTRATOS ACTUALES.

El mercado actual dispone de una amplia gama de sustratos comerciales, los cuales presentan propiedades físicas, químicas y biológicas propias para un buen desarrollo de las plantas; sin embargo, aspectos como el precio, el manejo, la finalidad, la productividad y la disponibilidad de estos sustratos son factores decisivos en el éxito o fracaso en la utilización de los mismos (Pastor, 1999).

En la actualidad existe una gran diversidad de sustratos orgánicos e inorgánicos, los cuales poseen materiales que son transformados o tratados industrialmente, una vez que terminan su vida útil no son biodegradables, ocasionando problemas ambientales originados por la eliminación de residuos de los sustratos, por lo que ha obligado a la

búsqueda de nuevos materiales alternativos o sustitutivos, de menor impacto con el medio ambiente (Rodríguez, 2013).

1.9 LA ZEOLITA COMO SUSTRATO.

El desarrollo de la tecnología agrícola, está basada primordialmente en el uso eficiente de los recursos naturales, investiga y propone las mejores alternativas viables para la producción de cultivos. Tal es el caso de los productores agrícolas, forestales y ornamentales que demandan un sustrato adecuado y acorde al sistema de producción seleccionado hidropónica o viverística (Pastor, 1999).

Recientemente se ha investigado el uso y la aplicación de zeolita natural en la agricultura ha crecido desde hace 20 años (Soca y Daza, 2016).

1.10 Uso, APLICACIONES Y BENEFICIOS DE LA ZEOLITA.

La estructura particular de las zeolitas, las dotan de magníficas propiedades que le permiten actuar como catalizadores, intercambiadores iónicos y adsorbentes. Debido a ello, éstas han sido utilizadas en una amplia gama de aplicaciones que incluyen el control de la contaminación de agua y aire, fabricación de detergentes, tratamiento y manejo de desechos radioactivos, purificación por deshidratación y/o separación de gases, regulación proporcionado de minerales en la agricultura, refinación de petróleo, en esta aplicación ha tenido un gran auge en los últimos 50 años, por que se han constituido catalizadores significativos para la industria petroquímica, reportados por Breck (1974) y Virta (1990) aunque también recientemente las aplicaciones de las zeolitas como tamices moleculares han tenido un creciente interés para el reconocimiento, discriminación y organización de átomos, moléculas e iones, especialmente en dispositivos fotoquímicos y fotoelectroquímicos reportado por Walcarius *et al.* (1997), cada día se encuentran variedad de aplicaciones de este material, alrededor del mundo (Villavicencio *et al.*, 2009).

Así como las zeolitas naturales tienen una amplia gama de usos, las zeolitas sintéticas revolucionaron aspectos esenciales en la industria de los materiales y el petróleo, como por ejemplo: la producción de gasolina por cracking catalítico de moléculas grandes de hidrocarburos ahora depende de la actividad catalítica de las zeolitas, ya que estas pueden reducir un 10% a un 20% más de gasolina, que con otros catalizadores y además de ser más eficiente porque resulta más limpia y ligera, así como también en la industria de los materiales mejora a los polímeros.

En particular la zeolita natural clinoptilolita, es usada para limpiar desechos radioactivos líquidos, también es utilizada en la purificación de efluentes industriales, por sus propiedades adsorptivas también permiten su utilización en la adsorción de gases contaminantes (Jiménez , 2004).

1.10.1 Beneficios que producen las zeolitas en la agricultura.

Aplicar zeolitas mejoran las propiedades de los suelos y contribuyen a la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios (Jordan *et al.*, 2013).

La aplicación de zeolitas en diferentes tipos de suelos mejora sus propiedades químicas, especialmente las relacionadas con la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la zona de las raíces y disminuye las aplicaciones de fertilizantes, lo que reduce las pérdidas por volatilización y lixiviación (Soca y Daza, 2016).

La aplicación de fertilizantes en el suelo no tiene suficiente éxito, a causa de los ingredientes que contienen, estos se lixivian antes de ser aprovechados totalmente por la planta, es por ello que en ciertos cultivos, se ha llevado a cabo la adición de las zeolitas, empleadas como fertilizantes debido a que mantienen un efecto prolongado gracias a la liberación lenta de los componentes usados de la estructura porosa y a la retención de agua dentro de los poros (Soca y Daza 2016; López *et al.*, 2010).

Entre las zeolitas, la clinoptilolita y la mordenita se distinguen por su utilidad en la agricultura, dado que al entrar en contacto con el amonio (NH_4^+) del medio lo retienen en su estructura interna y externa, funcionando como un fertilizante nitrogenado de lenta liberación (Millán *et al.*, 2008).

En un estudio se evaluó el efecto de la zeolita (clinoptilolita y mordenita) en la producción de biomasa vegetal y el ambiente químico del suelo, empleando en cultivo de avena, donde se evaluaron diferentes concentraciones de zeolita en suelo, las variables evaluadas fueron biomasa aérea y de raíces, pH y capacidad de intercambio catiónico (CIC), Amonio (NH_4^+) sustrato y Nitrato (NO_3^-) lixiviado y como resultado la aplicación de zeolita obtuvo un efecto positivo sobre la producción de la biomasa aérea y de raíces y modificó el ambiente químico edáfico en sus valores de pH y CIC. La aplicación de las zeolitas provocó una menor acumulación de NO_3^- lixiviado en relación a la cantidad de NH_4^+ en sustrato. Los resultados apoyan que las zeolitas tienen la capacidad para adsorber amonio y aminorar el proceso de nitrificación (Flores *et al.*, 2007).

1.10.2 Beneficios que producen las zeolitas en la producción de fertilizantes orgánicos.

Se ha demostrado que en algunos casos el uso de fertilizantes presentan contaminación de aguas subterráneas y superficiales como consecuencia de la adición de fertilizantes nitrogenados en el suelo. Solo una parte del Nitrógeno (N) del suelo es absorbido por las plantas mientras que el N residual permanece en las capas más profundas del perfil, se considera una pérdida ya que no puede ser aprovechado por el cultivo. Por lo tanto, el desarrollo de fertilizantes de liberación lenta de nitrógeno podría disminuir la contaminación y mejorar los rendimientos de los cultivos (Civeira y Rodríguez, 2011).

A causa de esto, la fertilización nitrogenada puede provocar contaminación de acuíferos por la lixiviación de los nitratos excedentes (Millán *et al.*, 2008) .

En la búsqueda de alternativas para la mitigación de los efectos adversos derivados del uso de fertilizantes se ha realizado estudios en todo el mundo con diversos resultados desde hace varios años, por ejemplo la utilización de fertilizantes de liberación lenta y controlada (ureas modificadas en su formulación) permite reducir la tasa de liberación de nitratos a partir de la urea. Otra alternativa para la mitigación de los impactos negativos de la lixiviación de nitratos es la incorporación de zeolitas naturales clinoptilolitas a las formulaciones con fertilizantes nitrogenados debido a que posee una alta capacidad de intercambio catiónico favoreciendo la retención de iones NH_4^+ y otros cationes provenientes del fertilizante y del suelo, de acuerdo a su granulometría (He *et al.*, 2002; Civeira y Rodríguez, 2011).

1.10.3 Beneficios de la zeolita en la producción de fertilizantes químicos y organominerales.

Se atribuye a las zeolitas en general y particularmente a las clinoptilolitas, la capacidad de retener y liberar lentamente los iones NH_4^+ que se incorporan en la red de canales que forman su estructura cristalina. La clinoptilolita es la zeolita natural más abundante en la naturaleza. Posee una alta capacidad de intercambio catiónico y una gran afinidad por los iones NH_4^+ (Millán *et al.*, 2008).

La dinámica suelo-clinoptilolita-nitrógeno es variable, dependiendo de las características fisicoquímicas de los suelos, de la dosis de clinoptilolita y de nitrógeno aplicado, del manejo del cultivo y de la época del año en la cual se realizan los ensayos, por lo que se sugiere la necesidad de hacer evaluaciones en los suelos donde se emplearán.

La utilización de clinoptilolita ha permitido aumentar la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados (Civeira y Rodríguez, 2011).

A continuación se enlistan algunos beneficios sobre las zeolitas utilizadas en la producción con fertilizantes:

a) En la producción de Fertilizantes orgánicos:

- Disminuye los lixiviados (por ejemplo Nitratos que estos son los que mayormente contaminan las fuentes de agua dulce).
- Control total de los olores desagradables en el proceso de compostaje.
- Aumenta la calidad agrícola y comercial del compost.
- Disminuye hasta un 50% las pérdidas de nutrientes por volatilización, que se producen durante el proceso de producción en un cultivo.
- Acelera el proceso de putrefacción de los residuos orgánicos.

b) En la producción de Fertilizantes químicos y órgano minerales:

- Las zeolitas actúan como fertilizantes de liberación lenta debido a que tienen una estructura cargada negativamente, al encontrarse nutrientes como el Potasio y el Nitrógeno, pueden cargarse con estos iones antes de utilizarse para después poder liberar los nutrientes cerca del sistema de raíces donde son necesarios para el crecimiento.
- Incrementa la eficiencia del uso de los fertilizantes químicos y órgano minerales, en más del 50%.
- No solamente puede actuar como un fertilizante de lenta liberación, retardando o reduciendo los lixiviados (movimiento en el suelo de nutrientes disueltos en agua), de la zona de la raíces, sino también reduciendo la migración de los nutrientes de la zona de las raíces hacia aguas profundas, eliminando la posibilidad de contaminación de mantos acuíferos.
- Muchos de los fertilizantes utilizados con nitrato de amonio (NH_4NO_3), tienen una baja eficiencia en el uso de sus nutrientes y en muy pocos casos la eficiencia es superior al 50% para la mayoría de los cultivos, las adiciones de zeolita pueden ayudar al incremento de la eficiencia de estos fertilizantes (Leiva, 2010).

1.10.4 Beneficios que producen las zeolitas para la sanidad vegetal.

Se han demostrado las potencialidades de la zeolita en el cultivo de diferentes especies de plantas. Para contrarrestar el efecto perjudicial de los microorganismos (perjudiciales para un cultivo) y mejorar las propiedades del suelo se ha utilizado la zeolita, debido a

que cuenta con excelentes propiedades físicas, puede lograr la disminución de pH y mejorar la capacidad de intercambio iónico del sustrato. Por otra parte como se ha mencionado anteriormente, la zeolita es capaz de retener los nutrientes y aportarlos a la planta lentamente de acuerdo con la demanda de las plantas (Jiménez *et al.*,2010).

Conservación de granos y semillas

- Debido a la habilidad de la zeolita para absorber el exceso de humedad, es utilizada en el almacenamiento de granos y semillas.
- En el almacenamiento de fertilizantes, especialmente embolsados, evita la compactación y la formación de terrones.
- En el almacenaje de granos al ambiente mezclado con zeolita se conservan durante mas tiempo.
- Los granos mezclados con zeolita mostraron similar comportamiento que en el almacenaje en frigorífico.
- En los granos de todas las especies hubo menor número de insectos y hongos cuando estuvo presente la zeolita en el almacenaje al ambiente.
- Disminuye los riesgos por ataques de plagas y enfermedades. (Emiva Solutions, 2018 ; Vasquéz y Yunga, 2008).

1.10.5 Beneficios que producen las zeolitas para la mecanización agrícola.

- La presencia de zeolita en el suelo favorece su estructura evita que se compacte.
- Facilita el drenaje de los campo, producto a que produce en el suelo una mayor porosidad.

Las propiedades relacionadas con el intercambio catiónico y la selectividad iónica que poseen las clinoptilolitas (debido a su estructura química) como se muestra en la Ilustración 1 ha motivado el estudio de su aplicación en el ámbito agropecuario.

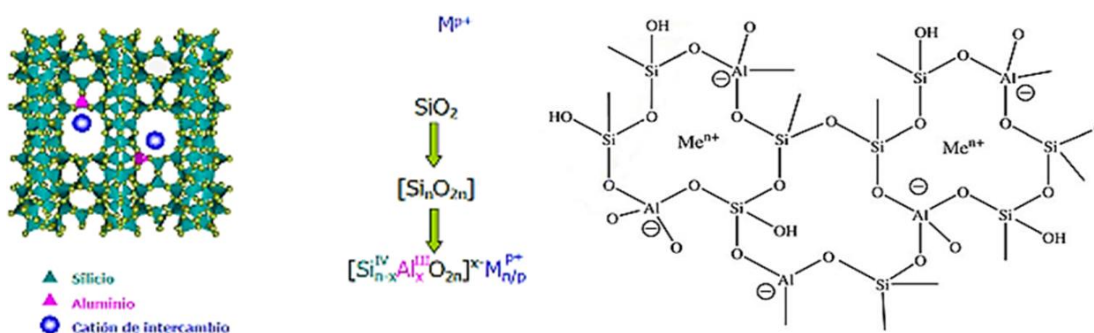


Ilustración 1 Representación de la estructura zeolítica con catión de intercambio.

- Menor riesgo de volatilización ya que la zeolita absorbe el amonio libre en un sistema planta-zeolita-suelo.
- El agua de riego o las precipitaciones introducen la zeolita en el suelo.
- El fertilizante es retenido por la zeolita en la zona radical hasta que es requerido por las plantas.
- Se mejoran las propiedades físico-químicas del suelo en el largo plazo (Capacidad de Intercambio Catiónico, retención de nutrientes, etc.), reportado por emiva solutions (2017).

1.10.6 Beneficios que producen las zeolitas para el riego y el drenaje de los suelos.

- Mejora sus propiedades físicas del suelo (estructura, retención de humedad, aireación, porosidad, densidad, ascensión capilar, etc.).
- Mejora sus propiedades químicas (pH, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y micro nutrientes). Aumentando su capacidad de intercambio catiónico (CIC).
- Disminuye alto contenido de Sodio (Na^+) en el suelo, que puede ser tóxico para las plantas.
- Mayor estabilidad de los contenidos de materia orgánica del suelo, y no permite las pérdidas de materia orgánica por mineralización.
- Aumenta la retención de nutrientes, lo que permite reducir hasta un 50% la aplicación de los fertilizantes minerales que se aplican tradicionalmente.
- Aumenta la retención de humedad permitiendo reducir las dosis de riego en más del 15%.
- Mejora considerablemente la nivelación del terreno, debido al mejoramiento de su estructura.
- La aplicación de zeolita en el suelo, reduce significativamente la cantidad de agua y el costo en fertilizantes, mediante la retención de nutrientes en la zona de las raíces.
- Las zeolitas forman un depósito permanente de agua, asegurando un efecto de humedad prolongada, hasta en épocas de sequedad.
- Controla la acidez del suelo, incrementando el pH. Esto se produce por su capacidad alcalinizante.
- Aumenta la resistencia a la compactación del suelo.

- Las condiciones físico-químicas de los suelos arenosos mejoran con la aplicación del zeolita debido a que aumenta su capacidad retenedora de humedad, y en los suelos arcillosos mejora las condiciones físicas, evitando la compactación de los mismos y mejorando la capacidad de penetración de agua en ellos.
- Aumenta el aprovechamiento de los fertilizantes químicos, pesticidas y otros productos aplicados al suelo, pues los incorpora a su masa porosa y los va liberando poco a poco.
- Mejoran la nitrificación en el suelo. Al suministrar una superficie ideal para la adherencia de las bacterias nitrificantes, ayuda a una mayor nitrificación. Por el mismo motivo, aumenta la población de bacterias del suelo que atacan a hongos patógenos.
- La estructura porosa de las zeolitas ayuda a mantener el suelo aireada.
- Facilita las buenas relaciones entre nutrientes.
- Facilita la solubilización del Fósforo (P) y la asimilación del Potasio (K), reportado por Leiva (2010) y Vásquez y Yucan (2008).

1.10.7 Beneficios que producen las zeolitas para los cultivos.

- Utilizando la zeolita para cultivos se consiguen beneficios tales como: reducción de la cantidad de fertilizante, reducción del consumo de agua, mejora la salud de las plantas, incrementa la productividad y reducción del tiempo de producción.
- Mejora el desarrollo del sistema radicular de las especies vegetales intensifica la coloración verde en muchas especies (Vasqu ez y Yunga, 2008).

1.11 ZEOLITA

1.11.1 Definición de zeolita

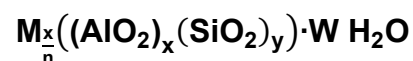
El término de la zeolita significa "piedra que hierve" y proviene del griego, *zeo*: que hierve, y *lithos*: piedra (Bosch y Schifter, 1988).

Las zeolitas son aluminosilicatos muy cristalinos que est n constituidas de canales y cavidades de dimensiones moleculares.

Una característica distintiva de las zeolitas deshidratadas, es decir que al deshidratarse desarrollan en el cristal ideal, una estructura porosa con diámetros de poro mínimos de 3 a 10 angstroms ( ), que forman cavidades ocupadas por iones grandes y moléculas de agua con gran libertad de movimiento, lo que permite el intercambio iónico y la

deshidratación reversible (Lobo, 2003;Costafreda, 2014) en su desempeño como adsorbentes microporosos, es la presencia tanto en sus canales como en sus cavidades de cationes (M⁺) compensatorios de la excesiva carga negativa de su esqueleto aluminosílico, en esta armazón estructural de la zeolita el Al³⁺ sustituye al Si⁴⁺ en el centro de los tetraedros estructurales (los tetraedros pueden agruparse y disponerse en la red cristalina de modo muy diverso para quedar saturados en cada caso por los cationes apropiados y mantenerse unidos unos a otros, los cationes de intercambio se sitúan en diversas posiciones, equilibrando las cargas eléctricas; ocasionalmente otros cationes pueden ocupar posiciones estructurales o de intercambio (Costafreda, 2014).

La fórmula estructural de las zeolitas esta basada en la de una celda unitaria cristalográfica y puede ser representada por (Hernández *et al.*, 2005):



Donde :

M: es el catión de valencia n

x: el número de átomos de aluminio

y: es el número de átomos de silicio

W: número de moléculas (variable).

1.12 ORIGEN DE LAS ZEOLITAS.

Las zeolitas naturales se formaron como resultado de las erupciones volcánicas mediante reacciones hidrotérmicas de rocas volcánicas de silicio y ricas en álcalis. Los antecedentes geológicos sugieren que las zeolitas se generan a partir de un magma basáltico rico en SiO₂, cuando sufre una violenta caída de temperatura (Smart, 1995). Actualmente existen alrededor de 50 tipos de zeolitas naturales en el mundo y más de 100 sintéticas con una amplia variedad de usos y aplicaciones, dependiendo de su estructura y sus diferentes composiciones mineralógicas, así como también a su relación Si/Al (Montalvo *et al.*, 2012).

1.13 TIPOS DE ZEOLITAS.

Existen dos grandes grupos de zeolitas: las naturales y las sintéticas.

a) Zeolitas naturales.

Existe un gran número de zeolitas naturales de las cuales solamente un grupo reducido de éstas sobresalen debido a su bajo costo, accesibilidad, cantidad, pureza, y

disponibilidad para aplicarlas en distintos procesos. En este grupo se incluye a las zeolitas del tipo mordenita (MOR), clinoptilolita (HEU), chabazita (SH), erionita (ERI), ferrierita (FER) y fillipsita (PHI) (Calderon, 2004).

Las zeolitas naturales, a diferencia de las zeolitas sintéticas, están constituidas principalmente de dos tipos de porosidad: i) primaria, atribuible a la presencia de microporos y ii) secundaria, debida a los mesoporos.

b) Zeolitas sintéticas.

Aunque las zeolitas se conocen desde 1756, cuando el geólogo sueco Barón Axel Cronstedt descubrió la estilbita, su aplicación industrial comienza en 1950 al ser utilizadas como intercambiadores iónicos, después de los años 50's se contempló un gran interés hacia este tipo de materiales. A partir de este momento las zeolitas sintéticas tomaron un auge insólito, cuando se ha logrado sintetizar una gran cantidad de zeolitas en condiciones comparativamente simples, hasta hoy en día se conocen más de 10,000 patentes relacionadas con la síntesis de estos materiales.

Alrededor del mundo las zeolitas sintéticas tienen un mercado muy bien consolidado. Las zeolitas sintéticas como producto, se consideran de alto valor agregado, tienen muchos usos en la industria, por ejemplo; una vez que son introducidas como catalizadores, adsorbentes o detergentes, estas multiplican aún más su valor.

Las zeolitas sintéticas son obtenidas a partir de soluciones acuosas saturadas, entre temperaturas comprendidas de 25° y 300°C, dependiendo de la composición de las soluciones, que es muy variada y las condiciones operatorias, además del tiempo de cristalización que puede ser de horas, días, semanas o meses dependiendo de la temperatura y de la naturaleza de los reactivos, es posible sintetizar zeolitas para modificar sus propiedades de acuerdo a los requerimientos necesarios.

Para la síntesis de zeolitas se puede deducir que es un área de trabajo muy compleja (Villavicencio et al., 2009).

1.13.1 Propiedades de las zeolitas naturales.

Las zeolitas, de manera general, están compuestas por aluminio, silicio, sodio, calcio, magnesio, potasio y agua. Las propiedades físicas distinguen la unicidad para una amplia variedad de aplicaciones:

Según Breck (1974), las zeolitas presentan las siguientes propiedades:

1. Alto grado de hidratación.
2. Baja densidad y un gran volumen cuando se deshidrata.
3. Elevada estabilidad.

4. Alta Capacidad de Intercambio catiónico.
5. Canales moleculares uniformes.
6. Gran capacidad adsorbente.
7. Catalíticas (Jiménez, 2004).

Estas propiedades están en función de la estructura y composición de cada especie de las zeolitas (Vásquez y Yuga, 2008).

Todas las zeolitas tienen una gran superficie interna que está disponible para la adsorción debido a la presencia de canales y cavidades, que se distribuyen uniformemente en todo el volumen del sólido (Vizcanio, 1998).

Una de las principales cualidades que debe poseer una zeolita para el uso es una buena estabilidad, fundamentalmente térmica y química, dado a que tal estabilidad depende de varios factores, destacándose del tipo de estructura y de la composición de la zeolita. La estabilidad térmica de las zeolitas, es decir, su resistencia al colapso de la estructura cristalina cuando es sometida a tratamiento térmico, (Céspedes *et al.*, 2011).

La Zeolita como material poroso, los materiales porosos son definidos como sólidos que contienen poros, cavidades o canales disponibles para la difusión de sustratos. Usualmente tienen superficies elevadas, por lo que encuentran aplicaciones como adsorbentes, catalizadores y soportes. La porosidad es medida como la fracción entre el volumen del poro y el volumen total. La IUPAC, los ha agrupado en tres clases: microporosos, mesoporosos y macroporosos. El grupo de los microporosos lo forman distintos materiales como sílices amorfas, geles inorgánicos, materiales cristalinos como las zeolitas (silicatos/aluminosilicatos), aluminofosfatos y otros relacionados (Smith, 1984). Las zeolitas son materiales especiales, que son capaces de acomodar grandes cantidades de agua y otras moléculas polares en sus espacios intracristalinos. Juegan un papel importante en catálisis heterogénea, aunque presentan ciertas limitantes, debido a sus estrechos canales de poros y su selectividad en el producto final durante la reacción en sus canales (3, 4,5), reportado por Núñez (2009).

1.13.2 Composición química de las zeolitas naturales.

Existen dos tipos de clasificaciones en las zeolitas más comunes o las más utilizadas, la primera se basa en su estructura cristalina y morfología, lo que está enlazado a la forma de los tetraedros básicos, la segunda se fundamenta en el tamaño de los huecos y canales (cavidades) de la estructura cristalina (Calderon, 2004). A su vez, las zeolitas

pueden dividirse, con base en sus estructuras y morfología en grupos principales como se muestra en la figura 2.

Zeolite Name	FTC	Formula	Si/Al Ratio	Main cation	CEC (meq/g)
Analcime	ANA	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	1.5 – 2.8	Na	3.6 – 5.3
Chabazite	CHA	$\text{Ca}_2(\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24}) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	1.4 – 4.0	Na, K, Ca	2.5 – 4.7
Clinoptilolite	HEU	$(\text{Na},\text{K})_5(\text{Si}_{30}\text{Al}_5\text{O}_{72}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$	4.0 – 5.7	Na, K, Ca	2.0 – 2.6
Heulandite	HEU	$\text{Ca}_2(\text{Si}_{28}\text{Al}_3\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	4.0 – 6.2	Na, K, Ca, Sr	2.2 – 2.5
Mordenite	MOR	$\text{Na}_2\text{KCa}_2(\text{Al}_8\text{Si}_{20}\text{O}_{96}) \cdot 28\text{H}_2\text{O}$	4.0 – 5.7	Na, K, Ca	2.0 – 2.4
Phillipsite	PHI	$\text{K}_2(\text{Ca}_{0.5}\text{Na})_4(\text{Al}_5\text{Si}_{10}\text{O}_{32}) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	1.1 – 3.3	Na, K, Ca	2.9 – 5.6
Laumontite	LAU	$\text{Ca}_2(\text{Al}_3\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	1.9 – 2.4	Na, K, Mg	3.8 – 4.3
Natrolite	NAT	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	1.2 – 1.7	Na	2.9 – 3.2
Erionite	ERI	$(\text{Na}_2\text{K}_2\text{Ca})_2(\text{Al}_4\text{Si}_{14}\text{O}_{36}) \cdot 15\text{H}_2\text{O}$	2.6 – 3.8	Na, K, Ca	2.7 – 3.4
Faujasite	FAU	$(\text{Na}_2,\text{Ca},\text{Mg})_{3.5}(\text{Al}_7\text{Si}_{17}\text{O}_{49}) \cdot 32(\text{H}_2\text{O})$	2.1 – 2.8	Na, K, Mg	3.0 – 3.4
Ferrierite	FER	$(\text{Na},\text{K})_2\text{Mg}(\text{Si},\text{Al})_{18}\text{O}_{36}(\text{OH}) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	4.9 – 5.7	Ca	2.1 – 2.3

Ilustración 2 Clasificación de algunas Zeolitas Naturales.

En la presente investigación se detallara información sobre la zeolita clinoptilolita debido a que se utilizó en el proyecto.

1.14 ZEOLITA CLINOPTILOLITA

La clinoptilolita es una zeolita de origen natural, perteneciente al grupo de la heulandita, está formada por aluminosilicatos cristalinos, donde su estructura consta de una red tridimensional de tetraedros $(\text{SiO}_4)^{-4}$ y $(\text{AlO}_4)^{-5}$, con los átomos de silicio y aluminio en el centro, y los oxígenos en los vértices. Estos tetraedros (unidad fundamental) se enlazan por sus átomos de oxígeno originando estructuras poliédricas que constituyen las estructuras secundarias. La presencia de AlO_4 origina un exceso local de carga la cual es neutralizada por los denominados cationes de compensación, tales como Na^{1+} , K^{1+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Mg^{2+} , etc., (Montes *et al.*, 2015).

El silicio y el aluminio son átomos cuyo radio covalente (111 pm y 118 pm, respectivamente) es muy parecido y ambos se prestan al fenómeno de la sustitución isomórfica, que se interpreta como el desplazamiento del silice por un elemento de un diámetro ligeramente superior como el Aluminio al momento de la formación del tetraedro, la sustitución isomórfica influye en la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) mediante la formación de cargas, esta es una característica general de las zeolitas

dado a que tienen la facilidad de intercambiar sus cationes de la red por otros (Casabó i, 2007).

Los cationes de compensación presentes en la estructura de la clinoptilolita pueden ser desplazados o sustituidos, de acuerdo a su radio iónico y concentración de carga.

A esto se le conoce como capacidad de intercambio catiónico (CIC), que está relacionada con la cantidad de Al presente en la red zeolítica como iones $(AlO_4)^-$ y depende directamente de su composición química. Una alta CIC corresponde a zeolitas con baja relación SiO_2/Al (Montes *et al.*, 2015)

1.15 ZEOLITA CLINOPTILOLITA EN MÉXICO.

La zeolitas en México fueron descubiertas en los años 70's, las primeras manifestaciones de zeolitas (clinoptilolita) fueron en el Estado de Oaxaca (Ostrooumov, 2011), las zeolitas de los tipos **epistilbita, clinoptilolita, mordenita y erionita** se encuentran en gran extensión en México (17 estados), en el estado de Puebla específicamente se encuentra con facilidad en yacimientos ubicados en San Juan Atzinco, San Gabriel Chilac, San Juan Raya, San Diego Chalma, Tehuacán, Chinantla y Chiautla de Tapia (Unión Puebla, 2015) la mayoría del tipo clinoptilolita.

La clinoptilolita (según la asociación internacional Zeolite, el código de tipo de marco de esta zeolita es HEU) es la zeolita más extendida en todo el mundo, así como en México. Los depósitos registrados de clinoptilolita se pueden encontrar en los depósitos a cielo abierto, se extraen con medios mecánicos simples y trabajo manual. (Hérrandez et al, 2016).

El 50 % del territorio nacional está formado por secuencias volcánicas del tipo plioceno, la cuales afloran extensivamente en estados del noroccidente (Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Durango) y occidente de México (Jalisco y Nayarit), en México central (Zacatecas, Guanajuato, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo) y sur de México (Guerrero, Oaxaca); por lo tanto, es de esperarse que en nuestro país existan grandes yacimientos de zeolitas naturales en su mayoría del tipo clinoptilolita (Ortiz, 2001).

1.16 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE FORESTAL *PINUS PSEUDOSTROBUS SP.*

- Taxonomía

Reino: Plantae

División: Pinophyta

Clase: Pinopsida

Orden: *Pinales*

Familia: *Pinaceae*

Género: *Pinus*

Especie: *P. pseudostrobus Lindl.*

Nombre(s) común(es) Mocohtaj (lengua tojolobal) - Altamirano, Chis; patingo – Michoacán; pino blanco - Michoacán y México; pino ortiguillo – Michoacán; pino real – Durango.

- Descripción

Forma biológica: Árbol con alturas de 30 a 40 m, ocasionalmente hasta 45 m, y en diámetro normal de 40 a 80 cm; fuste recto, libre de ramas de 30 a 50% de su altura total .

- Distribución en México

Origen Nativo de México, específicamente de la Sierra Madre del Sur .

Asociación vegetal Bosque de Quercus y bosque de coníferas.

Coordenadas geográficas De los 16° 20' a 19° 58' de latitud norte y los 92° 20' a 100° 35' de longitud oeste.

Entidades México, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Puebla, Veracruz y Tlaxcala (SAGARPA, 2013).

1.17 CALIDAD DE LA PLANTA EN LOS VIVEROS FORESTALES.

En los viveros forestales, los insumos y los tratamientos aplicados a las plantas son versátiles; dependen de los recursos económicos, tecnológicos y humanos, a su vez, están relacionados con la ubicación geográfica y el clima. Sin embargo, la planta que ahí se maneja debe ajustarse a los estándares que favorezcan su establecimiento y desarrollo en el campo. La calidad de la planta está determinada tanto por factores genéticos, fisiológicos y morfológicos, como por las labores culturales que reciben (Orozco *et al.*, 2010).

Para el diagnóstico de la calidad de la planta en un vivero forestal se consideran los parámetros: altura de la parte aérea, diámetro del cuello, biomasa en húmedo de la parte aérea y del sistema radical, y biomasa en seco de la parte aérea y del sistema radical para determinar índice de esbeltez, índice de lignificación y relación tallo/raíz (Rodríguez *et al.*, 2003).

En este caso se evaluaron los siguientes parámetros (INIFAP, 2004):

Altura

Es la característica morfológica más fácil de determinar en un brinzal (término utilizado en las ciencias forestales para referirse a cualquier árbol de muy poca edad), como valor único no indica calidad del brinzal, sin en cambio combinado con el diámetro adquiere mayor importancia (Anstey, 1971).

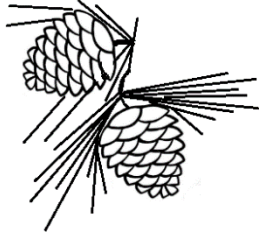
Diámetro

El diámetro se encuentra comúnmente relacionado con la altura, el tamaño del sistema radical, supervivencia, crecimiento, biomasa total, cantidad de sustancias de reserva y área de conducción (Mullin y Swaton, 1972).

Peso seco de la parte aérea y raíz.

El peso seco de la parte aérea representa la cantidad de la materia seca que se formó durante el crecimiento de la planta y puede correlacionarse con la sobrevivencia en campo, pues es un indicador de la eficiencia fisiológica durante el desarrollo de la planta, es decir, a mayor peso seco de la planta tiene una mejor eficiencia fisiológica.

El peso seco de la raíz muestra el comportamiento fisiológico, en donde se puede comparar la facilidad o dificultad que tuvo la planta para absorber elementos nutritivos, también se relaciona a la sobrevivencia que tendrá en el campo (Barnett, 1990).



CAPÍTULO 2

Metodología



2. METODOLOGÍA

2.1 SUSTRATOS UTILIZADOS.

- Zeolita clinoptilolita cálcica que responde a la siguiente fórmula química:
$$[(Ca_{0.5}, Na, K, Sr_{0.5}, Ba_{0.5}, Mg_{0.5})_6(H_2O)_{20}][Al_6 Si_{30} O_{72}]$$
- Tierra de monte
- Aserrín

La zeolita clinoptilolita cálcica proviene del yacimiento de Tehuacán, Puebla.

El experimento se llevó a cabo con zeolita activada y zeolita sin activar: en donde la Zeolita clinoptilolita cálcica activada térmicamente, fue calentada en estufa por 2 horas a 250°C.

A continuación se presentan las diferentes concentraciones y la composición de los sustratos, de acuerdo a la Norma mexicana NMX-AA-170-SCFI-2014 que establece la certificación de viveros forestales, en base al apéndice normativo G, se utilizó como referencia para la mezcla de sustratos más comunes utilizados en los viveros forestales de México, para la producción de plantas en sistema tradicional, el cual incluye el uso de bolsas de polietileno y tierra como sustrato, como es en este caso. La mezcla de estos sustratos va desde los rangos del 10% hasta el 70%, es por ello que se proponen estos porcentajes como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Composición de los sustratos.

Testigo (0% zeolita)	10% Zeolita	15% Zeolita	30% Zeolita	40% Zeolita
70% Tierra 30% Aserrín	45% Tierra 45% Aserrín	42.5% Tierra 42.5% Aserrín	35% Tierra 35% Aserrín	30% Tierra 30% Aserrín

A la Tierra de monte se le determinaron algunas características edafológicas en base a la NOM-021-RENAT-2000 para la determinación de la fertilidad y salinidad del suelo, el cual se muestra en la siguiente tabla 2.

Tabla 2. Métodos empleados para el análisis de suelo.

Determinación	Método
Contenido de Humedad	AS-05
Textura	AS-09
Materia Orgánica y Carbono orgánico	AS-07
pH en agua	AS-02
Densidad real	AS-03
Densidad aparente	AS-04

Los resultados obtenidos de estas determinaciones se muestran en el apartado 3.3 del Capítulo 3.

2.2 TRASPLANTE Y RIEGO.

Se utilizaron plántulas de pino (*pinus pseudostrobus sp*) de 10 meses de edad.

Trasplante.

Las características de las plántulas trasplantadas eran, altura aproximada de 15 cm, con cepellón y de apariencia sana, como se muestra en la imagen 1.

Se realizó el trasplante el 07 de Septiembre de 2017, en bolsas para vivero forestal color negro con dimensiones de 8 x 7 x 24 cm. Las bolsas se llenaron con los sustratos zeolita, aserrín y tierra de monte con los porcentajes mostrados en la Tabla 1 y como se muestra en la imagen 2, con 10 repeticiones de cada composición (0%, 10%, 15%, 30% y 40% de zeolita).

Las plantas estuvieron en un invernadero por un periodo de 3 meses (Desde Octubre hasta Diciembre 2017).

Riego.

El riego se realizó cada tercer día como se observa en el calendario de actividades.

A continuación se describirán las actividades llevadas a cabo en el calendario siguiente:

Cuadro 1. Calendario de Actividades.

ACTIVIDAD	AÑO 2017					AÑO 2018				
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
Adquisición de las plántulas de pino.	■									
Trasplante.	■	■								
Mantenimiento (riego cada tercer día y deshierbe).			■	■	■					
Medición de las variables evaluadas.						■	■			
Análisis del suelo (tierra de monte).								■	■	■

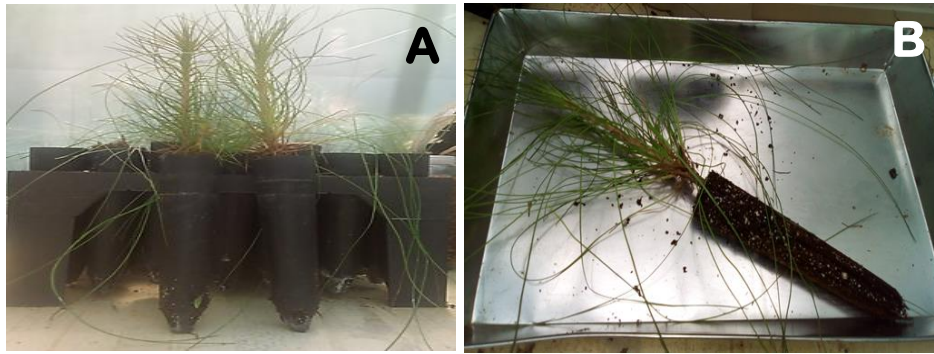


Imagen 1. A) y B) Aspecto de las plántulas utilizadas.



Imagen 2. A) y B) Llenado de las bolsas con sustrato y C) y D) Trasplante del pino.

Concluido el tiempo de crecimiento se evaluaron los siguientes criterios morfológicos: altura, diámetro, longitud de raíz y peso seco total, para examinar la calidad de la planta, en este caso el pino.

2.3 MEDICIÓN DE LAS VARIABLES: ALTURA, DIÁMETRO, LONGITUD DE RAÍZ Y PESO SECO.

Se procedió a medir las variables de estudio, altura (medida desde la primera hoja hasta el fuste), diámetro del tallo, longitud de raíz (la raíz principal) y peso seco (el pino completo seco), de la especie *pinus pseudostrobus* sp.

Las variables medidas fueron determinadas en: Altura en centímetros (cm), diámetro en milímetros (mm), longitud de raíz en centímetros (cm) y peso seco total en gramos (g).

Se utilizó un vernier y un flexómetro para la medición de la altura, el diámetro y para la medición de la longitud de raíz y del peso se retiró todo el sustrato del cepellón y se prosiguió a secar en estufa todo el pino, después se utilizó una balanza granataria para registrar el peso del pino.



Imagen 1. A) Medición del diámetro, B), C) y D) medición de la longitud de raíz y E) pesaje del peso seco total del pino.

2.4 Características del área experimental.

Las medidas con las que se establecieron el área experimental son las que se describen a continuación:

Cabe mencionar que el experimento se realizó con zeolita activada y sin activar térmicamente.

Tratamientos: 5

Repeticiones: 10

Unidades experimentales: 50.

Área de la unidad experimental: 0.72 m² (1.20 m x 0.60 m)

Camas: 1.20 m x 0.60 m

Número de camas por unidad experimental: 2

Distancia entre camas: 0,40 m

Número total de plantas en el experimento: 90

A continuación se detallara la ubicación de los tratamientos como se muestra en la imagen 4.

PT1	PT2	PC ₁ Z1	PC ₁ Z2	PC ₂ Z1	PC ₂ Z2	PC ₃ Z1	PC ₃ Z2	PC ₄ Z1	PC ₄ Z2
PT3	PT4	PC ₁ Z3	PC ₁ Z4	PC ₂ Z3	PC ₂ Z4	PC ₃ Z3	PC ₃ Z4	PC ₄ Z3	PC ₄ Z4
PT5	PT6	PC ₁ Z5	PC ₁ Z6	PC ₂ Z5	PC ₂ Z6	PC ₃ Z5	PC ₃ Z6	PC ₄ Z5	PC ₄ Z6
PT7	PT8	PC ₁ Z7	PC ₁ Z8	PC ₂ Z7	PC ₂ Z8	PC ₃ Z7	PC ₃ Z8	PC ₄ Z7	PC ₄ Z8
PT9	PT10	PC ₁ Z9	PC ₁ Z10	PC ₂ Z9	PC ₂ Z10	PC ₃ Z9	PC ₃ Z10	PC ₄ Z9	PC ₄ Z10

SC ₁ Z1	SC ₁ Z2	SC ₂ Z1	SC ₂ Z2	SC ₃ Z1	SC ₃ Z2	SC ₄ Z1	SC ₄ Z2
SC ₁ Z3	SC ₁ Z4	SC ₂ Z3	SC ₂ Z4	SC ₃ Z3	SC ₃ Z4	SC ₄ Z3	SC ₄ Z4
SC ₁ Z5	SC ₁ Z6	SC ₂ Z5	SC ₂ Z6	SC ₃ Z5	SC ₃ Z6	SC ₄ Z5	SC ₄ Z6
SC ₁ Z7	SC ₁ Z8	SC ₂ Z7	SC ₂ Z8	SC ₃ Z7	SC ₃ Z8	SC ₄ Z7	SC ₄ Z8
SC ₁ Z9	SC ₁ Z10	SC ₂ Z9	SC ₂ Z10	SC ₃ Z9	SC ₃ Z10	SC ₄ Z9	SC ₄ Z10

Imagen 2. Ubicación del experimento.

Simbología: PT 1-10 Pino testigo, Zeolita Activada PC₁Z1-10 sustrato 10% de zeolita, PC₂Z1-10 sustrato 15% de zeolita, PC₃Z1-10 sustrato 30% de zeolita, PC₄Z1-10 sustrato 40% de zeolita, Zeolita sin Activar SC₁Z1-10 sustrato 10% de zeolita, SC₂Z1-10 sustrato 15% de zeolita, SC₃Z1-10 sustrato 30% de zeolita, SC₄Z1-10 sustrato 40% de zeolita.

A continuación se describirán los métodos utilizados en los análisis del suelo (tierra de monte) utilizados en el Manual del Laboratorio de Suelo basados en la Norma Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.

2.5 DETERMINACIÓN DE PH DEL SUELO MEDIDO EN AGUA.

Material y equipo

- 1 Agitador magnético
- 1 Parrilla de agitación
- 1 Vaso de precipitados de 50 ml.
- 1 Probeta de 20 ml.
- 1 Piceta
- 1 Espátula
- 1 Balanza con 0.1 g de sensibilidad
- 1 Medidor de pH (soluciones para calibrar)
- Muestra de suelo

Procedimiento

- Pesar 10 gramos de suelo en el vaso de precipitados de 50 ml.
- Adicionar 20 ml de agua destilada.
- Mezclar el suelo y el agua a intervalos de 5 minutos durante 30 minutos.
- Dejar reposar la mezcla por 15 minutos.
- Calibrar el potenciómetro con sustancias Buffer 4, 7 y 10.
- Agitar nuevamente la solución y tomar lectura de pH.

2.6 DETERMINACIÓN DE DENSIDAD APARENTE DEL SUELO.

Material y equipo

- 1 probeta de 10 ml
- 1 espátula
- 1 balanza analítica
- Suelo seco y tamizado

Procedimiento

- Pesar probeta limpia y seca (pp).
- Agregar suelo a la probeta hasta la marca de aforo.
- Golpear probeta con movimiento de arriba hacia abajo cuidadosamente
- (10 veces).
- Rellenar probeta hasta aforo.
- Pesar probeta con suelo (pp+ps).
- Anotar los resultados y realizar los cálculos.

Cálculos

Densidad aparente **D_a** = $ps / v_s = [gr/ml]$

- Peso de las partículas del suelo (ps)
- $ps=(pp+ps)-(pp)$
- v_s =volumen de las partículas del suelo.

2.7 DETERMINACIÓN DE DENSIDAD REAL DEL SUELO.

Material y equipo

- Picnómetro o matraz aforado de 25 ml.
- 1 Embudo de plástico o de vidrio muy pequeño.
- 1 Espátula
- 1 Piceta
- 1 Termómetro
- Desecador de vacío
- Balanza analítica
- Agua destilada hervida y fría
- Suelo seco tamizado

Procedimiento

- Pre- tratamiento: Se destruye la Materia Orgánica.
- Pesar un matraz o picnómetro limpio y seco. Colocar 5g de suelo en el picnómetro usando un embudo de plástico. Anotar el peso del matraz o picnómetro con suelo, evitando humedad y/o grasa.

- Adicionar agua hervida y fría hasta la mitad del volumen del matraz.
- Girar este entre los dedos con mucha suavidad.
- Colocar el matraz o picnómetro con suelo en el desecador, y dejar reposar durante 30 minutos aproximadamente.
- Sacar el matraz y llenar con agua destilada hervida y fría hasta el aforo.
- Pesar en la balanza analítica y anotar el resultado.
- Tomar la temperatura de la suspensión.
- Vaciar el matraz o picnómetro, y enjuagarlo perfectamente. Llenarlo hasta el aforo con agua destilada hervida y fría. Pesar el matraz con agua y tomar la temperatura, anotar los resultados.

2.8 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO POR GRAVIMETRÍA.

Material y Equipo

- Botes de aluminio para humedad.
- Estufa con circulación forzada de aire y temperatura controlada.
- Balanza con aproximación de 0.01 g.
- Pinzas
- Desecador

Procedimiento

- Lavar, limpiar e identificar los botes de aluminio a utilizar.
- Pesar los botes con el suelo húmedo
- Introducir los botes en la estufa durante 8 horas como mínimo a 105°C, posteriormente registrar el peso y volver a introducir los botes a la estufa hasta que se logre un peso constante en las muestra (s), sacando de la estufa el bote y dejándolo enfriar en el desecador.
- Obtener la muestra, se recomienda que sean de 30 a 50 gramos.
- Después de 24 horas sacar el bote de la estufa y colocarlo en el desecador de vacío hasta que se enfríe, posteriormente pesar el bote con la muestra seca.

- Volver a introducir el bote a la estufa y una hora después sacarlo, enfriar en un desecador y pesar; repetir este procedimiento hasta obtener un peso constante.

2.9 DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y CARBONO ORGÁNICO.

Material y equipo

- Muestra de suelo seco.
- 1 pipeta 10 ml para $K_2Cr_2O_7$.
- 1 bureta para $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (25 ml).
- 1 agitador magnético 1 probeta de vidrio (10 ml).
- 1 soporte universal
- 1 pinzas para soporte
- 1 piceta (agua destilada)
- 1 espátula
- 1 parrilla de agitación
- 1 perilla
- 1 campana de extracción
- 2 matraces Erlenmeyer de 250 ml
- 1 tamiz de 0.5 mm de diámetro
- 1 vaso de precipitados de 50 ml
- 1 balanza analítica

Reactivos

- Dicromato de potasio 0.166 M o 1N
- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4).
- Ácido fosfórico concentrado (H_3PO_4).
- Indicador de difenilamina.
- Sulfato ferroso 1.0 M.
- $K_2Cr_2O_7$ 1 N.

Procedimiento

- Preparar el blanco

- Valorar el Sulfato Ferroso
- Pesar 0.1 g de suelo seco previamente tamizado y colocarlo en un matraz Erlenmeyer de 250 ml
- Adicionar 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1 N procurando que entre en contacto con el suelo
- En la campana de extracción agregar 10 ml de H_2SO_4
- Agitar y calentar a 60 °C durante 10 min
- Dejar reposar por 30 min. sobre lamina o madera
- Añadir 5 ml de H_3PO_4 concentrado en la campana de extracción
- Adicionar 3 gotas de difenilamina
- Titular con Sulfato ferroso hasta que vire a verde claro.

2.10 DETERMINACIÓN DE TEXTURA DEL SUELO.

Material

- 1 Vaso de precipitado 500 ml
- 1 Probeta de 1L.
- 1 Espátula
- 1 Agitador de mano
- 1 balanza granataría
- 1 Termómetro de -10 a 110°C
- 1 Vaso de precipitado de 250 ml
- 1 Agua destilada 1.5 L
- 1 Piceta
- 1 Hidrómetro de Bouyoucos con escala de 0- 60
- 1 Probeta de 10 ml
- 1 Cronómetro
- 1 Agitador magnético
- 1 Estufa
- 1 Parrilla de agitación

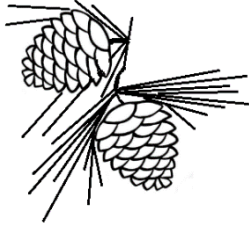
Reactivos

- H_2O_2 al 30%.

- Hexametáfosfato de sodio ($(\text{NaPO}_3)_6$) al 5% (m/v) (calgón). Disolver 50 g de $(\text{Na}_3\text{PO}_3)_6$ en agua destilada y aforar a un litro.
- Alcohol etílico (opcional).

Procedimiento

- Pesar 60 g de suelo en un vaso de precipitados de 500 ml.
- Agregar 40 ml de H_2O_2
- Evaporar hasta sequedad
- Agregar 40 ml de H_2O_2
- Evaporar hasta sequedad
- Repetir hasta que no haya efervescencia
- Pesar 50 g de textura arcillosa en un vaso de precipitados de 250 ml
- Adicionar agua hasta cubrir una lámina de 2 cm
- Agregar 100 ml de hexametáfosfato de sodio
- Agitar por 30 min
- Pasar el contenido a una probeta de 1000 ml
- Agregar H_2O destilada hasta 1000 ml con el hidrómetro dentro
- Suspender el suelo con agitador de mano operando durante un minuto
- Tomar lectura de temperatura e hidrómetro a los 40 segundos
- Retirar el hidrómetro
- Tomar lectura de temperatura e hidrómetro a las 2 horas.



CAPÍTULO 3

Resultados y Discusión



3. RESULTADOS

En el presente capítulo se detallaran los resultados obtenidos, así como también se hará la discusión correspondiente. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA), con 9 tratamientos y 10 repeticiones para valorar efecto de la zeolita clinoptilolita cálcica.

3.1 PROMEDIOS.

Se determinaron los promedios de las siguientes variables de estudio: Altura (desde la primera hoja hasta el fuste) medida en centímetros, Diámetro del tallo medido en milímetros, Longitud de raíz medida en centímetros y Peso seco total medido en gramos, con zeolita activada y sin activar.

La tabla 3 muestra todos los sustratos con diferentes porcentajes de zeolita fueron superiores al testigo, en donde, el mejor fue el porcentaje del 40% con zeolita.

Tabla 3. Variación de la altura (cm) de la especie *Pinus pseudostrobus* sp. (10 pinos) con diferentes porcentajes de zeolita activada.

Variable: Altura de los pinos con zeolita activada					
Pinos	Testigo	10% Z	15% Z	30% Z	40% Z
1	6	30.2	10	13.1	29.8
2	8	22.8	27.5	19.1	24.3
3	10.8	25.6	32.5	22	28.4
4	19.8	24.2	28.2	24.5	30
5	10.6	26.3	35.5	23.1	25.6
6	16.6	28.6	16.7	17.2	30.5
7	21.2	33	6	31.4	28.5
8	19.1	26.1	36.3	27.3	31
9	20.5	29.2	16.5	19.2	34
10	10.8	26.9	37.5	28.2	28.8
Promedio	14.34	27.29	24.67	22.51	29.09

En cada porcentaje de zeolita (Z) activada térmicamente (calentada en estufa a 250° C por 2 horas) se realizó con 10 repeticiones (10 pinos de la especie *pinus pseudostrobus* sp.), en donde los sustratos se componen del testigo (0% de zeolita, 70% de aserrín y 30% de tierra de monte), el porcentaje del 10% de zeolita contiene (45% de aserrín y 45% de tierra de monte), el 15% de zeolita se compone por (42.5 % de aserrín y 42.5 5 de tierra de monte), el porcentaje del 30% de zeolita compuesto por (35% de aserrín y 35% de tierra de monte) y el 40% de zeolita contiene (30% de aserrín y 30% de tierra de monte).

La tabla 4 muestra que el promedio mayor se encuentra en el porcentaje del 10% de zeolita en comparación de las demás concentraciones.

Tabla 4. Variación del diámetro (mm) de los 10 pinos con diferentes porcentajes de zeolita activada.

Variable: Diámetro de los pinos con zeolita activada					
Pinos	Testigo	10% Z	15% Z	30% Z	40% Z
1	0.2	0.6	0.3	0.4	0.7
2	0.2	0.6	0.55	0.4	0.3
3	0.2	0.5	0.5	0.5	0.6
4	0.5	0.5	0.4	0.35	0.4
5	0.2	0.8	0.5	0.5	0.4
6	0.3	0.6	0.6	0.2	0.5
7	0.3	1	0.6	0.4	0.6
8	0.5	0.9	0.5	0.6	0.8
9	0.6	0.7	0.6	0.5	0.5
10	0.8	0.5	0.4	0.7	0.6
Promedio	0.38	0.67	0.495	0.455	0.54

En la tabla 5 presenta la longitud de la raíz en donde se encuentra el mayor promedio de esta variable en la concentración del 40% de zeolita que está demasiado arriba del testigo.

Tabla 5. Variación de la longitud de raíz (cm) de los 10 pinos con diferentes porcentajes de zeolita activada.

Variable: Longitud de la raíz los pinos con zeolita activada					
Pinos	Testigo	10% Z	15% Z	30% Z	40% Z
1	14.2	13.8	17.7	10.4	12
2	10.6	13.1	15.1	15.1	10.6
3	7.5	13.5	12.4	12.7	15
4	14.5	11.1	14.6	13.6	13
5	15.2	13.9	13.8	12.8	14.6
6	12.5	10.7	11.2	11.2	13.5
7	7.2	13.5	4.5	15.3	13.3
8	9.4	13.7	12.8	12.8	12.9
9	12	11.7	11.4	11.4	14.1
10	12.6	14.1	12.1	13.2	13.7
Promedio	11.57	12.91	12.56	12.85	13.27

La tabla 6 presenta el peso seco total de los diez pinos y con sus diferentes concentraciones de zeolita, en el cual el peso considerable se encuentra en el porcentaje del 10% de zeolita.

Tabla 6. Variación del peso seco total (g) de los 10 pinos con diferentes porcentajes de zeolita activada.

Variable: Peso seco de los pinos con zeolita activada					
Pinos	Testigo	10% Z	15% Z	30% Z	40% Z
1	1.8	14.4	5.4	4.1	9.5
2	1.3	9	11.2	11.5	3.8
3	1.7	4.8	12.6	16	5.4
4	6.7	8.4	12.1	8.4	6.9
5	1.2	16.1	14.2	10.1	5.7
6	3.3	16.2	12.1	4.7	9.9
7	4.5	10.1	3.2	11.5	9.1
8	6.4	11.6	12.6	6.9	11.9
9	8.9	10.3	4.3	5.2	6.1
10	17.7	15.8	5.1	12.2	5.9
Promedio	5.35	11.67	9.28	9.06	7.42

A continuación se muestran la información de los resultados obtenidos con la zeolita sin activar. La tabla 7 muestra una altura promedio consideradamente mayor en la concentración del 40% de zeolita.

Tabla 7. Variación de la altura (cm) de los 10 pinos con diferentes porcentajes de zeolita sin activar.

Variable: altura de los pinos con zeolita sin activar					
Pinos	Testigo	10% Z	15% Z	30% Z	40% Z
1	6	28.1	15.2	28.6	34
2	8	25.1	29.6	21.5	32.8
3	10.8	29.7	31.8	29.4	32.3
4	19.8	36	26.3	29.4	43.3
5	10.6	22.3	21.9	28	32.1
6	16.6	33.6	27.6	21.1	28.8
7	21.2	26.4	31.3	31	28
8	19.1	29.7	36.4	28.2	24.9
9	20.5	27.3	22.7	21	38.9
10	10.8	20.1	23.8	31.6	31.7
Promedio	14.34	27.83	26.66	26.98	32.68

En cada porcentaje de zeolita (Z) se realizó con 10 repeticiones (pinos de la especie *pinus pseudostrobus* sp.), se experimentó con zeolita sin activar térmicamente, en donde los sustratos se componen del testigo (0% de zeolita, 70% de aserrín y 30% de tierra de monte), el porcentaje del 10% de zeolita contiene (45% de aserrín y 45% de tierra de monte), el 15% de zeolita se compone por (42.5 % de aserrín y 42.5 5 de tierra de monte), el porcentaje del 30% de zeolita compuesto por (35% de aserrín y 35% de tierra de monte) y el 40% de zeolita contiene (30% de aserrín y 30% de tierra de monte).

En la tabla 8 se presenta el diámetro en donde el mayor promedio del diámetro se encuentra en el porcentaje del 40% de zeolita en comparación de la zeolita activada en donde el mayor diámetro se encontró en el porcentaje del 10% de zeolita.

Tabla 8. Variación del diámetro (mm) de los 10 pinos con diferentes porcentajes de zeolita sin activar.

Variable: diámetro de los pinos con zeolita sin activar					
Pinos	Testigo	10% Z	15% Z	30% Z	40% Z
1	0.2	0.7	0.5	0.8	0.6
2	0.2	0.4	0.5	0.7	0.7
3	0.2	0.7	0.4	0.7	0.7
4	0.5	0.5	0.4	0.6	0.6
5	0.2	0.6	0.4	0.5	0.7
6	0.3	0.6	0.4	0.5	0.7
7	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6
8	0.5	0.4	0.6	0.6	0.5
9	0.6	0.7	0.6	0.5	0.7
10	0.8	0.7	0.6	0.7	0.7
Promedio	0.38	0.58	0.51	0.63	0.65

En la tabla 9 se reportan los promedios de la longitud de raíz en donde se encuentra el mayor promedio en el porcentaje del 10% de zeolita sin activar en comparación de la zeolita activada en donde se encontró el mayor promedio en el porcentaje del 40% de zeolita, sin embargo, se puede observar que en el porcentaje del 30% y el 40% no hubo diferencia alguna.

Tabla 9. Variación longitud de raíz (cm) de los 10 pinos con diferentes porcentajes de zeolita sin activar.

Variable: longitud de raíz de los pinos con zeolita sin activar					
Pinos	Testigo	10% Z	15% Z	30% Z	40% Z
1	14.2	16.8	14.8	13.7	12.5
2	10.6	15.2	12.4	12.1	13.3
3	7.5	12.4	12.1	13.9	13.1
4	14.5	14.9	13	12	13.5
5	15.2	14.1	12.3	10.2	12.1
6	12.5	13.1	15.1	14	14.4
7	7.2	13.6	11.3	15.8	14.9
8	9.4	11.8	14.3	14.2	12.9
9	12	13.7	14.9	13.2	12.3
10	12.6	14.7	14.2	14.4	14.5
Promedio	11.57	14.03	13.44	13.35	13.35

En la tabla 10 muestra el peso seco total, en el cual se obtuvo el promedio más considerable en el porcentaje del 40% de zeolita sin activar a diferencia del resulta en la zeolita activa en donde se obtuvo el mayor promedio en el porcentaje del 10% de zeolita.

Tabla 10. Variación del peso seco total (g) de los 10 pinos con diferentes porcentajes de zeolita sin activar.

Variable: peso seco de los pinos con zeolita sin activar					
Pinos	Testigo	10% Z	15% Z	30% Z	40% Z
1	1.8	12.9	7.3	14.9	11.3
2	1.3	11.5	10.8	10.9	16
3	1.7	7.2	3.3	8.7	15
4	6.7	15.8	6.2	12.7	7.8
5	1.2	9.5	7.8	9.5	9.3
6	3.3	10.8	6.5	6.6	6.9
7	4.5	5.6	12.4	10.5	8.1
8	6.4	8.6	11.1	7.7	4.6
9	8.9	13.8	8.1	8.5	16.8
10	17.7	15.1	13.2	13.7	17.7
Promedio	5.35	11.08	8.67	10.37	11.35

3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Como parte de las pruebas de calidad de datos y con base en el diseño completamente al azar (DCA), que es el más simple de todos los diseños que se utilizan para comparar dos o más tratamientos se utilizaron las siguientes pruebas estadísticas: Diagramas de caja y bigotes o caja simultáneos, Método LSD (diferencia mínima significativa), y para la validez de los resultados obtenidos en el análisis de varianza queda sujetado a que los supuestos del modelo se cumplan, estos supuestos son: *normalidad*, *varianza constante (igual varianza de los tratamientos)* los cuales nos ayudan a proporcionar veracidad entre las diferencias de las variables que se evaluaron (altura, diámetro, longitud de raíz, peso seco total).

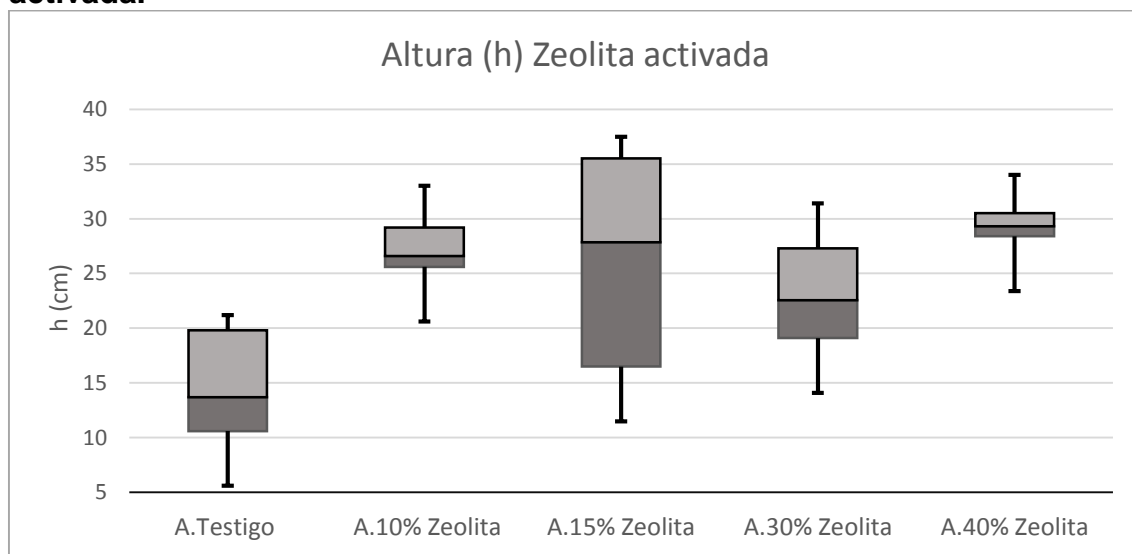
3.2.1 Diagramas de cajas y bigotes.

Los diagramas de caja y bigote son gráficos basados en los cuartiles de un conjunto de datos y representa una manera descriptiva de comprar tratamientos.

Es una herramienta de suma utilidad para describir y comprar el comportamiento de datos. Este diagrama se basa en cuartiles y parte el rango de variación de los datos en cuatro grupos, la parte rectangular, que se extiende desde el cuartil inferior (donde se ubican el 25% de los datos menores), al cuartil superior (donde se ubican el 25% de los datos mayores) y la mediana, las líneas centrales dentro de cada cuadro muestran la ubicación de las medianas (que contiene el 50% de los datos que están el centro), y los bigotes que se extienden desde los valores mínimos y máximos. Las gráficas de cajas y bigotes, muestran las diferencias significativas entre los tratamientos.

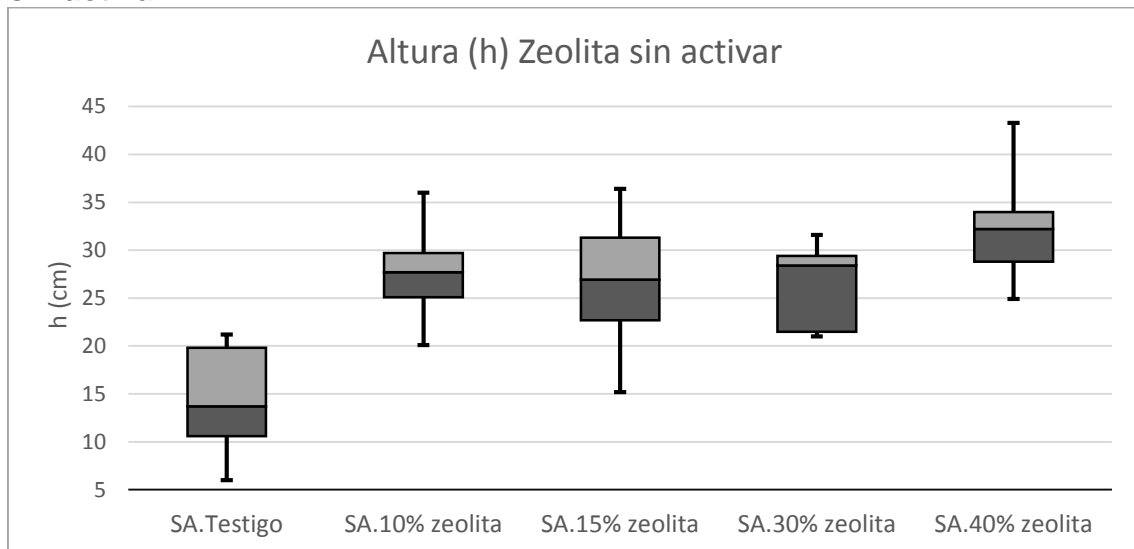
En la figura 1, se puede observar que la mayor altura se encuentra en la concentración del 15% de zeolita con una altura de 37.5 cm, seguido de la concentración del 40% de zeolita con altura que alcanza 34 cm, sin embargo, en el testigo (0% de zeolita) la mayor altura fue de 21.2, que se encuentra por debajo de las demás concentraciones con zeolita activada.

Figura 1. Diagrama de caja y bigotes de la altura de los pinos con zeolita activada.



La figura 2, se observa a la altura máxima en la concentración del 40% de zeolita sin activar con 43.3 cm respectivamente, seguida de la concentración de 15% de zeolita sin activar con una altura de 36.4 cm, en contraste el testigo es quien tiene la altura más baja de 21.2 cm en relación a las demás concentraciones con zeolita sin activar.

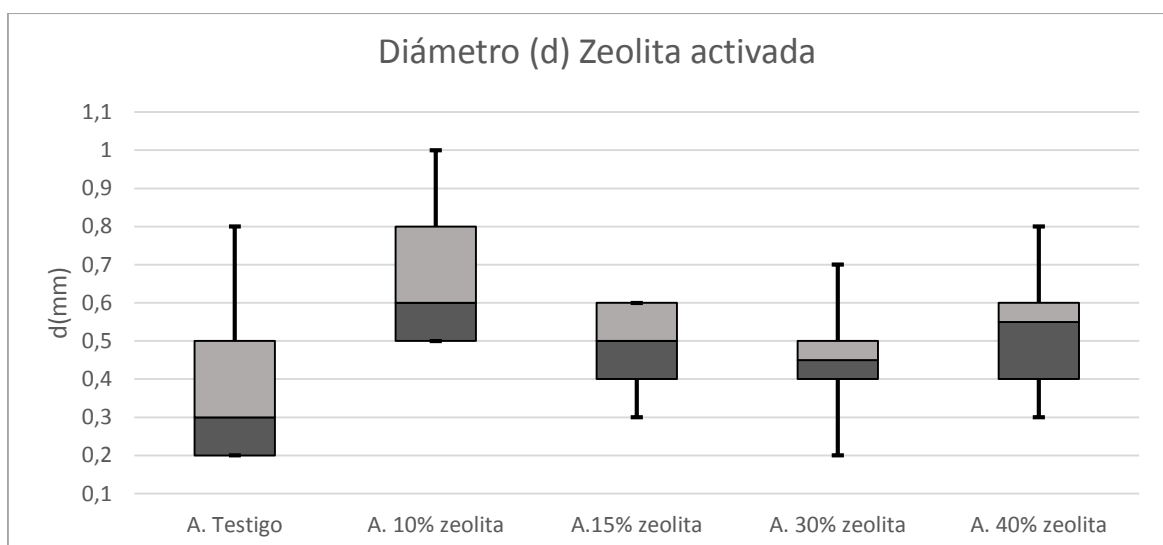
Figura 2. Diagrama de caja y bigotes de la altura de los pinos con zeolita sin activar.



Así mismo se considera que la zeolita tiene un efecto positivo en la altura, con zeolita activada el mayor rendimiento fue con el 15% de concentración y con zeolita sin activar fue en la concentración del 40%.

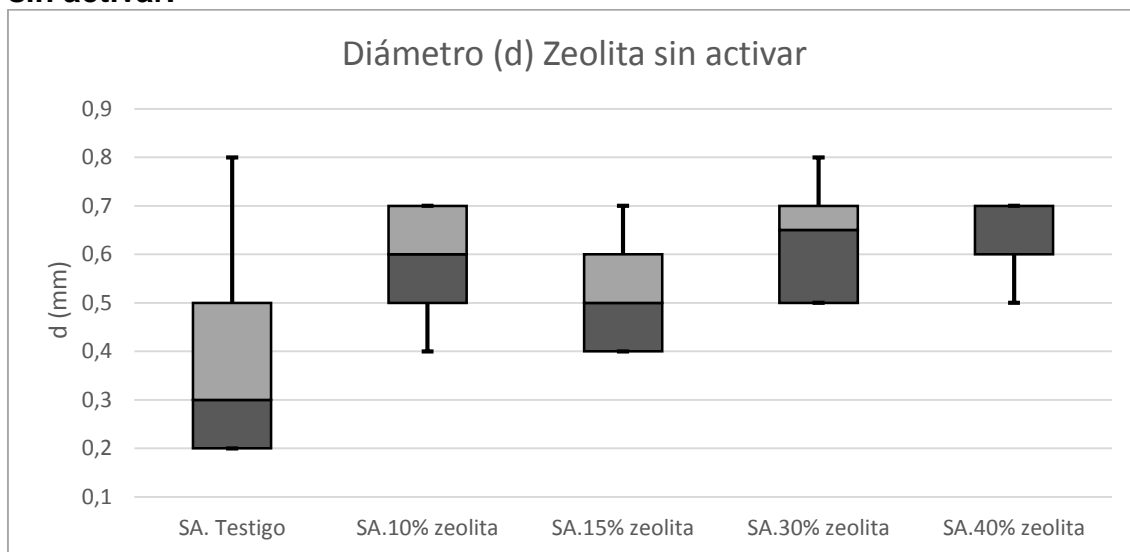
En la figura 3 se presenta que el diámetro máximo reportado pertenece a la concentración del 10% de zeolita activada con 1 cm de diámetro, así como también se observa un diámetro de 0.8 mm entre el testigo y el 40% de zeolita activada, por el contrario la concentración de 15% de zeolita activada el diámetro máximo alcanzado fue de 0.6 mm.

Figura 3. Diagrama de caja y bigotes del diámetro de los pinos con zeolita activada.



En la figura 4 se observa que el diámetro superior se encuentra entre las concentraciones del testigo y el de 30% de zeolita respectivamente con un valor de 0.8 mm, por otra parte de manera igual se presenta que en las concentraciones del 10%, 15% y 40% de zeolita sin activar se obtuvo como diámetro superior un valor de 0.7 mm.

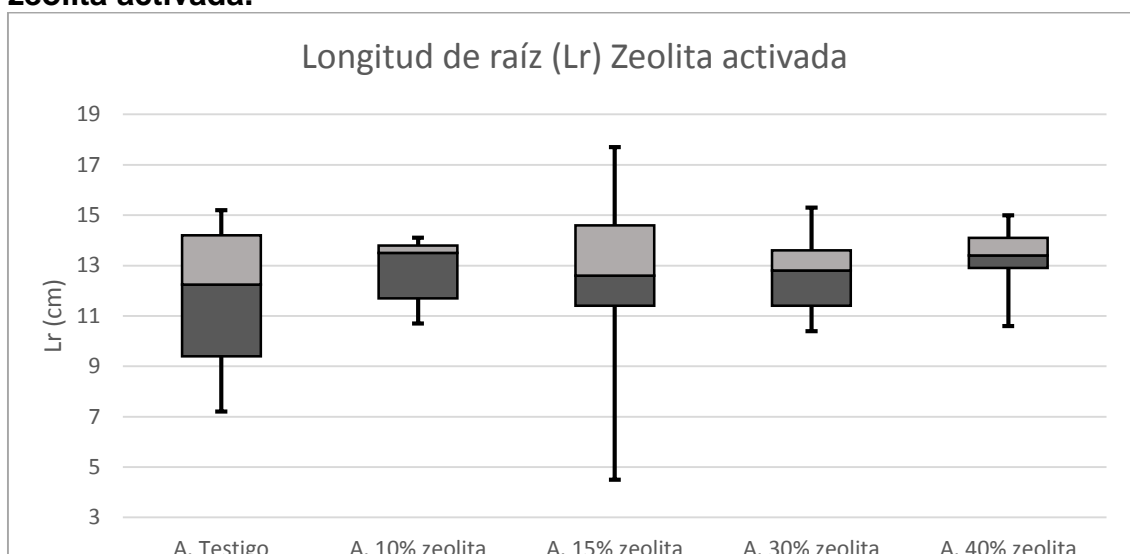
Figura 4. Diagrama de caja y bigotes del diámetro de los pinos con zeolita sin activar.



En las figuras anteriores (3 y 4), se observa que la zeolita tiene un efecto positivo en cuanto al diámetro, se encontró que en la concentración del 10% de zeolita activada se encuentra por encima del testigo, sin embargo, con zeolita sin activar se presentaron diámetros superiores en las concentraciones del 0% de zeolita (testigo) y el 30% de zeolita.

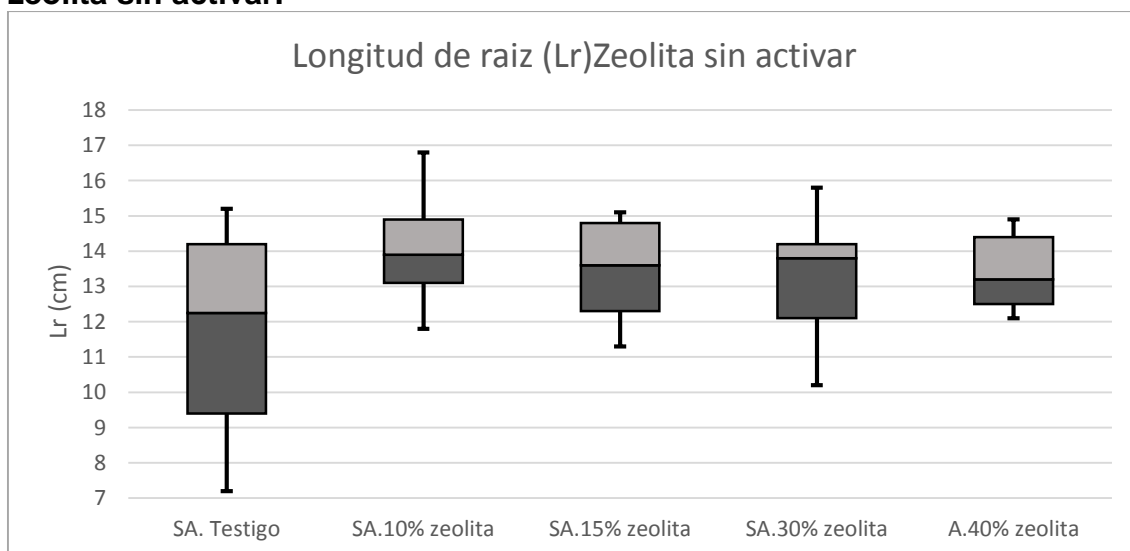
En la figura 5 se reporta que la longitud de raíz mayor es en la concentración del 15% de zeolita con un valor de 17.7 cm, seguida de la concentración del 30% de zeolita activada con una longitud de raíz del 15.3 cm, en cambio en la concentración del 10% de zeolita activada se obtuvo una longitud de raíz de 14.1 cm siendo la más baja en comparación a las demás concentraciones.

Figura 5. Diagrama de caja y bigote de la longitud de raíz de los pinos con zeolita activada.



En la figura 6 se observa la longitud de raíz superior en la concentración del 10% de zeolita con un valor de 16.8 cm, seguida de la concentración del 30% de zeolita sin activar con una longitud de raíz de 15.8 cm, por el contrario en la concentración del 40% de zeolita sin activar la longitud de raíz máxima fue de 14.9 cm siendo la más baja.

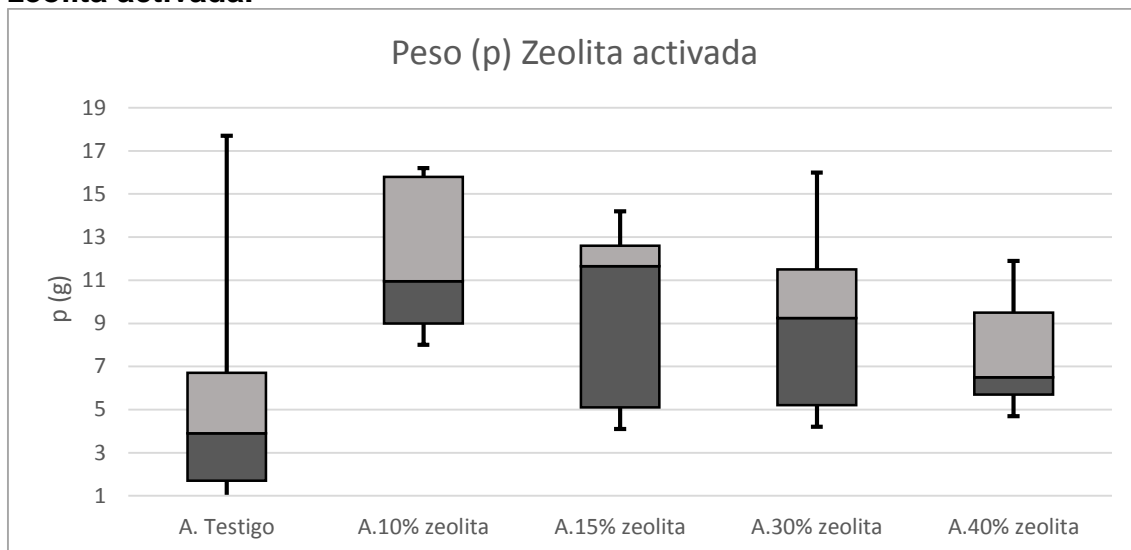
Figura 6. Diagrama de caja y bigotes de la longitud de raíz de los pinos con zeolita sin activar.



En base a las figuras 5 y 6, se observa que la zeolita tiene un efecto en la longitud de raíz, en las concentraciones del 15% de zeolita activada y 10% de zeolita sin activar se presentan los valores máximos para esta variable.

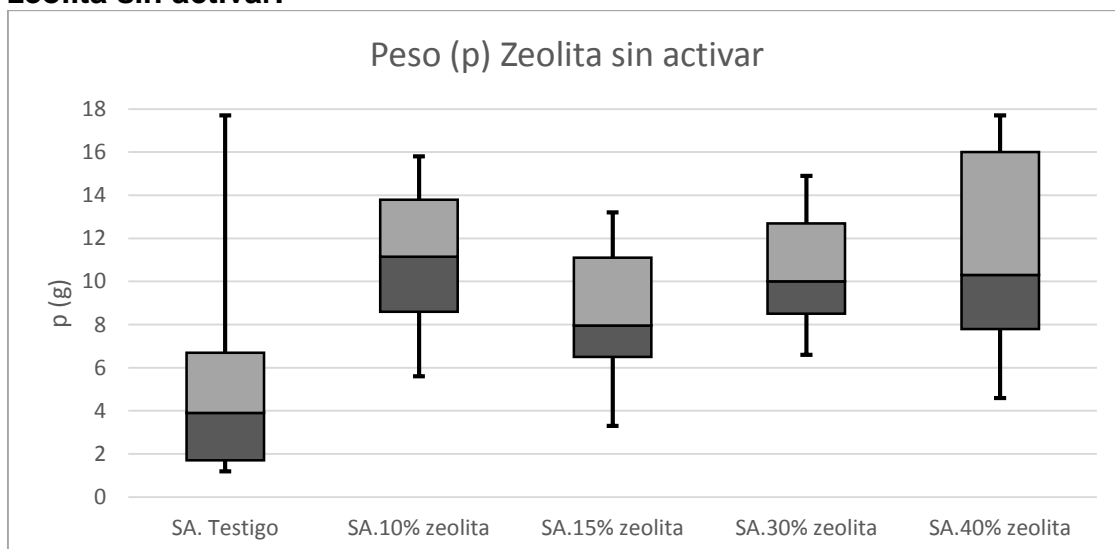
En la figura 7 se obtuvo el mayor peso seco total en el testigo con un peso de 17.7 g, seguida de la concentración del 10% de zeolita activada con un valor de 16.2 g, siendo la concentración del 40% de zeolita activada con el peso seco total más bajo.

Figura 7. Diagrama de caja y bigotes del peso seco total de los pinos con zeolita activada.



En la figura 8 presenta que el peso seco total superior se presentó entre las concentración del 0% de zeolita (testigo) y el 40% de zeolita con un peso de 17.7 g, seguido de la concentración del 10% de zeolita sin activar que se obtuvo un peso de 15.8 g, en cambio en la concentración del 15% de zeolita sin activar se obtuvo el peso más bajo con un valor de 13.2 g.

Figura 8. Diagrama de caja y bigotes del peso seco total de los pinos con zeolita sin activar.



En las figuras 7 y 8 se observa que la zeolita tuvo un efecto significativo en el peso seco total, sin embargo el testigo se encuentra por encima de las concentraciones con zeolita del mismo se obtuvo el mismo valor de peso en la concentración del 40% de zeolita sin activar.

3.2.2 Análisis de la varianza.

A continuación se detallaran los resultados obtenidos en la etapa experimental, en donde se efectuó un Análisis de Varianza (ANOVA) de los datos con un valor- p ($p > 0.05$), rechazando la hipótesis nula H_0 : con la cual se quiere decidir si los tratamientos son iguales estadísticamente en cuanto a sus medias y aceptando a la hipótesis alternativa H_A de que al menos dos de ellos son diferentes. del ANOVA se procedió a evaluar las igualdades de todas las posibles de pares de medias se procedió a evaluar las igualdades de todas las posibles de pares de medias con el Método LSD (diferencia mínima significativa), en la comparación de parejas de medias de tratamientos se obtuvieron los siguientes resultados.

La tabla 11 muestra la significancia de la altura entre los diferentes tratamientos. Los que destacaron fueron los testigos con los diferentes porcentajes de zeolita, además del 30% zeolita-40% zeolita, teniendo una mayor diferencia la del 40% de zeolita.

Tabla 11. Comparación de tratamientos de altura con zeolita activada.

Tratamientos	Diferencia entre tratamientos	Decisión
Testigo-10% zeolita	12.95 > 5.87	SIGNIFICATIVA
Testigo-15% zeolita	10.33 > 5.87	SIGNIFICATIVA
Testigo-30% zeolita	8.17 > 5.87	SIGNIFICATIVA
Testigo-40% zeolita	14.75 > 5.87	SIGNIFICATIVA
10% zeolita-15% zeolita	2.62 < 5.87	No significativa
10% zeolita-30% zeolita	4.78 < 5.87	No significativa
10% zeolita-40% zeolita	1.8 < 5.87	No significativa
15% zeolita-30% zeolita	2.16 < 5.87	No significativa
15% zeolita-40% zeolita	4.42 < 5.87	No significativa
30% zeolita-40% zeolita	6.58 < 5.87	SIGNIFICATIVA

La tabla 12 muestra el diámetro de los pinos con la zeolita activada, en la cual, el tratamiento que fue significativo, corresponde al testigo con el 10% de zeolita.

Tabla 12. Comparación de tratamientos del diámetro con zeolita activada.

Tratamientos	Diferencia entre tratamientos	Decisión
Testigo-10% zeolita	0.29 > 0.424	SIGNIFICATIVA
Testigo-15% zeolita	0.115 < 0.454	No significativa
Testigo-30% zeolita	0.075 < 0.454	No significativa
Testigo-40% zeolita	0.16 < 0.454	No significativa
10% zeolita-15% zeolita	0.175 < 0.454	No significativa
10% zeolita-30% zeolita	0.215 < 0.454	No significativa
10% zeolita-40% zeolita	0.13 < 0.454	No significativa
15% zeolita-30% zeolita	0.04 < 0.454	No significativa
15% zeolita-40% zeolita	0.045 < 0.454	No significativa
30% zeolita-40% zeolita	0.085 < 0.454	No significativa

En la tabla 13 y la tabla 14 no muestran diferencia significativa en comparación con ninguno de los tratamientos.

Tabla 13. Comparación de tratamientos de la longitud de raíz zeolita activada.

Tratamientos	Diferencia entre tratamientos	Decisión
Testigo-10% zeolita	1.34 < 2.03	No significativa
Testigo-15% zeolita	0.99 < 2.03	No significativa
Testigo-30% zeolita	1.28 < 2.03	No significativa
Testigo-40% zeolita	1.7 < 2.03	No significativa
10% zeolita-15% zeolita	0.35 < 2.03	No significativa
10% zeolita-30% zeolita	0.06 < 2.03	No significativa
10% zeolita-40% zeolita	0.36 < 2.03	No significativa
15% zeolita-30% zeolita	0.29 < 2.03	No significativa
15% zeolita-40% zeolita	0.71 < 2.03	No significativa
30% zeolita-40% zeolita	0.42 < 2.03	No significativa

Tabla 14. Comparación de tratamientos de peso seco total con zeolita activada.

Tratamientos	Diferencia entre tratamientos	Decisión
Testigo-10% zeolita	6.32 < 8.05	No significativa
Testigo-15% zeolita	3.93 < 8.05	No significativa
Testigo-30% zeolita	3.71 < 8.05	No significativa
Testigo-40% zeolita	2.07 < 8.05	No significativa
10% zeolita-15% zeolita	2.39 < 8.05	No significativa
10% zeolita-30% zeolita	2.61 < 8.05	No significativa
10% zeolita-40% zeolita	4.25 < 8.05	No significativa
15% zeolita-30% zeolita	0.22 < 8.05	No significativa
15% zeolita-40% zeolita	1.86 < 8.05	No significativa
30% zeolita-40% zeolita	1.64 < 8.05	No significativa

A diferencia de la tabla 8 en donde el tratamiento del testigo si tiene significancia con los de más tratamientos, así como también la comparación del 30% de zeolita-40% de zeolita, en la tabla 15 se muestra que hubo mayor diferencia entre los tratamientos de zeolita sin activar, además del testigo contra los demás porcentajes de zeolita (10%,15%, 30% y 40%), también presenta significancia entre los tratamientos 10% de zeolita sin activar-15% de zeolita sin activar, 10% de zeolita sin activar-40% de zeolita sin activar, además del tratamiento del 15% de zeolita sin activar-40% de zeolita sin activar y el 30% de zeolita sin activar-40% de zeolita sin activar.

Tabla 15. Comparación de tratamientos de altura con zeolita sin activar.

Tratamientos	Diferencia entre tratamientos	Decisión
Testigo-10% zeolita	13.49 > 4.72	SIGNIFICATIVA
Testigo-15% zeolita	12.32 > 4.72	SIGNIFICATIVA
Testigo-30% zeolita	12.64 > 4.72	SIGNIFICATIVA
Testigo-40% zeolita	18.34 > 4.72	SIGNIFICATIVA
10% zeolita-15% zeolita	4.85 > 4.72	SIGNIFICATIVA
10% zeolita-30% zeolita	0.85 < 4.72	No significativa
10% zeolita-40% zeolita	4.85 > 4.72	SIGNIFICATIVA
15% zeolita-30% zeolita	0.32 < 4.72	No significativa
15% zeolita-40% zeolita	6.02 > 4.72	SIGNIFICATIVA
30% zeolita-40% zeolita	5.07 > 4.72	SIGNIFICATIVA

En la tabla 16 se muestra que hubo mayor diferencia entre los tratamientos con zeolita sin activar térmicamente, además del testigo contra los demás porcentajes de zeolita, también presenta significancia entre el tratamiento 10% de zeolita sin activar-40% de zeolita sin activar, además del tratamiento del 15% de zeolita sin activar-40% de zeolita sin activar.

Tabla 16. Comparación de tratamientos de diámetro con zeolita sin activar.

Tratamientos	Diferencia entre tratamientos	Decisión
Testigo-10% zeolita	0.2 > 0.119	SIGNIFICATIVA
Testigo-15% zeolita	0.13 > 0.119	SIGNIFICATIVA
Testigo-30% zeolita	0.25 > 0.119	SIGNIFICATIVA
Testigo-40% zeolita	0.27 > 0.119	SIGNIFICATIVA
10% zeolita-15% zeolita	0.07 < 0.119	SIGNIFICATIVA
10% zeolita-30% zeolita	0.05 < 0.119	No significativa
10% zeolita-40% zeolita	0.07 < 0.119	SIGNIFICATIVA
15% zeolita-30% zeolita	0.12 > 0.119	No significativa
15% zeolita-40% zeolita	0.14 > 0.119	SIGNIFICATIVA
30% zeolita-40% zeolita	0.02 < 0.119	SIGNIFICATIVA

En la tabla 17 se observa que hay una diferencia significativa en los tratamientos del Testigo-40% de zeolita sin activar, en comparación con la tabla 9 en donde se obtuvo diferencia en los tratamientos del testigo-10% de zeolita activada, existe diferencia entre la zeolita activada y sin activar en la variable del diámetro en los pinos, con zeolita activada es representativa la mínima concentración de esta, mientras que en la zeolita sin activar es representativo la máxima concentración con respecto al testigo.

En contraste de la tabla 13, la tabla 18 si presenta resultados en los tratamientos del testigo-40% de zeolita sin activar siendo el único valor representativo.

Tabla 17. Comparación de tratamientos de longitud de raíz con zeolita sin activar.

Tratamientos	Diferencia entre tratamientos	Decisión
Testigo-10% zeolita	1.34 < 1.58	No significativa
Testigo-15% zeolita	0.99 < 1.58	No significativa
Testigo-30% zeolita	1.28 < 1.58	No significativa
Testigo-40% zeolita	1.7 > 1.58	SIGNIFICATIVA
10% zeolita-15% zeolita	0.35 < 1.58	No significativa
10% zeolita-30% zeolita	0.06 < 1.58	No significativa
10% zeolita-40% zeolita	0.36 < 1.58	No significativa
15% zeolita-30% zeolita	0.29 > 1.58	No significativa
15% zeolita-40% zeolita	0.71 > 1.58	No significativa
30% zeolita-40% zeolita	0.42 < 1.58	No significativa

A diferencia de la tabla 14, la tabla 18 si presenta resultados en la comparación de los tratamientos, además del testigo contra el 10%, 15% y 30% de zeolita sin activar, también es simbólico el valor entre el 10%-40% de zeolita sin activar.

Tabla 18. Comparación de tratamientos de peso seco total con zeolita sin activar.

Tratamientos	Diferencia entre tratamientos	Decisión
Testigo-10% zeolita	6.32 > 3.60	SIGNIFICATIVA
Testigo-15% zeolita	3.93 > 3.60	SIGNIFICATIVA
Testigo-30% zeolita	3.71 > 3.60	SIGNIFICATIVA
Testigo-40% zeolita	2.07 < 3.60	No significativa
10% zeolita-15% zeolita	2.39 < 3.60	No significativa
10% zeolita-30% zeolita	2.61 < 3.60	No significativa
10% zeolita-40% zeolita	4.25 > 3.60	SIGNIFICATIVA
15% zeolita-30% zeolita	0.22 < 3.60	No significativa
15% zeolita-40% zeolita	1.86 < 3.60	No significativa
30% zeolita-40% zeolita	1.64 < 3.60	No significativa

3.2.3 Gráficos de probabilidad Normal

Esta gráfica de Residuos contra Zi, en donde los residuos siguen una distribución normal, tienen a quedar alineados en una línea recta: por lo tanto, si claramente no se alinean se concluye que el supuesto de normalidad no es correcto.

Cabe enfatizar el hecho de que el ajuste de los puntos a una recta no tiene que ser perfecto, dado que el análisis de varianza resiste pequeñas y moderadas desviaciones al supuesto de normalidad. En las figuras 9 y 10 se presentan las gráficas de probabilidad normal, en los cuales el supuesto de normalidad se cumple en las variables medidas en los pinos (altura, diámetro, longitud de raíz y peso seco total), con zeolita activada y con zeolita sin activar, se puede observar que claramente tienen a la linealidad, así como también se presenta en cada figura la ecuación regresión lineal y su determinado coeficiente de correlación lineal (R^2), el coeficiente de correlación de Pearson es un índice cuyos valores absolutos oscilan entre 0 y 1. Cuanto más cerca de 1 mayor ser la correlación, en este caso el coeficiente se encuentra en valores de 0.93 hasta de 0.99 son valores cercanos a 1 (figuras 9 y 10).

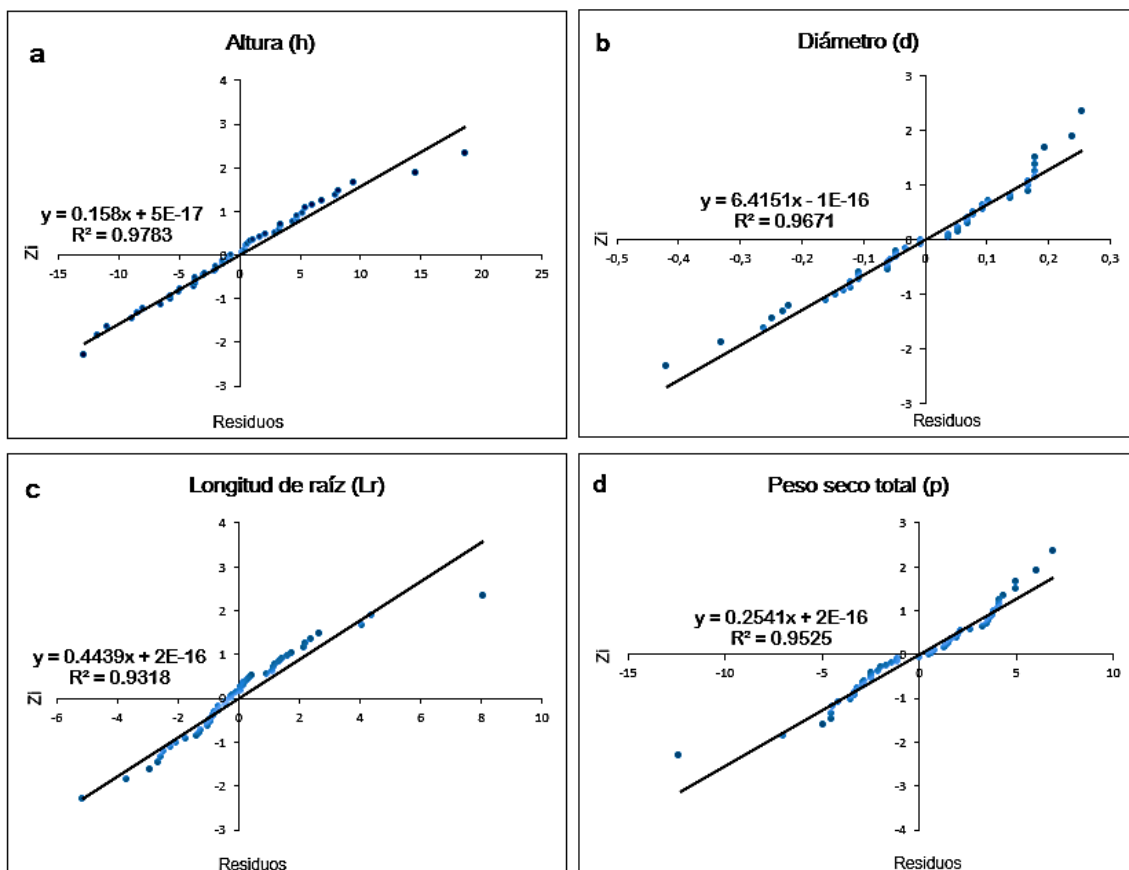


Figura 9: Gráficas de probabilidad normal de las variables medidas con zeolita activada.

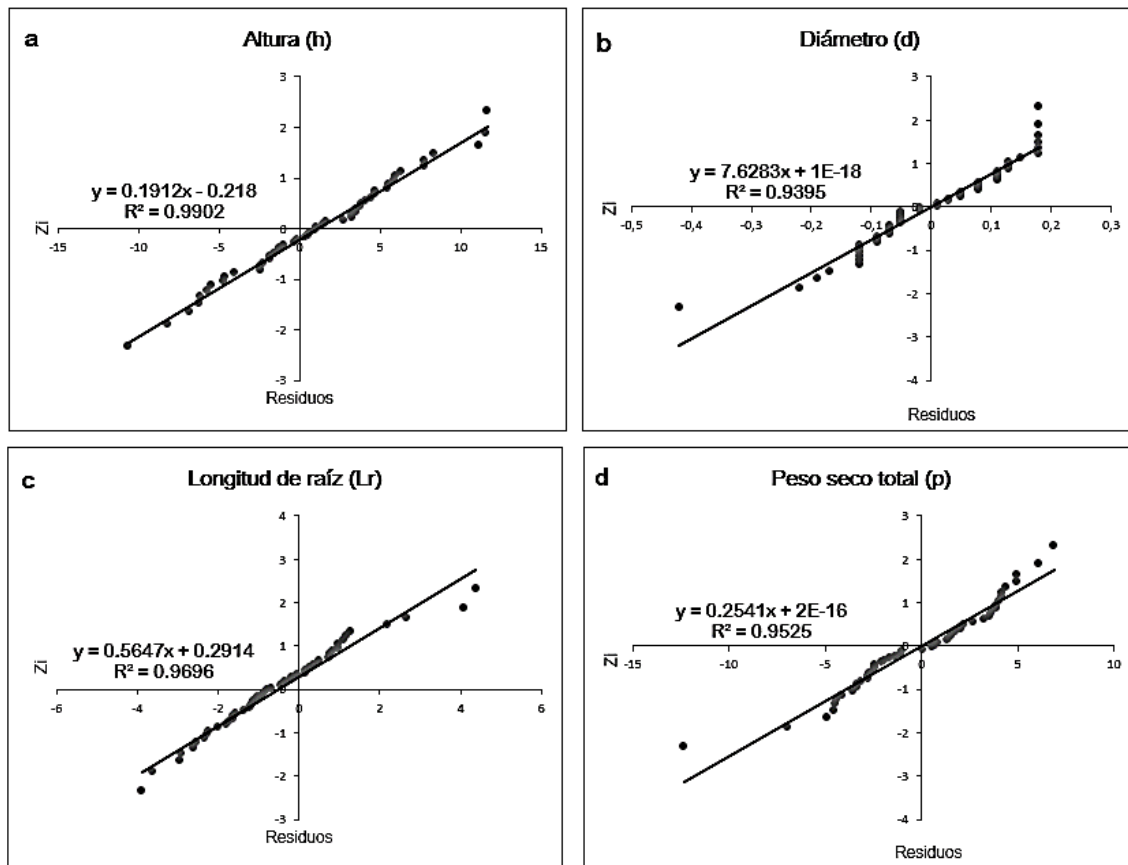


Figura 10: Gráficos de probabilidad normal de las variables medidas con zeolita sin activar.

3.2.4 Varianza constante

En esta gráfica se muestran los predichos contra los residuos, los puntos en esta gráfica se distribuyen de manera aleatoria en una banda horizontal (sin ningún patrón claro y contundente), entonces es señal de que se cumple el supuesto de que los tratamientos tienen igual varianza.

Se muestra en las figuras 11 y 12 que en los gráficos los puntos se distribuyen sin ningún patrón claro o contundente, es decir no se presenta una forma de embudo o corneta, si se cumple con el supuesto de varianza constante, sin embargo, la dispersión de los puntos no presentan una distribución proporcional en el eje positivo y negativo, el ejemplo más acertado es en la figura 11b.

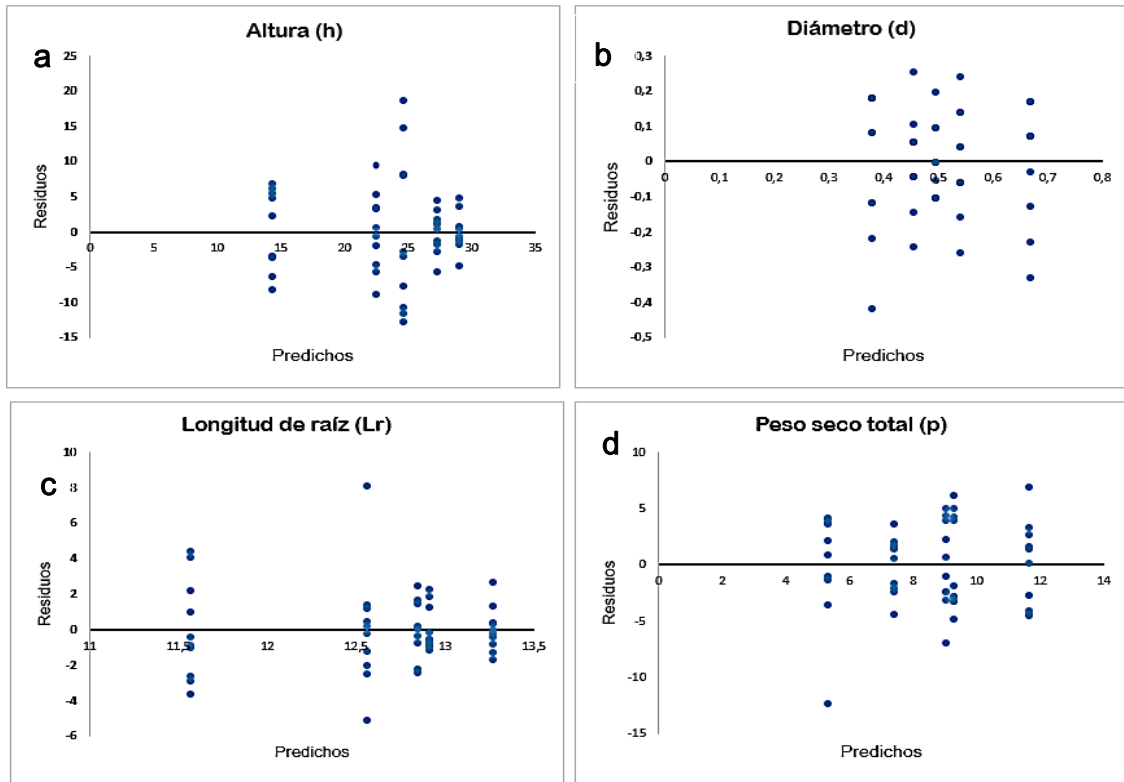


Figura 11: Gráficas de predichos contra residuos de las variables medidas con zeolita activada.

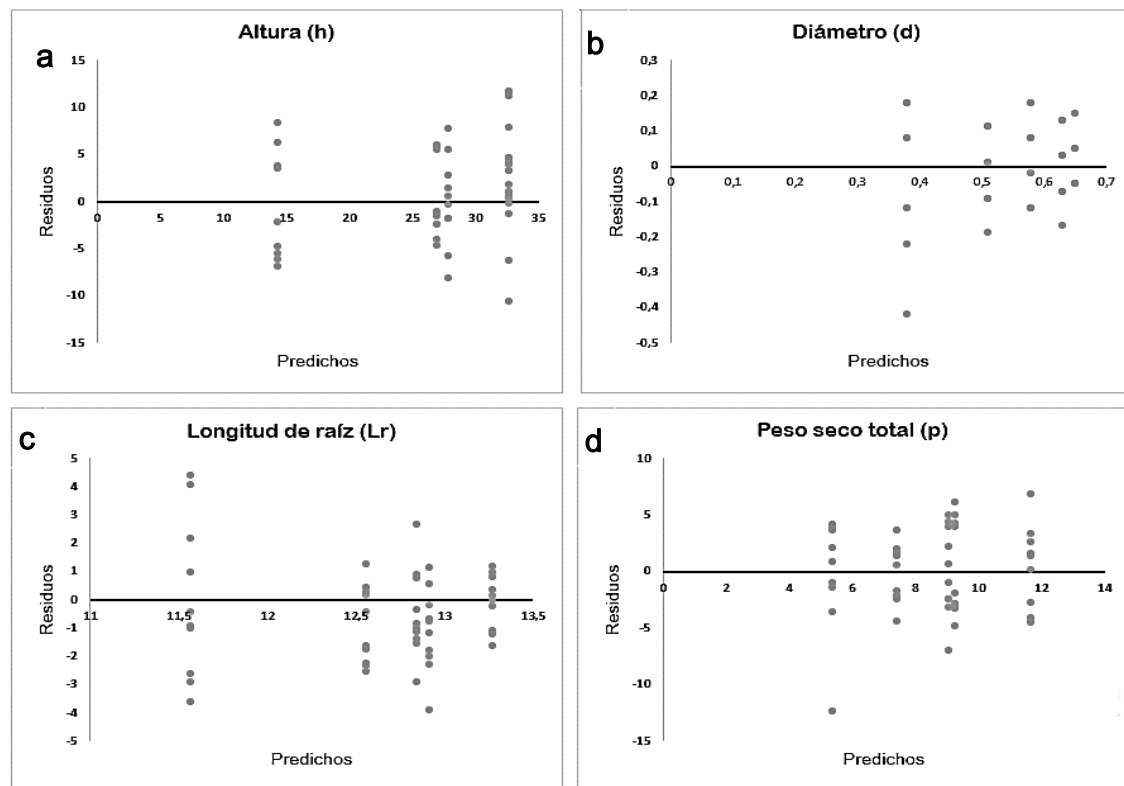


Figura 12: Gráficas de predichos contra residuos de las variables medidas con zeolita activada.

3.3 ANÁLISIS DEL SUELO.

A continuación se presentan los resultados del análisis del suelo en la tabla 19.

Tabla 19. Análisis del suelo (tierra de monte).

Determinación	Resultado
Contenido de humedad del suelo	6.95%
Textura	40.35% de Arena, 31.10% de Limo y 28.55% de Arcilla. SUELO FRANCO ARCILLOSO
Materia Orgánica y Carbono orgánico	64.33%
pH en agua	6.7
Densidad real	2.48 g/cm³
Densidad aparente	1.42 g/cm³

A continuación se detallaran los resultados del análisis del suelo (sustrato tierra de monte) en los siguientes apartados: Contenido de humedad, textura, materia orgánica y carbono orgánico, pH en agua, densidad real y aparente.

3.3.1 Contenido de humedad.

Según en la definición de la Norma Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, El contenido de humedad del suelo es una propiedad física de importancia debido a que en el suelo el contenido de humedad puede variar ampliamente en función de tiempo mientras que el peso seco es constante a través del tiempo, así también se determina el contenido de humedad de una masa de suelo, que está formado por la suma de sus aguas libre, capilar e higroscópica. El contenido de humedad también puede influenciar la disponibilidad de oxígeno en suelo debido a que O₂ es poco soluble en agua.

Indica que el suelo con 6.95% de humedad contiene 6.95 g de agua en 100 g de suelo. Se dice que un suelo está saturado cuando todos sus poros están llenos de agua.

Así mismo indica que el contenido de agua para una planta, esta puede descender por el efecto de la evaporación y la transpiración de las plantas y a medida que el contenido de agua disminuye, se hace más difícil la absorción de agua por las raíces, llegando a alcanzar un estado denominado punto de marchitamiento, que se caracteriza porque las plantas absorben el agua del suelo con mucha dificultad y experimentan marchitez irreversible.

3.3.2 Textura del suelo.

En la NOM-021-RENAT-2000, la textura del suelo se define como la proporción relativa de grupos dimensionales de partículas, hace referencia al tamaño de las partículas o de las cantidades relativas de arena, limo y arcilla .Proporciona una idea general de las propiedades físicas del suelo. De acuerdo al diagrama textual de la USDA (United States Department of Agriculture) se obtiene que es un **suelo franco-arcilloso**.

3.3.3 Materia Orgánica y Carbono Orgánico.

Se obtuvo el 64.3% de materia orgánica y carbono orgánico, el cual es un porcentaje muy elevado, se estima estos valores de materia orgánica y carbono orgánico a suelos forestales o reforestados con especies de pinos, ya que van del 59% a más según lo reporto Vela *et al.*, (2012), el cual es un resultado bastante coherente debido a que se utilizó como sustrato, tenía una apariencia física característica de los suelos forestales.

3.3.4. pH.

Según la norma mexicana NOM-021-RENAT-2000, presenta la clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH, como se muestra en la tabla 20, el valor obtenido **6.7** se encuentra en un valor neutro por lo que se sugiere que es un suelo ligeramente ácido y es donde se encuentra la disponibilidad máxima de nutrientes, siendo los efectos tóxicos de los elementos mínimos.

Tabla 20. Clasificación del suelo según su valor de pH.

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1-6.5
Neutro	6.6-7.3
Medianamente alcalino	7.4-8.5
Fuertemente alcalino	>8.5

En base a la Norma mexicana NMX-AA-170-SCFI-2014, sobre el Apéndice H, el pH óptimo para la producción de plantas coníferas (pinos principalmente) es de 5.5 (a la que pertenece el *pinus pseudostrobus sp*) y especies latifoliadas un pH óptimo oscila entre 6 y 6.5. El agua de riego obtuvo un pH= 8.44, que indica que es pH alcalino puede provocar precipitación de calcio, magnesio y fierro, lo que a su vez, puede limitar la disponibilidad de algunos elementos esenciales.

3.3.5 La Densidad Real.

Es una propiedad física del suelo, en suelos arcillosos presentan una densidad que está alrededor de 2.48 gramos por centímetro cúbico, de acuerdo a Rubio (2010), el resultado que se obtuvo es acorde a la textura del suelo franco arcilloso.

3.3.6 Densidad Aparente.

Esta propiedad física del suelo es muy importante ya que permite ver la facilidad de penetración de las raíces al suelo, permite la predicción de la transmisión de agua, relacionada también con la de humedad gravimétrica del suelo así como también lámina de agua en el suelo. La densidad aparente del suelo es un buen indicador de propiedades importantes del suelo, como son: la compactación, porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración, lo que condiciona la circulación de agua y aire en el suelo, los procesos de establecimiento de las plantas (emergencia, enraizamiento) y el manejo del suelo Rubio (2010), el resultado también coincide con un suelo franco arcilloso.

3.4 SUSTRATOS UTILIZADOS.

Durante el proyecto se utilizaron estos sustratos: Zeolita clinoptilolita cálcica, Tierra de monte y aserrín con un fin, debido a que en la última década, el valor de la turba se ha duplicado, como consecuencia del incremento en el costo de los combustibles y el transporte (Hernández, 2014); además de los problemas ambientales que ocasiona sus demanda en la turba de musgo se han estado investigando nuevas alternativas como sustituto de este componente. Estos sustratos por sí solos tienen excelentes propiedades, durante el proyecto se utilizaron estos componentes convenientemente por la disponibilidad, manejo, y precio.

Con relación a lo anterior el aserrín se ha empleado para la producción de planta en los viveros forestales con resultados prometedores. El aserrín es un subproductos de la industria forestal, se pueden usar como sustrato y sustituir a la turba en la producción de planta en viveros (Hernández, *et al.*, 2014). El aserrín y la corteza de pino son subproductos de la industria maderera y se pueden obtener a bajo costo (Maldonado *et al.*, 2011). El aserrín proveniente de especies de coníferas se usa como sustrato con buenos resultados en la producción de plantas de diferentes especies. Además este puede favorecer la absorción de nutrientes en las plantas, sin embargo, puede presentar problemas de exceso de humedad por su partícula fina; así, se recomienda mezclar con otros materiales de partículas más gruesas (Hernández *et al.*, 2014).

Así como también es muy importante complementar con fertilizantes de liberación controlada (FLC) como fuente de nutrición para las plantas es una práctica que simplifica el manejo de la producción y reduce los costos, además de que minimiza las pérdidas de fertilizantes por lixiviación, comparado con el uso tradicional de fertilizantes hidrosolubles (Aguilera *et al.*, 2015). Con base en las ventajas que tienen los sustratos con aserrín de pino y los FLC, el objetivo del presente trabajo consistió en probar la eficiencia de los sustratos formulados (en distintas concentraciones cada uno) aserrín, zeolita clinoptilolita cálcica y tierra de monte, en donde se utilizó un FLC (Multicote) en la producción de planta de *Pinus pseudostrobus sp.*, esta especie es una de las cinco de pino de mayor distribución natural en el territorio nacional y la más usada en los programas de

reforestación que anualmente realiza la Comisión Nacional Forestal (Conafor, 2014).

DISCUSIÓN

Actualmente existen una amplia gama de sustratos empleados para la producción de especies forestales, pero se sabe que éstos elevan los costos debido a que sus materiales minerales son transformados o tratados industrialmente, una vez que ha finalizado su vida útil estos a largo plazo presentan problemas graves en la eliminación de sus residuos, debido a que no son biodegradables. Por consiguiente los problemas ambientales originados por sustratos transformados o tratados, así como también la creciente demanda de sustratos convencionales en cuanto a disponibilidad, manejo y precio han hecho necesaria la búsqueda de nuevos materiales alternativos o sustitutivos, de menor impacto con el medio ambiente, las zeolitas son minerales de aluminosilicatos que sobresalen debido a su bajo costo, accesibilidad cantidad, pureza, de origen es natural o sintética y disponibilidad para aplicarlas en distintos procesos.

Las zeolitas naturales actualmente tiene una creciente demanda en la agricultura, se le puede encontrar como sustrato en una amplia gama de variedades de hortalizas debido a que cuenta con extraordinarias propiedades, según LLanes (2017), en su estudio de: Efecto de la Aplicación Foliar de Nanopartículas de ZnO en Plantas *Capsicum chinense* (var. *Ba'alche*) en Condiciones de Hidroponía e Invernadero utilizo Zeolita como Sustrato, el resultado que obtuvo fueron en la variable de altura, la cual la mayor altura de las plantas la presentaron las que crecieron en zeolita (Tratamiento 1 zeolita 100%, perlita 0%), las cuales fueron 9 % superior en tamaño (114.83 cm) comparadas con las que crecieron en perlita (Tratamiento 2, zeolita 0%, perlita 100%) con una altura de 105.30 cm. Las plantas sometidas a este tratamiento (tratamiento 1) también presentaron una tendencia a un tallo más grueso (14.15 cm).

Así como también lo reporta Gallardo (2016), en su estudio de: Crecimiento y desarrollo de plantas de *Solanum lycopersicum* por efecto de nanopartículas

metálicas y sustrato zeolítico en condiciones de agricultura protegida, en donde los resultados que obtuvo en las variables medidas las cuales fueron; Altura (cm), Número de hojas, Índice relativo de clorofila (SPAD), Diámetro del tallo (mm), Longitud de raíz (cm) en donde los resultados varían de acuerdo a la variable y a la concentración de las nanopartículas de Fe y de zeolita, pero se concluye que con el sustrato zeolítico tiene ventajas con respecto al testigo (control).

En fin se pueden encontrar muchos estudios en donde se utiliza la zeolita como sustrato en hortalizas como la Lechuga, brócoli, chile, tomate, maíz etc., pero también es un componente alternativo para la producción de especies forestales, como en la investigación de Vásquez y Yunga (2008) con el título de: Efecto de cuatro porcentajes de zeolita como sustrato y dos métodos pregerminativos en diez especies forestales, en la que se basó el presente trabajo, en donde se consiguieron los siguientes resultados: se obtuvieron los mejores rendimientos en la altura, con una considerable diferencia frente al testigo (humus 33.33%, tierra vegetal 33.33% y arena 33.33%), en las concentraciones de 10%, 30% y 50% de zeolita .

Finalmente los tratamientos que contenían zeolita clinoptilolita cálcica en cualquier concentración mostraron mayor altura, diámetro, longitud de raíz y peso seco total en la especie *pinus pseudostrobus sp.* Se indica que la zeolita promueve el rendimiento de los cultivos, mejora la condición del suelo, la absorción de nutrientes y genera un uso eficiente del agua. Estas respuestas se asocian con el incremento en la capacidad de retención de nutrientes del suelo debido a la zeolita, lo que conduce a una mayor disponibilidad de los nutrientes para las plantas, durante un período de tiempo más largo (Lateef *et al.*, 2016).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos sobre el efecto de la zeolita clinoptilolita aplicados en *pinus pseudostrobus sp.*, en el cual las variables evaluadas fueron la altura en centímetros (medida desde la primera hoja hasta el fuste), el diámetro del tallo en milímetros, la longitud de raíz en centímetros (raíz principal)

y el peso seco total del pino en gramos , se concluye gracias a la utilización de zeolita como sustrato, se logró potenciar estas variables (altura, diámetro, longitud de raíz y peso), por lo que presenta mejores rendimientos para la producción de esta especie, sin embargo no se puede contemplar una concentración ideal u óptima porque varía de acuerdo a las variables, puesto que varía de la composición de los sustratos aunque si existe diferencia significativa con respecto al testigo en todos los niveles, hasta en el factor de supervivencia.

En la medición de las variables de altura del pino, diámetro del tallo, longitud de la raíz principal y peso seco total y su relación con la zeolita activada y no activada, se identificó:

- Con zeolita activada y no activada se observó que la altura fue significativa, siendo la concentración del 15% de zeolita activada la más óptima para esta, así mismo con zeolita sin activar fue en la concentración del 40%.
- Con zeolita activada al 10% permitió una mejora en el diámetro que fue significativo, además con zeolita sin activar se presentó un efecto positivo en la proporción del 30% de zeolita.
- La zeolita tiene un efecto significativo en la longitud de raíz, en las concentraciones del 15% de zeolita activada y 10% de zeolita sin activar se presentaron los valores máximos para esta variable.
- En la variable del peso seco total, no se encuentran valores muy significativos debido a que el testigo se encuentra por encima de las concentraciones con zeolita se obtuvo el mismo valor de peso en la concentración del 40% de zeolita sin activar, seguida de la concentración del 10% de zeolita activada, esto pudo ocurrir debido a las propiedades de este mineral ya que las zeolitas contienen un alto nivel de absorción, retención y liberación de agua, alta capacidad de intercambio de cationes (CIC), por esta razón estas propiedades pudieron inferir en los resultados, aunque el testigo presento mayor peso seco, pero no sobresalía en las otras variables, como en la altura ya que desde el punto biológico es de suma importancia debido al efecto que ejerce sobre las propiedades de

almacenamiento de agua del sustrato y en esta variable todas las concentraciones de zeolita activada y sin activar (10%,15%, 30% y 40%) presentaron valores superiores al testigo finalmente se concluye que si tuvo un efecto la zeolita.

Para medir la calidad de la planta se consideran criterios morfológicos y fisiológicos; estos criterios son la altura del tallo, el diámetro al cuello y la producción de biomasa, estos parámetros a su vez permiten estimar el índice de robustez (altura/diámetro) y la relación biomasa parte aérea/raíz, que revela la supervivencia de la planta en el campo, sin en cambio valores altos en la altura, no significa que la planta tenga mayor sobrevivencia en el campo, pero relacionada con el diámetro, permite detallar más su adaptabilidad al campo, así como lo es en la raíz principal a mayor longitud la planta puede sostenerse más sobre el suelo y tiene mayor disponibilidad de adsorber nutrientes que requiere para su crecimiento y desarrollo en el futuro.

Por lo tanto, la implementación de metodologías y prácticas adecuadas de cultivo durante la producción de planta en vivero, así como también prácticas apropiadas de riego, nutrición, permitirá cultivar organismos sanos y vigorosos, con las características físicas necesarias para garantizar una adecuada supervivencia y crecimiento en los sitios de plantación, lo que garantiza lograr los propósitos de los programas de reforestación que actualmente se realizan en México.

El análisis de las variables fisicoquímicas de suelo son de gran importancia se analizaron el contenido de humedad, pH en agua, textura, densidad aparente y real, contenido de materia orgánica y carbono orgánico, son congruentes con los resultados que se obtuvieron, en donde no hubo valores atípicos que pudieran influir sobre los resultados.

ANEXO 1 VIABILIDAD ECONÓMICA DEL USO DE LA ZEOLITA CLINOPTILOLITA COMO SUSTRATO.

Costos

Sustrato	Cantidad	Costo
Perlita expandida	Saco de 100 litros	\$95.00
Peat Moss Rekyva: Turba Rubia, Café y Negra.	Saco de 70 litros	\$219.90
Vermiculita	Costal de 100 litros	\$359.00
Fertilizante de liberación lenta multicote 8 Formula 18-6-12	Saco de 25 Kg	\$990.00
Aserrín	Costal de 50 Kg	\$80.00
Tierra de monte	Costal de 50 Kg	\$126.00
Zeolita Clinoptilolita	1 Kg	\$20.00

La aplicación de zeolita clinoptilolita cálcica como sustrato es rentable en comparación de los demás sustratos comerciales.

En este trabajo se evaluaron dos variables: la zeolita activada y no activada, en donde, para la activación de la zeolita fue calentada en estufa a 250 °C por dos horas, siendo así más viable la zeolita sin activar ya que no requiere de energía para su manejo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilera Rodríguez, Manuel, Aldrete, Arnulfo, Martínez Trinidad, Tomás, & Ordaz Chaparro, Víctor Manuel. (2016). Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 7(34), 7-20. Recuperado en 09 de Septiembre de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322016000200007&lng=es&tlng=es.
2. Arcos, B., Benavides, O., & Rodríguez, M. (2011). Evaluación de dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga (*Lactuca sativa* L.) *Rev. Cienc. Agríc*, 28. 95-108.
3. Baixauli S., C., y J. M. Aguilar O. (2002). Cultivo de Hortalizas, Aspectos Prácticos y Experiencias. Generalitat Valenciana. Valencia, España. 110 p. www.ivia.es/sdta/pdf/libros/n53.pdf (Consulta: Enero 2018).
4. Breck, D. (1974). *Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry and Uses*. Wiley & Sons. New York. p. 759.
5. Burés, S.(1997). Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid, España. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/573/57317307.pdf>.
6. Burés, S.(1999). Introducción a los sustratos: aspectos generales. *In: Tecnología de sustratos: aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal*. J.N. Pastor S. (ed.). Universidad de Lleida. España. 19-46.
7. Cabrera R., I. (1999). Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo-Serie Horticultura*. 5-11.
8. Caravias, J., V. Arriaga y V. Cervantes. (2007). Políticas públicas de la restauración ambiental en México: Limitantes, avances, rezagos y retos. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* Num. 80: 85-100.
9. Cervantes, V., J. Carabias y V. Arriaga. 2008. *Evolución de las políticas públicas de restauración ambiental*. En: *Capital natural de México, vol. III: Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad*. CONABIO, México, pp. 155-226.

10. Civeira, G. y M.B. Rodríguez. (2011). Nitrógeno residual y lixiviado del fertilizante en el sistema suelo-planta-zeolita. *Ci. Suelo*. 29(2), 285-294.
11. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), (2014). El manejo sustentable de los ecosistemas forestales mexicanos para incrementar la producción y productividad forestal. *Innovación forestal*. Recuperado de: http://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=1282.
12. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (CCMSS), (2018). Los bosques de nuestro país absorben el equivalente a todas las emisiones de CO₂ del sector transporte; apoyar a las comunidades que los manejan es prioritario para combatir el cambio climático. *CCMSS.org*. Recuperado de: <http://www.ccmss.org.mx/los-bosques-pais-absorben-equivalente-todas-las-emisiones-co2-del-sector-transporte-apoyar-las-comunidades-los-manejan-prioritario-combatir-cambio-climatico/>.
13. Costafreda, M.J.L. (2014). Tectosilicatos con características especiales: las zeolitas naturales. Recuperado de http://oa.upm.es/32548/1/Tectosilicatos_Costafreda.pdf.
14. Delgado, JA; RF Follet & MJ Shaffer. (2000). Simulation of nitrate nitrogen dynamics for cropping systems with different rooting depths. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1050-1054.
15. Diario Oficial de la Federación (2000). NOM-021-RENAT-2000 Que establece las especificaciones de la fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Disponible en: http://esh.esoft.com.mx/include/upload_files/4/Archivos/NOM-021-SEMARNAT-2000.pdf, consultado (Agosto, 2018).
16. Diario Oficial de la Federación (2014). NMX-AA-170-SCFI-2014 Que establece la Certificación de la Operación de Viveros Forestales. Disponible en <http://certificadoramexicana.com/documentos/NMX-AA-170-SCFI-2014.pdf> , consultado (Septiembre 2018).
17. Espinosa Ramírez, M., Andrade Limas, E., Rivera Ortiz, P., Romero Díaz, A., (2011). Degradación de suelos por actividades antropogénicas en el norte de Tamaulipas México. *Papeles de Geografía*, 77-88.
18. FAO (2017). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>

19. Flores-Macías, A., Galvis, T. M., Hernández, y De León P. (2007). Efecto de la adición de zeolita /Clinoptilolita y modernita) en un andosol sobre el ambiente químico edáfico y el crecimiento de la avena. *Rev. Ciencia Tecn. América* 32: 692-696.
20. Gallardo Cardoso G.A. (2016). *Crecimiento y desarrollo de plantas de Solanum lycopersicum por efecto de nanopartículas metálicas y sustrato zeolítico en condiciones de agricultura protegida* (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
21. García C., O., Alcántar G., G., & Cabrera, R., & Gavi R., F., & Volke H., V. (2001). Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra Latinoamericana*, 19 (3), 249-258.
22. Gayosso-Rodríguez, S., & Borges-Gómez, L., & Villanueva-Couoh, E., & Estrada -Botello, M., & Garruña-Hernández, R. (2016). SUSTRATOS PARA PRODUCCIÓN DE FLORES. *Agrociencia*, 50 (5), 617-631.
23. Guarnaschelli Beatriz A., y. G. (2009). Árboles. Buenos Aires, Argentina: ALBATROS SACI.
24. He, ZL; DV Calvert; AK Alva; YC Li & DJ Banks. (2002). Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. *Plant soil*, 247: 253-260.
25. Hernández, M., Rojas, F., Corona, L., Lara, V., Portillo, R., Salgado, M., Petranoskii, V. (2005). Evaluación de la porosidad de zeolitas naturales por medio de curvas diferenciales de adsorción. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 21 (2), 71-81.
26. Hernández, G., Hernández, M. A., Portillo, R., Salgado, M. A., Rojas, F., & Petranovskii, V. (2016) Properties of Nanoporosity of Clinoptilolite, Erionite, Epistilbite and Mordenite, natural zeolites from Mexico. IZC 18th International Zeolite Conference. Rio de Janeiro, Brasil.
27. Ingram, D., R. Henley y T. Yeager. (1993). Growth media for container grown ornamental plants. Florida Coop. Extension Service, IFAS. University of Florida. Bulletin 241. 26.
28. INSTITUTO Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2004) Calidad de planta en vivero y prácticas que influyen en su producción. *Folleto numero 12*.

29. Jiménez, R. y M. Caballero. (1990). El Cultivo Industrial de Plantas en Maceta. Ediciones de Horticultura. Reus, España. Recuperado de: http://jardinbotanico.montevideo.gub.uy/sites/jardinbotanico.montevideo.gub.uy/files/articulos/descargas/cultivo_industrial_plantas_macetas_0.pdf
30. Jiménez-Cedillo, M.J. (2004). *Caracterización de minerales zeolíticos mexicanos* (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México.
31. Jordán Hernández, R., Betancourt-Riera, R., Betancourt-Riera, R., Cabrera Galdo, E., Cabrera Germán, D. (2013). Mejorador de suelo a partir de una zeolita natural: Una propuesta sustentable para la agricultura. *Nova Scientia*, 6 (11), 1-11. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/2033/203329578001.pdf>
32. Kesraqui-ouki, S, Cheeseman CR, Perry R (1994) Natural zeolite utilisation in pollution control: a review of applications to metals' effluents. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 59: 121-126.
33. Lateef, A., Nazir, R., Jamil, N., Alam, S., Shah, R., Khan, M. N., & Saleem, M. (2016). Synthesis and characterization of zeolite based nano-composite: An environment friendly slow release fertilizer. *Microporous and Mesoporous Materials*, 232, 174-183.
34. Lemaire, F. (1997). The problem of biostability in organic substrates. *Acta Horticulturae*, 450: 63-69.
35. Leiva-Gómez, J. (2010). Zeolita natural como mejoramiento de suelos y optimización de fertilizantes. México. *Engormix Ganaderia*. <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/zeolita-natural-mejoramiento-de-suelos-t28411.htm>
36. Lewis, M. D., F.D. Moore y K.L. Goldberry. (1984). Ammonium-exchanged clinoptilolite and granulated clinoptilolite with urea as nitrogen fertilizers. Pages 123-137. In: W.G. Pond and F.A. Mumptom (eds.). *Zeo Agriculture: Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture*. Westview Press, Boulder, CO, USA. 264.
37. Llanes García P.J. (2017). *Efecto de la Aplicación Foliar de Nanopartículas de ZnO en Plantas Capsicum chinense (var. Ba'alche) en Condiciones de Hidroponía e Invernadero Utilizando Zeolita como Sustrato* (Tesis de

- Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de Agronomía. Departamento de Horticultura.
38. Lobo, R. F. (2003). Introduction to the structural chemistry of zeolites. En: Handbook of zeolite science and technology. 65-89.
 39. López-Romero, M., Hernández-Espinosa, M.A., Barahona-Argueta, C.R., Martínez-Guerrero, M.A., Portillo-Reyes, R., y Rojas-González, F. (2010). Propiedades fisicoquímicas de la clinoptilolita tratada con fertilizantes a usar como aditivo en el cultivo de *Pleurotus ostreatus*. *Terra Latinoamericana*, 28(3), 247-254. Recuperado en 28 de Abril de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000300007&lng=es&tlng=es.
 40. López, A. (2012). Centro de Investigación y Docencia Económicas A.C. Obtenido de Cide.edu: http://www.ccmss.org.mx/descargas/Deforestacion_en_Mexico_un_analisis_preliminar.PDF
 41. Martínez, P.F. y Roca, D. 2011. Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. En: Flórez R., V.J. (Ed.). Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. 37-77.
 42. Martínez P. R. y Soriano F. A.R. (2014). INIFAP Org. Obtenido de biblioteca.inifap.gob: http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/4215/010209125200067468_PROP_FISYQUIM_SUTRATOS.pdf;sequence=1
 43. Mateo-Sánchez, J., Bonifacio-Vázquez, R., Pérez-Ríos, S., Mohedano-Caballero, L., Capulín-Grande, J. (2011). Producción de (*Cedrela odorata* L.), en sustrato a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Tecpan de galeana, Guerrero, México. *Ra Ximhai*, 7 (1), 123-132.
 44. Masaguer, M. y Cruz, A., (2006). Sustrato para viveros. *Horticultura Internacional*, 44-51.
 45. Musálem S., M. A. Y Fierros G., A. M. (1979). *Viveros y Plantaciones Forestales*. Departamento de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
 46. Millán, G.A., Vázquez F., Lombardi Mabel, Botto, Lia, Luciano, y Juan, Luciano. (2008). Uso de clinoptilolita como un vehículo de fertilizantes

- nitrogenados en un suelo de la región Pampeana de Argentina. *Ciencia e investigación agraria*, 35(3), 293-302. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202008000300007>
47. Montalvo S, Guerrero L, Borja R, Sánchez E, Milán Z. (2012) Application of natural zeolites in anaerobic digestion processes: A review. *Appl. Clay Sci.* 58:125-133.
48. Orozco Gutiérrez, Gabriela, Muñoz Flores, H. Jesús, Rueda Sánchez, Agustín, Sígala Rodríguez, José Ángel, Prieto Ruiz, José Ángel, & García Magaña, J. Jesús. (2010). Diagnóstico de la calidad de planta en los viveros de Colima. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 1(2), 135-146. Recuperado en 01 de octubre de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322010000200011&lng=es&tlng=es.
49. Pastor Sáez, J. (1999). Utilización de sustratos en viveros. *Terra Latinoamericana*, 17 (3), 231-235.
50. Nelson, P. (1998). Greenhouse operation and mangement. Prentice Hall, New Jersey. 637.
51. *Pinus pseudostrobus* Lindl. var *pseudostrobus*
<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/981Pinus%20pseudostrobus.pdf>. Recuperado el 30 de Septiembre 2017.
52. Pire, R., y Pereira, A. (2003). Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. Propuesta metodológica. *Bioagro*, 15 (1), 55-64.
53. Prieto R., J. A. (1986). *Estudio de algunos factores que afectan la producción de Pinus hartwegii Lindl. en vivero* (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México
54. Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos ProNAP (2014). Una metodología para la evaluación de sustratos para agricultura protegida. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1599.pdf>.
55. Ramírez- Lugo E.S. (2017). *Crecimiento, Producción de Biomasa y Rendimiento de Capsicum annum L., Cultivado en Sustrato de Zeolita y Aplicación de Nanopartículas de Fierro* (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

56. Randall, GW y DJ Mulla. (2001). Nitrate Nitrogen in surface waters as influenced by climatic conditions and agricultural practices. *J. Environ. Qual.* 30: 337-334.
57. Rautner, M., Leggett, M., y Davis, F. (2013). El pequeño libro de las grandes causas de la deforestación. Polonia: Opolgraf.
58. Reyes-Reyes, J., & Aldrete, A., & Cetina-Alcalá, V., & López-Upton, J. (2005). Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus var. Apulcensis* en sustratos a base de aserrín. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 11(2), 105-110.
59. Rodríguez, T., D.A.; Duryea, M.L. (2003). Indicadores de calidad de planta en *Pinus palustris* Mill. *Agrociencia* 37(3): 299-307.
60. Rodríguez, M.B. y Giberti. V. (2008). Aplicación conjunta de urea y zeolitas en un Hapludol típico bajo cultivo de trigo. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, San Luis .CD-R XXI.
61. Rodríguez T., D. A. (2008). Indicadores de calidad de planta forestal. *Mundi-Prensa*. México, D. F. 156 p.
62. Rubio Gutiérrez A.M. (2010). *La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales* (Tesis de licenciatura) Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola. Universidad de Sevilla. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla.
63. Salas, L. R. (2014). *Aplicación de Zeolitas en la propagación, aclimatación y reintroducción de cactáceas en dos zonas ecológicas en ecológicas del noreste de México* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Nuevo León: San Nicolás de los Garza, N.L.
64. SAGARPA. (2013). Zeolita Natural. *INIFAP* (19), 4-34.
65. Sandoval, A. Y Stuardo, A. 2000. Compost: una buena alternativa de sustrato. Notas del Centro Productor de Semillas de Árboles Forestales. *CESAF-Chile* No 13. Disponible en www.uchile.ci/facultades/cs_forestales/publicaciones/cesaf/n13/htm/
66. Smart L. and Moore E. (1995). "Química del estado sólido". México: Addison-Wesley Iberoamericana, S.A. Recuperado de http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/inorganica/profes/asp/apuntes/edo_sol.pdf.

67. Soca, Miguel, y Daza-Torres, M. Constanza. (2016). Evaluación de fracciones granulométricas y dosis de zeolita para la agricultura. *Agrociencia*, 50(8), 965-976. Recuperado en 13 de septiembre de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000800965&lng=es&tlng=es.
68. Soca M., Castellanos J. y Febles J. (2004). Efecto de la zeolita en la eficiencia de los fertilizantes químicos, fertilizantes y enmiendas de origen mineral. *Panorama Minero*; 14, 261-268.
69. Solís, J. N. (2000). Fundamentos de Edafología. San José, Costa Rica: EUED.
70. Vasqués-Vintilla C.P. y Yunca-Sarmiento J.C., (2008). *Efecto de 4 porcentajes de Zeolita como sustrato y dos métodos pregerminativos en diez especies forestales*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de Azuay, Cuenca, Ecuador.
71. Vela, G., López, J., & Rodríguez, M. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, 77, 18–30. Obtenido de http://www.igeograf.unam.mx/web/sigg/docs/pdfs/publicaciones/inves_geo/boletines/77/bltn77_art_b.pdf
72. Villavicencio, C., Molina, A. y Fernández L. (2009). Estudio de la adsorción de aniones sobre zeolitas sintéticas modificadas con surfactantes. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, Vol. 24, (3) pp. 95-107.
73. Virta, R. (1990). Zeolites. U.S. Geological Survey Minerals Yearbook. USA; section 84.
74. Walcarius, A., Barbaise T., Bessiere J. (1997). *Analytica Chimica Acta*. 340; pp. 61-76.