



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO FORESTAL

INFLUENCIA DE LA ZANJA TRINCHERA EN EL ESTADO HÍDRICO
Y CRECIMIENTO EN REFORESTACIONES DEL ÁREA DE PEROTE, VER.

LUZ AMELIA SÁNCHEZ LANDERO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

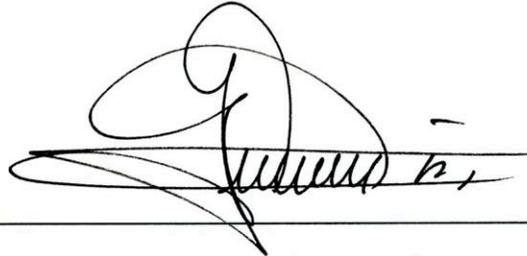
2008

La presente tesis titulada: **“Influencia de la zanja trinchera en el estado hídrico y crecimiento en reforestaciones del área de Perote, Ver.”**, realizada por la alumna: **Luz Amelia Sánchez Landero**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
FORESTAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



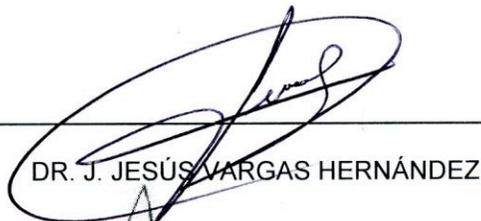
DR. ARMANDO GÓMEZ GUERRERO

ASESOR



DR. MARIO R. MARTÍNEZ MENES

ASESOR



DR. J. JESÚS VARGAS HERNÁNDEZ

ASESOR



M.C. JOSÉ LUIS ZÚÑIGA GONZÁLEZ

INFLUENCIA DE LA ZANJA TRINCHERA EN EL ESTADO HÍDRICO Y CRECIMIENTO EN REFORESTACIONES DEL ÁREA DE PEROTE, VER.

Luz Amelia Sánchez Landero, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2008

Se evaluó la influencia de la zanja trinchera o también llamada tinajas ciegas en términos del estado hídrico de la planta, humedad del suelo superficial y crecimiento de árboles en una reforestación de *Pinus oaxacana*, en el Cofre de Perote, Veracruz. Se seleccionaron dos sitios en campo, en donde los tratamientos fueron: reforestación asociada a zanja trinchera (ZT), reforestación con remoción previa de suelo (RS) y reforestación en cepa común (CC). Se establecieron 5 unidades experimentales por tratamiento con 12 plantas cada una. Se tomaron mediciones mensuales de potencial hídrico en plantas y contenidos volumétricos de humedad en dos profundidades (0 - 15 cm y 15 - 30 cm). Además, se instalaron sensores en los sitios para medir humedad relativa y temperatura. El análisis estadístico incluyó dos tipos de comparaciones. En la primera, se comparó la respuesta de los árboles establecidos sobre el bordo de la ZT contra los árboles establecidos en las interlíneas de la misma obra. La segunda comparación fue entre tratamientos dentro de cada sitio, considerando mediciones repetidas en el tiempo. Los resultados mostraron variación con respecto al tiempo. En relación a la primera comparación, los resultados indicaron que en julio las plantas sobre el bordo estuvieron más estresadas por humedad que en las interlíneas. En la época de seca, los tratamientos RS y CC mostraron mejor estado hídrico. En la segunda comparación, se encontraron diferencias significativas del estado hídrico entre tratamientos, siendo RS el tratamiento más hidratado en los meses de marzo y abril y el de ZT en el mes de noviembre. En el sitio uno, el crecimiento en altura fue mayor en las interlíneas de ZT, mientras que, en el sitio dos RS mostró mejores incrementos en altura. En ambos sitios el crecimiento en diámetro fue mayor en RS. La obra de ZT mostró menor supervivencia para los tratamientos RS y CC.

Palabras clave: potencial hídrico, conservación de suelos, crecimiento arbóreo, *Pinus oaxacana*.

INFLUENCE OF HILLSIDE DITCHES IN WATER STATUS AND TREE GROWTH IN A REFORESTATION FOR PEROTE, VER.

Luz Amelia Sánchez Landero, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2008

The influence of hillside ditches in terms of plant water status, soil surface water content and tree growth in a *Pinus oaxacana* reforestation was evaluated in Cofre de Perote, Veracruz. Two sites were selected in field where the treatments were: hillside ditches (ZT), soil mechanical removal (RS) and the traditional method of reforestation (CC). There were 5 experimental units per treatment including 12 plants. Monthly plant water potential measurements were performed and volumetric soil water contents at two soil depths (0 - 15 cm and 15 - 30 cm). Additionally, data loggers were used to measure air relative humidity and temperature. The statistical analysis included two types of comparisons. In the first one the response of trees planted on the berms of ZT against trees planted on the inter-lines of ZT were compared. The second comparison was among treatments in each site considering time repeated measurements. Results showed strong variation over time. Regarding the first comparison, results indicated that in July trees on the berms were more water stressed. In the dry season RS and CC treatments had better water status. For the second comparison significant differences in plant water status among treatments were found with RS being the treatment with the best water status in March and April and ZT with better water status in November. In site one tree growth in height was higher in the inter-lines of ZT while RS had higher growth in height in site two. In both sites tree growth in diameter was higher in RS. Treatment ZT had lower plant survival than RS and CC.

Key words: *Plant water potential, soil conservation, tree growth, Pinus oaxacana.*

DEDICATORIA

A Dios, por estar presente en mi vida aun cuando yo no siempre lo recuerdo, por esta oportunidad y por todas las maravillosas bendiciones con las que ha llenado mi vida.

A mi papá Porfirio Sánchez Galván (†) a quien aun después de faltar recordamos con mucho cariño y amor y a quien un día prometí esforzarme para ser mejor, no olvido tus consejos ni nuestro acuerdo.

A mi mamá Linda Landero Morales, por tu cariño, apoyo, sacrificio, entrega y amor a nosotros tus hijos, por ser linda así como tu nombre mami. Te quiero con todo mi corazón.

A mis hermanos Gabriel y Beto, por su apoyo, cariño y por ser los buenos hijos y hermanos que Dios me regaló. Estoy orgullosa de ustedes, aun cuando en ocasiones no han valorado lo que han tenido. No se coman la vida rápido, disfrútenla y luchen por sus sueños y por ser mejores cada día. No olviden que los quiero y los apoyaré siempre.

A mi sobrina Grecia Rebeca, por ser el pedacito pequeño de la familia que nos alegra con su presencia.

A mis tíos Gerardo y María del Carmen, así como a mis primas Janelys y Jenny, por su apoyo, por el cariño y por estar siempre pendientes de mí.

A mi Abuelito Alfonso (†) y mi abuelita Ely, así como a mis tíos: Maleno, Claudia y Ely y mis primos Alfonso y Alejandro, por su cariño y ánimos.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados (CP), campus Montecillo, por la oportunidad de realizar esta meta en mi vida, en especial a los Postgrados Forestal e Hidrociencias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo para realizar mis estudios de Maestría.

A los Profesores del Colegio, por compartirme sus conocimientos y enseñanzas. En especial al **Dr. Armando Gómez Guerrero**, mi maestro quien me dedicó tiempo, esfuerzo y paciencia. Gracias por sus sabios consejos, este triunfo también es de usted.

Al Personal de la Biblioteca y Secretarías del Postgrado Forestal del Colegio, por el apoyo y las facilidades otorgadas.

A los M. C. José Luis Zúñiga González y Gaudencio Benítez Molina, por la amistad y el apoyo brindado al proyecto de investigación de ésta tesis, a través de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).

A Julio, por haberme apoyado en su momento y animarme a dar el primer paso para llegar al Colegio. Gracias amigo por el apoyo y el cariño, así como los momentos compartidos.

A Iram, por el apoyo, los ánimos, el cariño, el tiempo y los momentos que compartimos juntos.

A mis amigos: Maru, Lupita, Yanet, Sofía, Ana Lilia, Isaac, Paco Ramírez, Edith, Alfredo, Julais, Jorge Alejandro, Anell, Alejandro del Pino, Alejandro Guerrero, Sra. Norma e Ing. Ángel, Itzela, Luis Alfredo, Luis Fernando Rosendo, Reyna, Mónica, Matías e Ing. Mota, gracias queridos amigos por la amistad, el apoyo y el cariño. Ustedes estarán siempre en mi corazón.

A mis queridos amigos del Colegio: Ramón, Rodrigo, Claudia, Raúl, Ana Laura, Carlitos, Dr. Águila, Paco Toledo, Carolina, Araceli, Ahmed, Jorge Antonio y Filemón. Ustedes me dieron grandes momentos y alegrías. En especial **Ramón;** gracias por tú cariño, paciencia, amistad y por todos los lindos y gratos momentos que compartimos juntos siempre serás mi mejor amigo. Te quiero Gordis.

A Mireya y Carlos, por hacerme sentir como en familia, por su hospitalidad, amabilidad, cariño y sobre todo su amistad. Gracias por los bellos momentos compartidos.

A mis tías: Munis, Luchi, Concha, América, Cristy, Hilda, Lulú, China y Martha, por estar pendientes de mi siempre.

Al ejido Justo Sierra, Municipio de Perote, Ver. En especial a los señores **Delfino y Manuel;** por el apoyo, la ayuda y las facilidades para realizar el experimento de ésta tesis.

Y a todas aquellas personas que por ahora se me escapan de la mente, pero que han formado parte de mi vida y que han hecho un poco de lo que hoy soy.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos particulares	3
2.3. Hipótesis.....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 Generalidades de la deforestación y reforestación	4
3.2 Relación agua – suelo – planta – atmósfera	5
3.3 Potencial hídrico en plantas.....	7
3.4 La zanja trinchera como práctica para captación de agua y la conservación de suelos....	8
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	13
4.1 Localización y descripción del área de estudio	13
4.2 Tratamientos	17
4.3 Variables evaluadas	22
4.4 Análisis estadístico de la información	27
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
5.1 Temperatura y humedad relativa	28
5.2 Precipitación	29
5.3 Humedad del suelo.....	31
5.4 Potencial hídrico en plantas.....	38
5.6 Incremento en diámetro y altura de las plantas.....	46

5.5 Supervivencia en plantas.....	49
VI. CONCLUSIONES.....	51
VII. RECOMENDACIONES.....	52
VIII LITERATURA CITADA	53

LISTA DE CUADROS

Cuadro 4.1. Características generales de los suelos, sitios 1 y 2 del área de estudio.....	14
Cuadro 5.1. Comparación de medias entre el grupo de árboles establecidos sobre el bordo y los establecidos en las interlineas de las zanjas trinchera en el sitio uno.....	32
Cuadro 5.2. Comparación de medias entre el grupo de árboles establecidos sobre el bordo y los establecidos en las interlineas de las zanjas trinchera, en el sitio dos.....	32
Cuadro 5.3. Significancia estadística para el tiempo e interacción tiempo por tratamiento en el sitio uno.....	33
Cuadro 5.4. Significancia estadística para el tiempo e interacción tiempo por tratamiento para el sitio dos.....	34
Cuadro 5.5. Separación de medias, mediante el procedimiento de Duncan para los tratamientos del sitio uno.....	35
Cuadro 5.6 Separación de medias, mediante el procedimiento de Duncan para los tratamientos del sitio dos.....	36
Cuadro 5.7. Matriz de correlación de variables observadas.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Zanja trinchera acompañada de reforestación.	12
Figura 4.1. Localización de los sitios de estudio.....	16
Figura 4.2. Tratamiento zanja trinchera (ZT).	17
Figura 4.3. Unidad experimental del tratamiento zanja trinchera (ZT).	18
Figura 4.4. Unidad experimental de tratamiento remoción de suelo (RS).....	19
Figura 4.5. Unidad experimental de cepa común (CC).....	20
Figura 4.6. Vista de las zanjas trinchera en el sitio uno.....	21
Figura 4.7. Vista de las zanjas trinchera en el sitio dos.....	22
Figura 4.8. Dataloggers instalados en campo.	23
Figura 4.9. Mediciones de contenido de humedad del suelo para el tratamiento ZT.	24
Figura 4.10. Mediciones de humedad del suelo para los tratamientos RS y CC.....	24
Figura 4.11. Bomba de presión utilizada para medir potencial hídrico en plantas.	26
Figura 4.12. Diámetro y altura de las plantas.	26
Figura 5.1. Temperatura y humedad relativa para los sitios 1 y 2.	28
Figura 5.2. Precipitación acumulada.	29
Figura 5.3. Precipitación mensual ciclo 2007.	30
Figura 5.4. Precipitación diaria ciclo 2007.	31
Figura 5.5 Humedad en el suelo, sitio uno; profundidad de 0 – 15 cm.....	37
Figura 5.6 Humedad en el suelo, sitio dos; profundidad de 0-15 cm.....	37
Figura 5.7 Humedad en el suelo, sitio uno; profundidad de 15 – 30 cm.....	38
Figura 5.8 Humedad en el suelo, sitio dos; profundidad de 15 – 30 cm.....	38
Figura 5.9 Potencial hídrico, sitio uno.....	42
Figura 5.10 Potencial hídrico, sitio dos.....	42
Figura 5.11 Potenciales hídricos y déficit de presión de vapor.	42

Figura 5.12. Relación humedad del suelo – potencial hídrico, sitio uno.	43
Figura 5.13. Relación humedad del suelo – potencial hídrico, sitio dos.....	44
Figura 5.14. Altura de las plantas en el sitio uno.....	49
Figura 5.15. Altura de las plantas en el sitio dos.....	49
Figura 5.16. Diámetro de las plantas en el sitio uno.....	50
Figura 5.17. Diámetro de las plantas en el sitio dos.....	50
Figura 5.18. Supervivencia.....	50

I. INTRODUCCIÓN

El agua, el suelo y los bosques son patrimonio de los mexicanos y la necesidad de su conservación es reconocida a nivel local, nacional e internacional. El cuidado de los suelos forestales es una acción prioritaria para garantizar su sustentabilidad, y la provisión de bienes y servicios (CONAFOR, 2004). El programa estratégico forestal 2025 (CONAFOR, 2003) contempla líneas de acción específicas para la protección, conservación, recuperación y manejo de suelos forestales.

El Cofre de Perote es un ecosistema forestal considerado dentro de las 60 montañas prioritarias de México, donde los trabajos de protección al suelo son indispensables para su conservación. El área ocupa una superficie total de 11,700 ha de parque nacional y 6,209 de ellas pertenecen a ejidos. Abarca los municipios de Perote, Xico, Coatepec y Ayahualulco, en el estado de Veracruz (Arriaga *et al.*, 2000).

La reforestación combinada con prácticas de conservación de suelos (PCS) ha cobrado importancia en los últimos años. A partir de la creación de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en 2001, la región de Cofre de Perote ha recibido apoyos para realizar reforestaciones asociadas a prácticas de suelos. Con la creación del departamento de Suelos Forestales en la CONAFOR, se da mayor impulso a las reforestaciones asociadas a PCS. En la región Cofre de Perote se han cubierto 6,289 ha, de las cuales, 3,021 ha corresponden al municipio de Perote con diversas PCS (CONAFOR, 2004, 2005, 2006 y 2007).

Se estima que el 80% de los suelos del país se encuentran bajo diferentes grados de erosión, por lo que este dato sugiere una fuerte necesidad de conocer la eficiencia de las prácticas de conservación de suelo en México (CP-SARH 1991; CONAFOR, 2004). Las inversiones en reforestaciones y PCS a nivel local han sido importantes. Por ejemplo, en la región Cofre de Perote la inversión de los años 2004 - 2007 es de 11.3 millones de pesos y de esta, 5.2 millones de pesos corresponden al municipio de Perote con una superficie de 3,021 hectáreas. La práctica más común en

la región de Cofre de Perote es la zanja trinchera combinada con reforestación (CONAFOR, 2004,2005, 2006 y 2007).

A pesar de que ya se han establecido reforestaciones asociadas a PCS por seis años en la región de Cofre de Perote, no se han realizado evaluaciones de este tipo de prácticas y por lo tanto, los planeadores forestales no cuentan con información sobre las experiencias de reforestación para garantizar mejores resultados en el corto plazo. Este trabajo contribuye a subsanar esa deficiencia de información de campo para conocer con más certeza la efectividad de las prácticas que se han venido realizando en el Cofre de Perote. Con esta finalidad se propuso el estudio, para evaluar el efecto de la zanja trinchera (ZT) en términos del estado hídrico y crecimiento de las reforestaciones en la región del Cofre de Perote, Veracruz.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo general

Analizar la eficiencia de las zanjas trinchera (ZT) en términos del estado hídrico y crecimiento de las reforestaciones en un área del Cofre de Perote, Veracruz.

2.2 Objetivos particulares

- Generar información básica relacionada con las obras de zanjas trinchera (ZT) en la Región Cofre de Perote.
- Estudiar la importancia de las zanjas trinchera (ZT) como obra para la conservación de suelos.
- Proporcionar información que ayude a realizar una mejor planeación para el establecimiento de obras de conservación de suelos en la región de estudio.

2.3. Hipótesis

- I. Los árboles plantados sobre el bordo de un sistema de zanjas trinchera presentan mayor potencial hídrico y crecimiento que los árboles establecidos en las interlíneas de las obras de zanja trinchera. Asimismo, la humedad del suelo es mayor en el bordo de la zanja que en las interlíneas.
- II. Los árboles establecidos en un sistema de zanjas trinchera, ya sea sobre el bordo o en interlíneas de la zanja trinchera, presentan mejor estado hídrico y crecimiento que los árboles establecidos con otras prácticas, como la previa remoción de suelo o la plantación tradicional mediante el método de cepa común. Así mismo, la humedad del suelo es mayor en la zanja trinchera que en el resto de los tratamientos.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Generalidades de la deforestación y reforestación

La reforestación es una práctica para repoblar con arboles zonas que en el pasado estaban cubiertas de bosques en la cuales el suelo se mantenía estable con relación al proceso de erosión. Las razones de la deforestación son diversas; por ejemplo, clandestinaje, aprovechamientos sin plan de manejo, planes de manejo mal ejecutados, ampliación de las fronteras agrícola y urbana, y siniestros causados por el hombre como los incendios (SARH 1983, Vallauri *et al.*, 2002).

Durante los últimos años el hombre ha ejercido una creciente presión sobre la naturaleza, provocando el deterioro de áreas forestales. Ante esta situación, es urgente la utilización de los recursos naturales en forma sustentable (Becerra, 1998). El deterioro de terrenos forestales puede conducir a la desertificación, que es un problema ecológico importante, principalmente por su relación con los problemas en el abasto de agua que se vislumbran en los países en desarrollo (Duarte, 1990). Con la pérdida de vegetación se deteriora la integridad de los ecosistemas y como consecuencia se da lugar a procesos degenerativos del medio biofísico que se resumen en la disminución de capacidad productiva del suelo. Con un medio biofísico deteriorado, las poblaciones que dependen de este se ven afectadas por disminución de bienes y servicios (Ortiz *et al.*, 1994).

Sadanandan y Brown (1997) señalan que las reforestaciones ejercen una influencia fuerte sobre el ciclo hidrológico en una cuenca. Los cambios más importantes son los escurrimientos superficiales, la producción de sedimentos, la evapotranspiración, la infiltración y la calidad de agua. Generalmente, las reforestaciones exitosas reflejan efectos sobre las tasas de escurrimientos máximos y sedimentos transportados en algunos casos a los dos años de establecimiento.

La reforestación es una herramienta importante para disminuir la erosión, controlar la escorrentía y mejorar las propiedades físicas del suelo que fueron alteradas por la deforestación (Barbera *et al.*, 2005). En los trópicos húmedos donde se ha talado indiscriminadamente el bosque, se ha llegado a un proceso de degradación de los suelos tan avanzado que es difícil que las reforestaciones conduzcan a la recuperación de las condiciones hidrológicas originales (Hamilton y King, 1983).

3.2 Relación agua – suelo – planta – atmósfera

El movimiento del agua a través del sistema suelo – planta – atmósfera se comprende mejor cuando se considera como una serie de procesos interdependientes. Por ejemplo, la tasa de absorción de agua está afectada tanto por la tasa de pérdida como por la del movimiento de ésta a través del suelo y la zona de la raíz. La tasa de la transpiración depende no solo de la apertura de estomas y de factores atmosféricos que afecten la evaporación; también depende de la tasa de absorción del agua (Kramer, 1983). El agua en el suelo y las plantas se considera como una fase continua hasta llegar a los estomas donde la demanda de agua por la atmósfera depende de las condiciones del ambiente.

La cantidad de agua retenida en el suelo está determinada, fundamentalmente, por su textura, el contenido de materia orgánica y la estructura o arreglo de agregados. Cercano a la fase sólida del suelo se desarrolla un potencial hídrico cuya magnitud depende de la superficie específica (potencial mátrico). Los procesos que influyen en el balance de agua en el suelo son la evapotranspiración, la infiltración, el escurrimiento superficial y la entrada artificial de agua a través del riego (Aguilera y Martínez, 1996). El agua del suelo está sometida a varias fuerzas, entre las que destacan la gravitacional, la adsorción y las fuerzas de atracción entre moléculas de agua (Jury *et al.*, 1991)

En términos de energía, el suelo se considera seco cuando el agua está retenida con una tensión mayor a -1.5 MPa, ya que a dicha tensión el agua está menos

disponible para la planta (Jaramillo, 2002). Entre un suelo saturado y un suelo seco, existe una variación considerable de tensión de agua o potencial hídrico. El sistema suelo-agua es complejo debido a que la superficie específica del suelo varía con la textura y no hay una relación lineal entre la capacidad de retención de agua del suelo y su textura (Dorant *et al.*, 2000). El tamaño de los poros del suelo influye sobre el potencial de agua. Cuando los poros ocupados con agua son de 15 μm o menos, el agua del suelo está poco disponible para las plantas (Jury *et al.*, 1991). Jaramillo (2002) considera que cuando la macroporosidad (poros mayores a 50 μm) es menor del 10 %, se restringe la proliferación de raíces.

Gran parte de los procesos de crecimiento y desarrollo que se llevan a cabo en las plantas, así como las actividades metabólicas que éstas realizan, están relacionados directa o indirectamente con el abastecimiento de agua, lo que hace que el agua sea un factor importante para dichos procesos (Kramer, 1983). El agua puede entrar a las plantas a través de las hojas, los tallos, las raíces o las estructuras reproductoras, pero la mayor parte del agua absorbida por las plantas terrestres penetra por la raíz. En particular, los pelos absorbentes representan una superficie importante de absorción, la cual está en estrecho contacto con las partículas finas del suelo (arcillas) (Aguilera y Martínez, 1996). Las plantas pueden usar agua retenida en el suelo eficientemente a tensiones entre 0.1 y 1.5 MPa, intervalo de humedad conocido como agua disponible (Donahue *et al.*, 1981). No obstante, muchas especies forestales de medios áridos y semiáridos se adaptan a potenciales más negativos de -1.5 MPa (Kramer, 1983).

Después de que el agua es absorbida por la raíz, ésta entra al xilema y se mueve longitudinalmente a través de varias raíces hasta la base del tallo; finalmente, se distribuye a todo el follaje de la planta, a través del xilema y en el tallo y ramas, para posteriormente evaporarse desde el mesófilo de las hojas, a través de los estomas (Kramer, 1983).

Ritcher (1976) menciona que para realizar la transpiración, las plantas deben emplear fuerzas de movimiento de agua en tensiones o a presiones negativas en el xilema, creadas por la evaporación del agua que se realiza en la pared celular debido a las fuerzas mátricas que ahí se producen, ocasionadas por los cambios de presión que ocurren en el ambiente.

Los equipos basados en la presión son ampliamente usados para medir el estado de agua en las plantas y existen diferentes instrumentos portátiles para su evaluación, en los cuales se utilizan las hojas, raíces o tallos; estos instrumentos proveen información acerca de los componentes del potencial del agua en la planta (Boyer, 1995). Estos aparatos generan mediciones instantáneas pero un plan de muestreo a través del tiempo da idea de los efectos de un determinado tratamiento sobre el estado hídrico de las plantas.

3.3 Potencial hídrico en plantas

El estrés hídrico elevado (muy negativo) que experimentan las plantas en campo, es uno de los factores más limitantes para la rehabilitación de ecosistemas y para la reforestación exitosa en algunas zonas (Vallejo *et al.*, 2000).

En el sistema suelo – planta – atmósfera, el potencial hídrico puede medirse en varios puntos a lo largo de la ruta de movimiento del agua desde el suelo a través de la planta hasta la atmósfera (Sholander *et al.*, 1965).

Conocer el potencial hídrico que presenta una planta ayuda a comprender el estado en el que se encuentra con respecto a sus necesidades de agua, ya que ésta constantemente necesita un suministro de agua para su desarrollo y crecimiento. Estos procesos se ven afectados en las épocas de sequía, ya que la tasa de transpiración aumenta y disminuye la tasa de movimiento de agua (Donahue *et al.*, 1981). Adicionalmente, las prácticas al suelo pueden dar lugar a diferentes condiciones de potencial hídrico en suelos y plantas.

Según Ferreyra *et al.* (2002), el potencial hídrico del xilema medido a mediodía es un indicador adecuado del estado hídrico de las plantas, y puede ser útil para controlar el estrés hídrico. Este es un indicador indirecto de la eficiencia de contacto entre la raíz y el suelo, ya que un buen sistema radical promueve mayor superficie de contacto entre el suelo y la raíz (Hacke *et al.*, 2001).

Sholander *et al.* (1965), reportan una cámara portátil que mide los potenciales de agua en las plantas y se puede utilizar en sitios experimentales y así tener la condición de la hoja en tiempo y ésta no sea alterada al momento de su muestreo. Esto es importante, ya que según Vargas *et al.* (1986), es común observar una reducción en la relación parte aérea/raíz como resultado del déficit hídrico en las plantas. Esto se interpreta como un mecanismo de la planta para tolerar las condiciones de sequía al tratar de mantener un equilibrio más favorable entre la capacidad de absorción de agua y la demanda transpiratoria, y al conocer el potencial hídrico en la plantas se puede actuar de manera inmediata para contrarrestar este efecto.

3.4 La zanja trinchera como práctica para captación de agua y la conservación de suelos

La conservación de suelos es una práctica basada en el conocimiento científico y tiene como finalidad mantener o aumentar la productividad de los terrenos mediante prácticas mecánicas, vegetativas y agronómicas (Dorant *et al.*, 2000). Para conservar el suelo, la presencia de vegetación es importante. La cubierta vegetal favorece la protección al suelo, al disminuir la energía de impacto ocasionado por las gotas de lluvia, aumentar la tasa de infiltración y reducir los escurrimientos superficiales (CP-SARH, 1991).

Es de suma importancia restaurar las áreas de bosque que han sido deforestadas, restableciendo en ellas cobertura vegetal, ya que estas áreas generan diversos servicios ambientales entre los cuales destacan los hidrológicos, captura de carbono y belleza escénica (Vallauri *et al.*, 2002). Algunos terrenos requieren

acondicionamiento, a fin de garantizar la supervivencia de los brinzales. Esta labor es costosa y está en función de factores topográficos y las condiciones del suelo. Para garantizar el éxito de una reforestación es necesario implementar prácticas, a fin de promover la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo, de tal forma que las plantas puedan usar el agua almacenada en la época seca. Algunas prácticas muy básicas son las terrazas individuales en las que se hace remoción del suelo, zanjas bordo y zanja trinchera; con las cuales se promueve la captación de agua de lluvia (Espelta *et al.*, 2002).

Las zanjas trinchera son excavaciones que se realizan a mano, siguiendo la curva de nivel, cuyo objetivo principal es captar agua de lluvia y disminuir los escurrimientos superficiales; con esto se busca recargar los mantos acuíferos y la retención de azolves. Se realizan en sentido perpendicular a la pendiente principal, con el propósito de interceptar la escorrentía y propiciar su infiltración en el terreno. Con el material de excavación se construye un bordo aguas abajo de la zanja para aumentar su capacidad de almacenamiento, el cual se protege con pasto o árboles (Becerra, 1999).

Pimentel (1987) especifica que no es viable la construcción de zanjas trinchera en pendientes mayores a 50° ; ya que a mayor pendiente, se reduce la distancia horizontal entre las zanjas para incrementar la densidad de estas y satisfacer las necesidades de mayor control hidrológico. Así mismo, recomienda que el bordo se inicie unos 30 cm aguas abajo de la orilla de las zanjas trinchera, para retardar su azolvamiento y prolongar su vida útil, y que el control de nivelación final se realice en el fondo y extremo de la excavación para lograr mayor precisión.

Eguiluz (1983) sostiene que antes de iniciar una reforestación es necesario un reconocimiento general del terreno, considerando el tipo de suelo, drenaje, cubierta vegetal y vías de acceso; con ello, se pueden programar las actividades y definir los factores, de los cuales considera depende principalmente el éxito de las

reforestaciones. En suelos pobres y de mala calidad, se espera un crecimiento lento y un porcentaje de fallas, por lo que la plantación debe hacerse más densa, a fin de compensar los inconvenientes (SARH, 1983).

Orozco (1993) realizó una evaluación de reforestaciones con zanja trinchera en el parque nacional “El Tepeyac”, encontrando que esta combinación garantiza obtener índices exitosos de supervivencia en reforestaciones, después de la primera época de sequía y de incendios, así como lograr mayores tamaños de planta en el mismo lapso de tiempo.

Sánchez (1994) reporta que en una evaluación de 1984 – 1985 que se hizo en la cuenca Regaderas – Viborillas (zona del Ajusco del Valle de México) sobre la eficiencia de las zanjas trinchera, se captaron 874,630.87 m³ de agua de un total de 962,273.89 m³ lo que muestra que esta práctica presentó una eficiencia mayor de 90% en la retención de escurrimientos.

Los cálculos para el establecimiento de zanjas trinchera según (CP-SARH, 1991), son los siguientes:

- Calcular la pendiente media del terreno
- Calcular el espaciamiento entre bordos y determinar las dimensiones de la zanja y bordo, para lo cual se utilizan las siguientes fórmulas:

$$IV = \left(2 + \frac{P}{3 \sigma' 4} \right) (0.305) \quad (1)$$

Donde:

IV = Intervalo vertical (en m);

P = Pendiente del terreno (%);

3 = Factor que se utiliza en áreas donde la lluvia anual es menor de 1200 mm

4 = Factor que se utiliza en áreas donde la lluvia anual es mayor de 1200 mm; y

0.305 = Factor de conversión de pies a metros

En el caso de utilizar el Intervalo Horizontal (IH) en lugar del Intervalo Vertical (IV) se emplea la relación siguiente:

$$IH = \frac{IV}{S} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

IH = Intervalo horizontal (en m)

S = Pendiente del terreno (%)

Las zanjas se construyen en forma discontinua sobre una curva a nivel, pero debe procurarse que la proyección de un tramo de zanja coincida con un tramo ciego de la siguiente curva.

A pesar de que hay un procedimiento técnico para el diseño y calculo de las zanjas trinchera en cada localidad, la CONAFOR, para fines prácticos de sus programas de apoyo, define el sistema zanja trinchera como excavaciones en curvas de nivel de 0.4 m de ancho x 0.4 m de profundidad y 2 m de longitud, en promedio, trazadas a tres bolillo. La tierra extraída se coloca aguas abajo y se realizan cerca de 250 piezas por ha. Colocándose en los bordes extremos una especie forestal así como entre hileras de ésta.



Figura 3.1. Zanja trinchera acompañada de reforestación.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización y descripción del área de estudio

El estudio se realizó en una ladera del Cofre de Perote, aproximadamente a 4 km al Sureste de la ciudad de Perote, Veracruz, en terrenos del Ejido Justo Sierra (Figura 4.1). Para establecer el experimento se seleccionaron dos sitios separados a 8 km uno de otro. Ambos sitios presentan condiciones meteorológicas similares. Los suelos se identifican como Andosoles Mólicos, según la clasificación de FAO (1998). Son suelos originados a partir de material volcánico, con una capa superficial oscura, textura gruesa, con nivel moderado de fertilidad, buen contenido de materia orgánica y buen drenaje. Con el método gravimétrico de muestras inalteradas tomadas en campo, se obtuvieron valores de densidad aparente que oscilaron entre 0.73 gr cm^{-3} en el sitio uno y 0.72 gr cm^{-3} en el sitio dos; estos valores son bajos y corresponden a suelos derivados de cenizas volcánicas. Estos suelos, aunque presentan alta capacidad de retención de humedad, son susceptibles a daño físico y erosión como consecuencia de un mal manejo. La clase textural a la que pertenecen éstos suelos es migajón arenosa. El Cuadro 1 resume los resultados del análisis de laboratorio para el suelo superficial, con datos generados a partir de una muestra compuesta para cada profundidad.

Cuadro 4.1. Características generales de los suelos, sitios 1 y 2 del área de estudio.

SITIO	PROFUNDIDAD	VARIABLE	RESULTADO
1	0 - 15 cm	pH (01:02)	5.7
		CE (01:05) dS/m	0.96
		CIC (meq/100)	11
		Ca (Cmol/Kg ⁻¹)	7.58
		K (Cmol/Kg-1)	1.34
		Mg (Cmol/Kg-1)	2.69
		Na (Cmol/Kg-1)	0.21
		MO (%)	4.42
		CC (%)	24.4
		PMP (%)	15.2
	15 - 30 cm	pH (01:02)	5.9
		CE (01:05) dS/m	0.57
		CIC (meq/100)	8.8
		Ca (Cmol/Kg ⁻¹)	5.66
K (Cmol/Kg-1)		1.62	
Mg (Cmol/Kg-1)		2.59	
Na (Cmol/Kg-1)		0.35	
MO (%)		4.05	
CC (%)	21.1		
PMP (%)	15.7		
2	0 - 15 cm	pH (01:02)	6.75
		CE (01:05) dS/m	0.88
		CIC (meq/100)	8.53
		Ca (Cmol/Kg ⁻¹)	10.7
		K (Cmol/Kg-1)	1.26
		Mg (Cmol/Kg-1)	2.69
		Na (Cmol/Kg-1)	0.17
		MO (%)	4.42
		CC (%)	19.8
		PMP (%)	13
	15 - 30 cm	pH (01:02)	6.98
		CE (01:05) dS/m	0.7
		CIC (meq/100)	8.27
		Ca (Cmol/Kg ⁻¹)	8.16
K (Cmol/Kg-1)		1.31	
Mg (Cmol/Kg-1)		2.69	
Na (Cmol/Kg-1)		0.21	
MO (%)		3.74	
CC (%)	19.8		
PMP (%)	12		

El sitio uno se ubica en el paraje “El Camello” con coordenadas 19° 31’ 45.7” latitud Norte y 97° 14’ 24.7” de longitud Oeste, tiene una pendiente de 25% y se encuentra a una altitud de 2,551 m. El sitio dos se ubica en el paraje “El Viborero” con

coordenadas 19° 31' 16.7" latitud Norte y 97° 14' 58.2" longitud Oeste, tiene una pendiente de 22% y una altitud de 2,547 m. El clima, según la clasificación de Koppen modificada por García (1973), es del tipo C(wo) para ambos sitios; este clima es característico de la mayor parte de las montañas del centro y sur del país; además de ser el más seco de todos los sub húmedos del rango C.

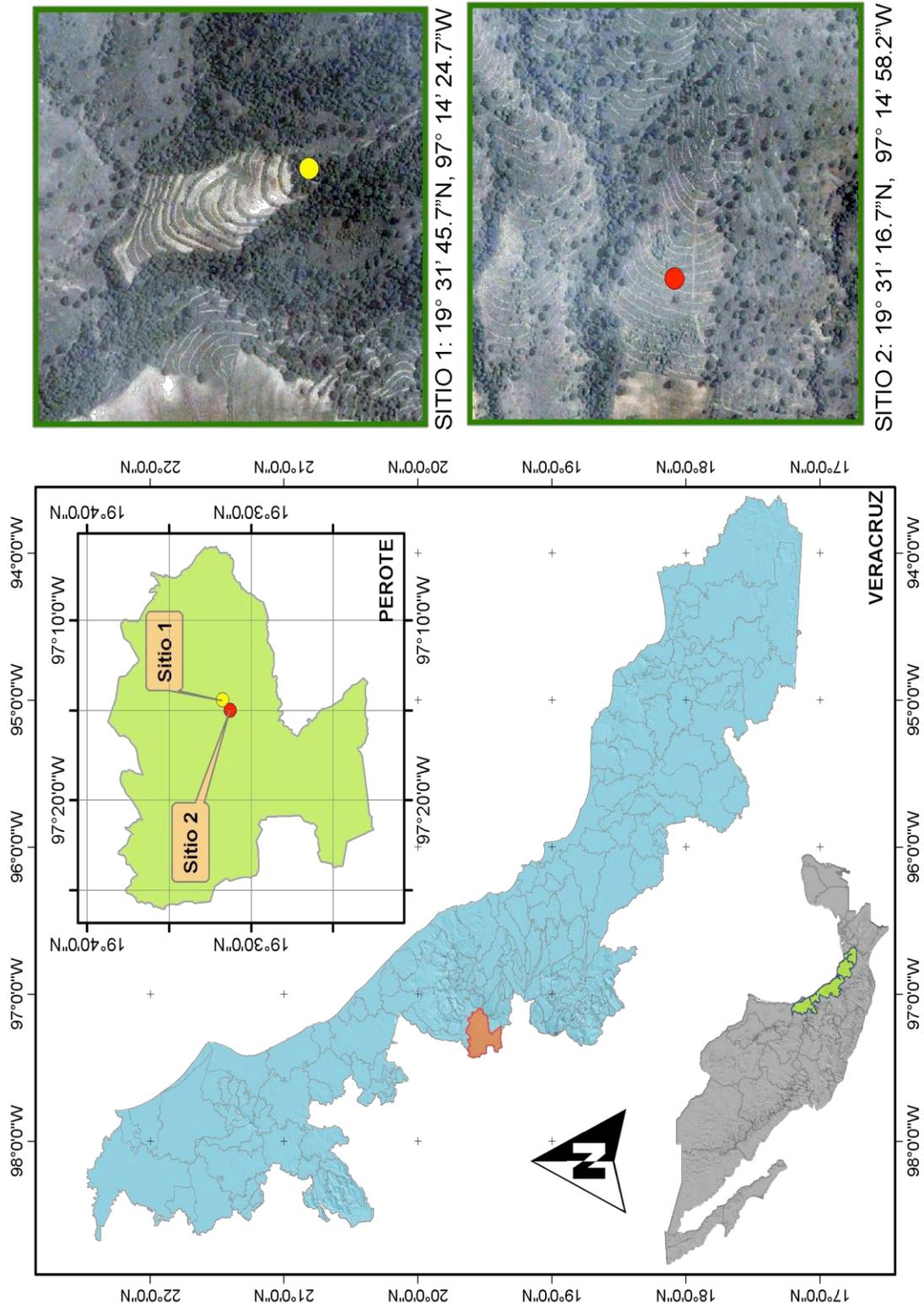


Figura 4.1. Localización de los sitios de estudio.

4.2 Tratamientos

Los tratamientos asociados en este estudio fueron diferentes para cada sitio. En el sitio uno, los tratamientos se establecieron de la siguiente manera:

Tratamiento uno: Zanja trinchera asociada con reforestación (ZT). Este tratamiento consistió en la obra misma de ZT asociada con reforestación pero plantando los árboles en los extremos del bordo de la obra y en las interlineas de las zanjas a espacio de 4 m con respecto a la planta colocada en el bordo. La distancia entre planta y planta fue de 2.5 m en las interlineas, con una distribución a tres bolillo, al igual que las zanjas trinchera. La distancia entre líneas de zanja fue de 8 m (Figura 4.2).

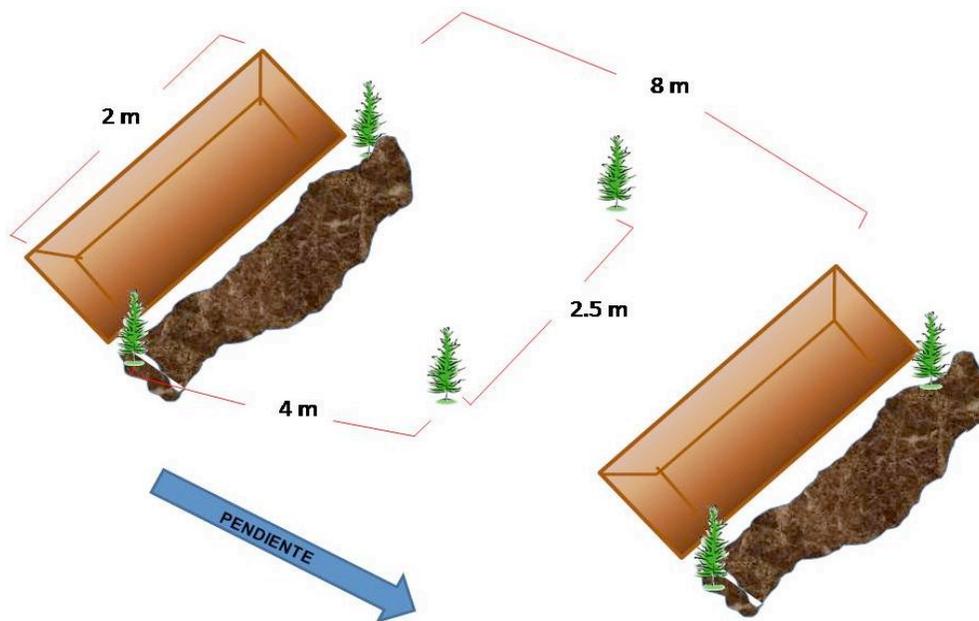


Figura 4.2. Tratamiento zanja trinchera (ZT).

Para definir una unidad experimental de este tratamiento, se delimitó una parcela de 17 x 20 m, con una superficie de 340 m². En la parcela definida se incluyeron tres zanjas, como se muestra (Figura 4.3):

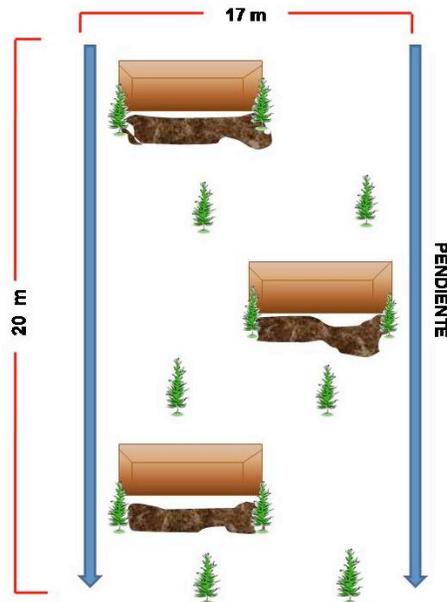


Figura 4.3. Unidad experimental del tratamiento zanja trinchera (ZT).

Cada unidad experimental contó con cinco repeticiones. Los árboles plantados dentro de la parcela quedaron a 2.5 m de árbol a árbol y 4 m entre hileras.

Tratamiento dos: Reforestación combinada con remoción de suelo (RS). En este tratamiento se realizó la reforestación ajustándose a las mismas distancias entre árboles e hileras del tratamiento uno (2.5 x 4 m), pero con la diferencia que no existía obra de zanja y el suelo se removió en un círculo de 50 cm de diámetro y 35 cm de profundidad, previo a la plantación de los árboles. La unidad experimental también fue de 17 x 20 m, con una superficie de 340 m². La Figura 4.4 describe la distribución de planta de este tratamiento.

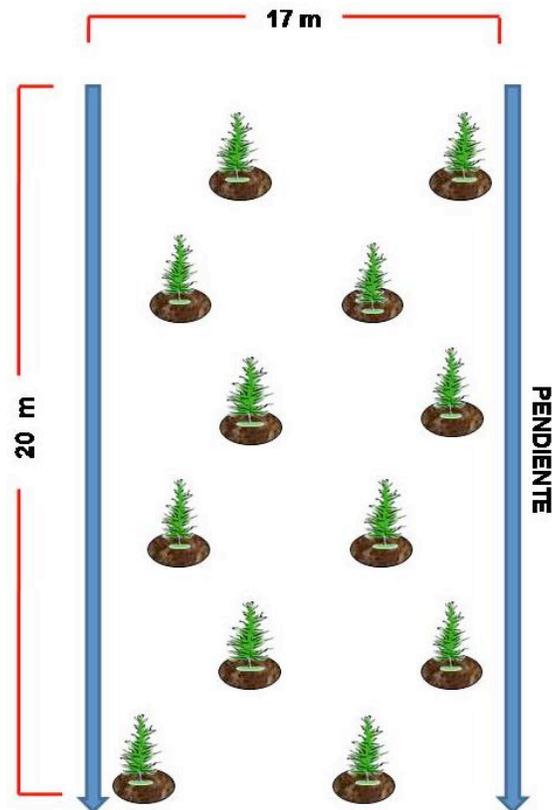


Figura 4.4. Unidad experimental de tratamiento remoción de suelo (RS).

Tratamiento tres: Reforestación (CC). En este caso la plantación se hizo mediante cepa común. Es decir, sólo se hizo una excavación de 20 x 20 x 20 cm, debido a que este es el procedimiento común con el que se realizan las reforestaciones de CONAFOR; éste tratamiento se consideró como el testigo. La unidad experimental fue de 17 x 20 m, con una superficie de 340 m². La Figura 4.5 describe la distribución de planta de este tratamiento.

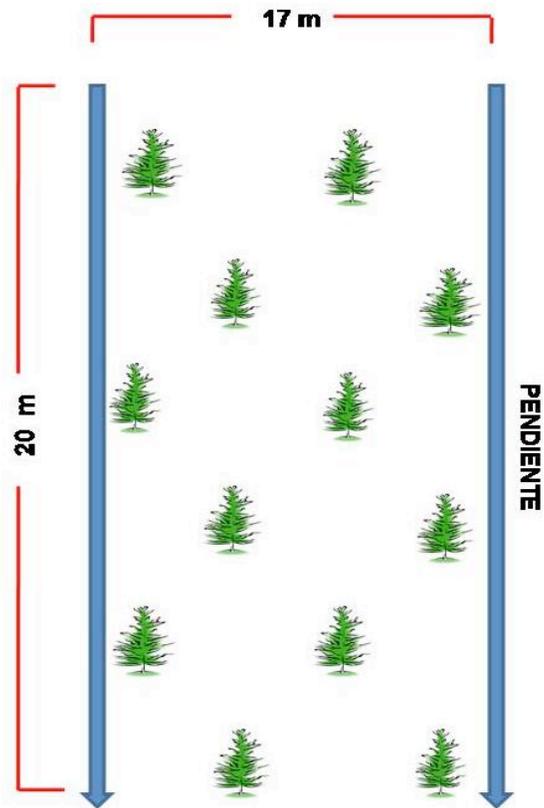


Figura 4.5. Unidad experimental de cepa común (CC).

Todas las unidades experimentales constaron de 12 plantas y el número de repeticiones fue de cinco para cada tratamiento. En el sitio uno la reforestación y la obra de ZT se realizó en 2006 con apoyo de los programas de CONAFOR y siguiendo las especificaciones técnicas de dicha institución (Figura 4.6).



Figura 4.6. Vista de las zanjas trincheras en el sitio uno.

En el sitio dos los tratamientos evaluados fueron:

Tratamiento uno: Zanja trincheras asociada a reforestación (ZT). Éste es el mismo tratamiento descrito en el sitio uno y se estableció con el mismo procedimiento.

Tratamiento dos: Reforestación combinada con remoción de suelo (RS). Para establecer la reforestación sobre suelo removido se utilizaron obras de ZT ya establecidas en 2004. Dichas obras de ZT habían sido reforestadas previamente pero se perdió la reforestación por las condiciones difíciles del sitio. Para poder utilizar este sitio, estas zanjas fueron rellenadas con suelo nuevamente para simular un tratamiento de remoción de suelo, en el cual las condiciones físicas para el crecimiento de la raíz se mejoraron. El procedimiento de reforestación fue similar que el descrito en el sitio uno en cuanto a espaciamiento de las plantas.

En los dos tratamientos del segundo sitio se utilizaron cinco repeticiones, con 12 plantas por unidad experimental (Figura 4.7).



Figura 4.7. Vista de las zanjas trinchera en el sitio dos.

La especie utilizada para la reforestación fue *Pinus oaxacana*, ya que esta especie se distribuye en forma natural en el área de estudio. La planta fue proporcionada por la CONAFOR y se produjo en el ciclo 2005 – 2006.

4.3 Variables evaluadas

Variables ambientales. Durante el experimento se registraron mediciones de temperatura y humedad relativa, empleando “dataloggers” de la serie 5 marca HOBO, para posteriormente descargar los datos con el programa BoxProcar 4.3 (Figura 4.8). Las mediciones se programaron para la toma de datos cada tres horas y la obtención de datos se realizó mensualmente. Los datos se importaron a una hoja de cálculo de Excel donde se procesaron. Además de lo anterior, se emplearon datos de precipitación de la estación número 30128 (Perote) que es la de influencia más cercana a los sitios de estudio, situada aproximadamente a 12 km de los sitios.



Figura 4.8. Dataloggers instalados en campo.

Humedad del suelo. Se midió el contenido volumétrico de agua en el suelo en forma mensual, con ayuda de un sensor de reflectometría del dominio del tiempo (TDR), modelo TRIME-FM marca IMKO, el cual permite medir el contenido volumétrico de agua en el suelo, a partir de la determinación de la constante dieléctrica (Dirksen, 1999; Topp *et al.*, 1980; Topp y Reynolds, 1998). Esto es, a través de una curva de calibración universal que establece la relación entre la constante dieléctrica del material (la permisividad) y el contenido volumétrico de humedad (Dirksen, 1999; Topp *et al.*, 1980). El error de la medición con el equipo TDR es menor a $0.013 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (Topp *et al.*, 1980). En ambos sitios las mediciones se realizaron a dos profundidades, 0 - 15 y 15 - 30 cm y con el mismo procedimiento para todas las unidades experimentales. Adicionalmente, se tomaron muestras inalteradas de suelo de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura en el mes de agosto, para la determinación de densidad aparente. En el caso del tratamiento ZT, las mediciones de contenido de humedad se realizaron en 3 zonas (Figura 4.9), en la parte central del bordo de la ZT, en la parte media interna de ésta y entre hileras de ZT. Lo anterior con la finalidad de conocer las variaciones en potencial hídrico en diferentes puntos de la obra ZT.



Figura 4.9. Mediciones de contenido de humedad del suelo para el tratamiento ZT.

Para el caso de los tratamientos RS y CC, las mediciones con TDR se realizaron a un lado de la planta a 10 cm de distancia de ésta y a las mismas profundidades que para el tratamiento ZT con una medición por unidad experimental, teniendo así cinco mediciones por tratamiento en cada mes. La medición de humedad siempre se realizó en el mismo lugar (Figura 4.10).



Figura 4.10. Mediciones de humedad del suelo para los tratamientos RS y CC.

Variables de la planta. Se midió el potencial hídrico de las plantas en la reforestación a intervalos de un mes, durante el periodo de febrero a noviembre de 2007. La medición se hizo con una bomba de presión o consola de la serie 3005 de la empresa Soil Moisture. Ésta consta de una cámara cilíndrica, con tapa removible y orificio ajustable al diámetro de los componentes vegetales (Figura 4.11). Las mediciones se realizaron entre las 12:00 y 15:00 h, tomándose un total de cinco plantas por tratamiento; es decir, una planta por unidad experimental, seleccionada en forma aleatoria. Una vez elegida la planta, se seleccionó la acícula en mejor estado y de mayor crecimiento con la finalidad que se ajustara lo mejor posible a la cámara de presión de la bomba. El extremo de la acícula que quedó fuera de la cámara se cortó transversalmente con una navaja para dejar expuesto el tejido de conducción y poder observar claramente el momento en el que la presión dentro de la cámara superaba a la presión del agua en el tejido de conducción. Para el caso del sitio uno se midió el potencial en plantas establecidas en el bordo y en plantas establecidas entre las hileras de zanjas, tomándose cinco muestras para cada caso, de febrero a noviembre de 2007. Lo anterior con la finalidad de observar si existían diferencias en potencial hídrico entre las plantas establecidas sobre el bordo y aquellas en las hileras intermedias, lo cual sería un indicador de la función de la zanja para captar agua de lluvia y hacerla disponible para la reforestación. En los tratamientos de RS y CC se tomaron únicamente cinco acículas de pino por tratamiento al azar. La medidas de potencial hídrico para el sitio dos llevaron el mismo procedimiento que en el sitio uno.



Figura 4.11. Bomba de presión utilizada para medir potencial hídrico en plantas.

Además de las mediciones indicadas, se tomaron en todas las plantas datos de diámetro a la base del tallo y altura total de la planta, con ayuda de una regla y un vernier digital respectivamente (Figuras 4.12). Las mediciones de diámetro y altura se realizaron espaciadas por periodos de dos, tres y cuatro meses, con un total de cuatro mediciones durante el experimento.

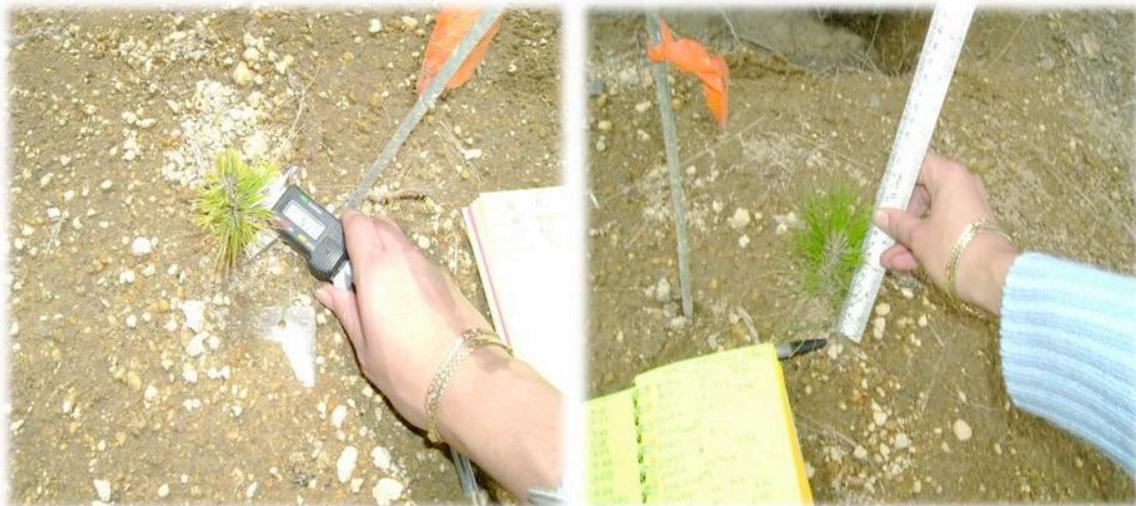


Figura 4.12. Diámetro y altura de las plantas.

4.4 Análisis estadístico de la información

Debido a la diferencia de condiciones en las que se establecieron los tratamientos en los sitios, el análisis estadístico se hizo por separado para cada sitio.

Para probar la hipótesis I de este estudio, se hizo una comparación de medias a nivel de individuos entre el grupo de árboles establecidos sobre el bordo y el grupo establecido en las interlíneas de la zanja trinchera. La comparación de medias a nivel de individuo se hizo mediante una prueba de t con una confiabilidad del 5%.

Para probar la hipótesis II, se realizó un análisis estadístico de mediciones repetidas en el tiempo empleando el módulo GLM del paquete SAS, como lo indican Littell *et al.* (1998). Se probó el efecto de la interacción Tiempo*Tratamiento, para deducir si, en alguna fecha particular la medición de al menos uno de los tratamientos mostró una respuesta diferente a la del resto. Cuando el efecto de la interacción Tiempo*Tratamiento fue significativo ($p \leq 0.05$) para alguna fecha determinada, se procedió a la separación de medias mediante la prueba de Duncan.

Las variables de respuesta que se consideraron para los tratamientos fueron humedad del suelo, potencial hídrico y crecimiento de los brizales. Como variable de crecimiento de los árboles, se consideraron los incrementos en diámetro y altura entre fechas de medición. Cuatro fechas de medición de diámetros y alturas permitieron la estimación de tres periodos de incremento.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Temperatura y humedad relativa

La temperatura y humedad relativa presentaron un comportamiento similar en ambos sitios a lo largo del periodo de estudio (Figura 5.1). La temperatura media mensual osciló entre los 16°C en el mes de febrero y los 9°C en el mes de noviembre, en ambos sitios. La humedad relativa, obtuvo su valor más alto en el mes de septiembre, con 90%. La humedad relativa más baja fue de 30% en el mes de febrero, en contraste con la temperatura la cual fue la más elevada del ciclo. Las condiciones de mayor poder de evaporación de agua de la atmósfera se dieron entre el mes de febrero y julio. Entre julio y septiembre la demanda de agua de la atmósfera decreció debido a un incremento en la humedad relativa y disminución de la temperatura.

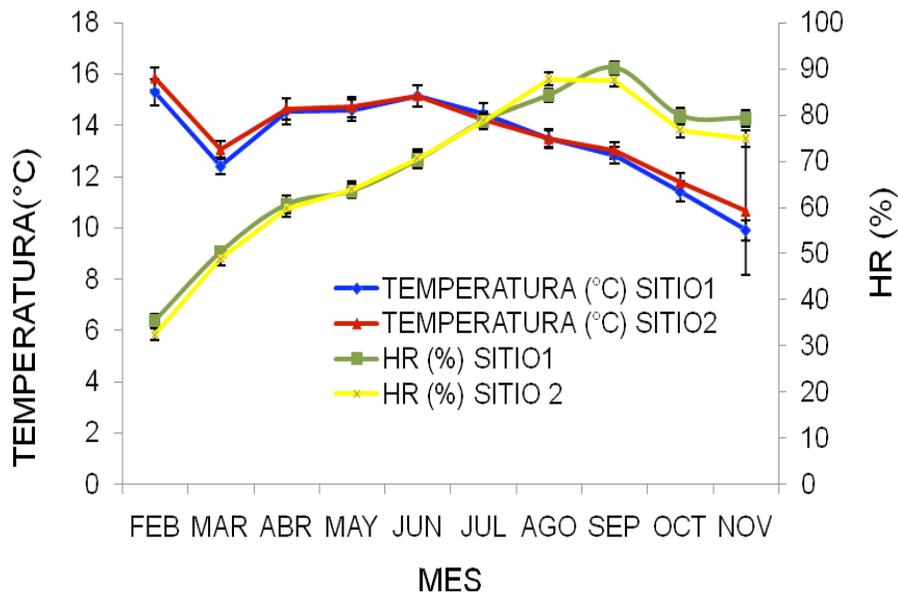


Figura 5.1. Temperatura y humedad relativa para los sitios 1 y 2.

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1973); los valores de temperatura y humedad relativa fueron los esperados, ya que se encuentran dentro del intervalo de los valores correspondientes a la clasificación del clima C(wo) que es característico de esta zona. Las condiciones ambientales son muy similares en

ambos sitios, lo que en parte se explica, porque ambas localidades se encuentran en la misma latitud (García, 1973).

5.2 Precipitación

La figura 5.2 muestra la precipitación acumulada registrada por la estación meteorológica de influencia más cercana a los sitios de estudio. La lámina total de agua reportada durante el ciclo estudiado (2007) fue de 704.77 mm, lo que indica que la temporada de lluvias ha sido similar a la precipitación de 700 mm reportada como la usual durante los últimos años, según la estación meteorológica 30128, Perote, Ver.

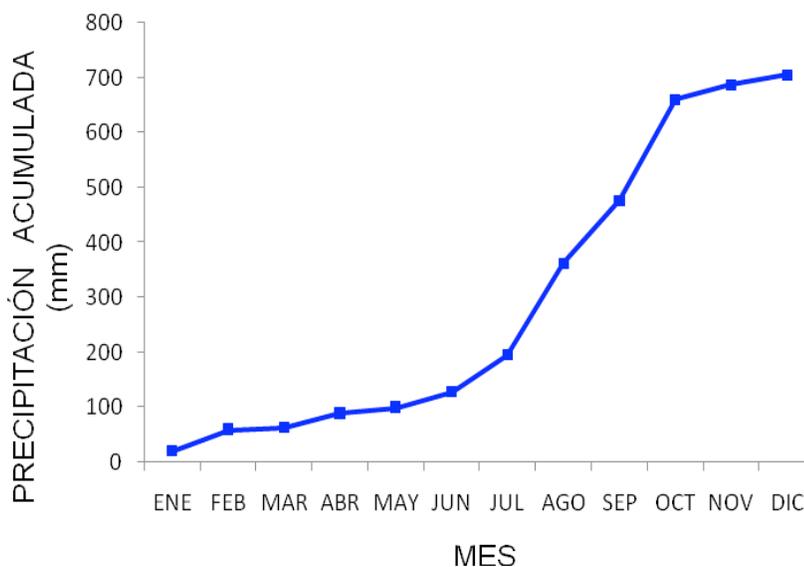


Figura 5.2. Precipitación acumulada.

La distribución de la precipitación mensual es unimodal, ya que se presenta en el periodo de junio a octubre alcanzando sus valores máximos en los meses de agosto y octubre, en el resto del año es muy baja. La lámina máxima mensuales fue de 183.5 mm (Figura 5.3).

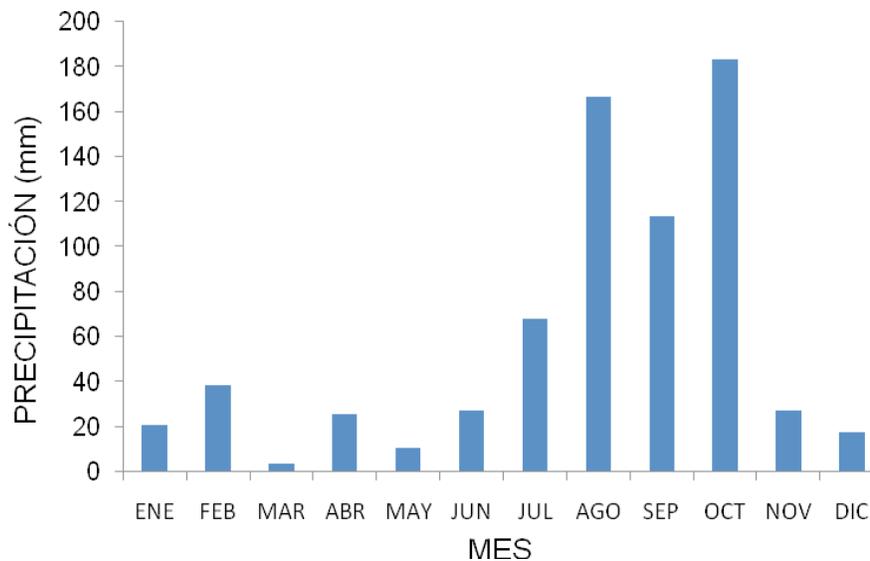


Figura 5.3. Precipitación mensual ciclo 2007.

En el periodo junio a octubre, la lámina de precipitación que se presentó fue 559.77 mm que corresponde al 79.5% de la precipitación anual, mientras que, en el resto del año se presentó solo 20.5 %. Esto indica que en el verano se espera un buen desarrollo de las plantas y valores de potencial hídrico menos negativos a pesar de que se presente la mayor demanda evapotranspirativa en esta época.

Para analizar los periodos con lluvia, se realizó un análisis de la precipitación diaria, encontrando que en la época de lluvias (verano) hubo hasta 10 o 15 días sin precipitación que de alguna manera pudo haber influenciado el desarrollo de las plantas ya que hubo seis eventos con más de 30 mm de precipitación, de los cuales se reportó casi 243 mm de lluvia que representan casi el 34.5% de la precipitación anual. Esto indica que en la zona existe un potencial de escurrimiento que permite sugerir que las zanjas trincheras tendrán posibilidades de captar los excesos de lluvia y aumentar la oportunidad de infiltración del agua de lluvia. Se observó que en el día 282 se presentó la mayor lámina de agua registrada en todo el ciclo 2007, ésta fue de 83.6 mm (Figura 5.4).

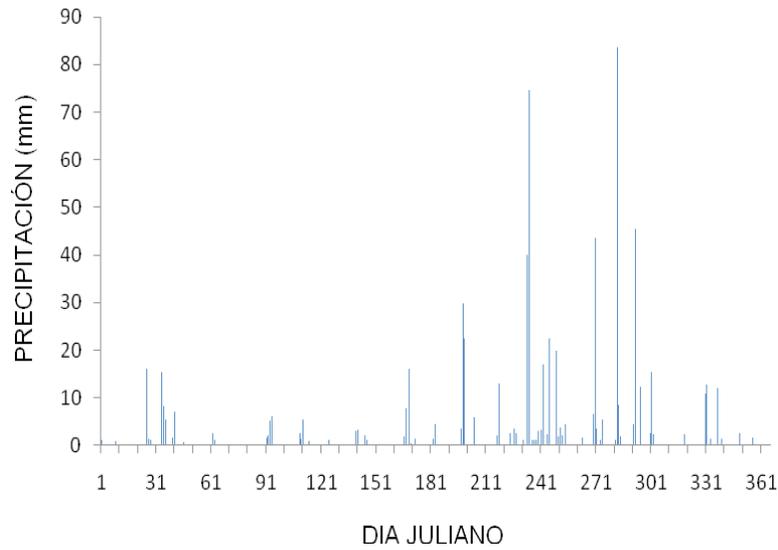


Figura 5.4. Precipitación diaria ciclo 2007.

5.3 Humedad del suelo.

Con respecto a la hipótesis I, los resultados del Cuadro 5.1 indican que en el sitio uno la humedad del suelo en las interlineas fue mayor que en el bordo de la zanja, en los meses del verano principalmente. Para la profundidad de 0–15 cm las interlineas mostraron mayor humedad que el bordo en los meses de julio, agosto y septiembre, aunque en el mes de julio la significancia fue del 7%. En la profundidad de 15 – 30 cm las interlineas mostraron mayor humedad que el bordo en el mes de julio, con una significancia del 7%.

Cuadro 5.1. Comparación de medias entre el grupo de árboles establecidos sobre el bordo y los establecidos en las interlineas de las zanjas trinchera en el sitio uno.

SITIO	VARIABLE	MES	PROBABILIDAD	RESULTADO
1	HUMEDAD 0-15	JULIO	0.0700	NB>B
		AGOSTO	0.0030	NB>B
		SEPTIEMBRE	0.0030	NB>B
	HUMEDAD 15-30	JULIO	0.0700	NB>B
	POTENCIAL	JULIO	0.0597	B>NB
	ALTURA	FEBRERO	0.0026	NB>B

NB= tratamiento de las interlineas de la obra de zanja trinchera, B= tratamiento en el bordo.

En el sitio dos (Cuadro 5.2), la humedad del suelo superficial (0–15 cm) en las interlineas fue mayor que la del bordo en los meses de agosto y septiembre con probabilidades del 7%.

Cuadro 5.2. Comparación de medias entre el grupo de árboles establecidos sobre el bordo y los establecidos en las interlineas de las zanjas trinchera, en el sitio dos.

SITIO	VARIABLE	MES	PROBABILIDAD	RESULTADO
2	HUMEDAD 0-15	AGOSTO	0.07	NB>B
		SEPTIEMBRE	0.067	NB>B
	POTENCIAL	JULIO	0.0597	B>NB

NB= tratamiento de las interlineas de la obra de zanja trinchera, B= tratamiento en el bordo.

Los resultados indican que la humedad del suelo fue mayor en las interlineas que en el bordo, especialmente en el mes de agosto y septiembre para el sitio uno. Por lo tanto, la hipótesis I de mayor humedad en el bordo con respecto a las interlineas se rechaza.

Con respecto a la hipótesis II, el Cuadro 5.3 muestra los resultados del análisis de varianza para el contenido de humedad volumétrica en el sitio uno. El efecto del tiempo es significativo en todos los casos, lo que indica que las mediciones a través del tiempo fueron estadísticamente diferentes. La interacción tiempo*tratamiento fue significativa sólo para la profundidad de 15–30 cm. Esto implica, que en al menos para una de las fechas medidas, los tratamientos respondieron de manera diferente con respecto a la humedad almacenada en el suelo a esta profundidad. El resultado de la significancia del tiempo es lógico, pues a través del año la precipitación cambia, ocasionando que existan cambios en la humedad almacenada en el suelo. Sin embargo, el resultado mas relevante es la interacción tiempo*tratamiento, ya que ésta nos detecta respuestas diferenciales de acuerdo al tratamiento.

Cuadro 5.3. Significancia estadística para el tiempo e interacción tiempo por tratamiento en el sitio uno.

SITIO	VARIABLE	FUENTE DE VARIACIÓN	PROBABILIDAD
	HUMEDAD DEL SUELO 0-15 cm	TIEMPO TIEMPO*TRAT	0.0001 0.6518
	HUMEDAD DEL SUELO 15-30	TIEMPO TIEMPO*TRAT	0.0001 0.0091
1	POTENCIAL	TIEMPO TIEMPO*TRAT	0.0001 0.0001
	DIAMETRO	TIEMPO TIEMPO*TRAT	0.0158 0.0001
	ALTURA	TIEMPO TIEMPO*TRAT	0.0001 0.0022

El Cuadro 5.4 muestra los resultados para el contenido de humedad volumétrica en el sitio dos. Los resultados en este sitio fueron similares a los del sitio uno en ambas profundidades, con el factor tiempo estadísticamente significativo pero no así en la interacción tiempo*tratamiento.

Cuadro 5.4. Significancia estadística para el tiempo e interacción tiempo por tratamiento para el sitio dos.

SITIO	VARIABLE	FUENTE DE VARIACIÓN	PROBABILIDAD
	HUMEDAD DEL	TIEMPO	0.0001
	SUELO 0-15 cm	TIEMPO*TRAT	0.9215
	HUMEDAD DEL	TIEMPO	0.0001
	SUELO 15-30	TIEMPO*TRAT	0.7897
2	POTENCIAL	TIEMPO	0.0001
		TIEMPO*TRAT	0.8671
	DIAMETRO	TIEMPO	0.0001
		TIEMPO*TRAT	0.0001
	ALTURA	TIEMPO	0.0001
		TIEMPO*TRAT	0.0001

Considerando la separación de medias de los tratamientos para los casos en que la interacción tiempo*tratamiento fue significativa (Cuadro 5.5), se observa que la segunda profundidad del tratamiento de cepa común (CC) mantuvo en general, mayores contenidos de humedad que el resto de los tratamientos, en el sitio uno. Por lo anterior, la hipótesis de mayor humedad del suelo en la obra de zanja trinchera con respecto a los otros tratamientos se rechaza.

Cuadro 5.5. Separación de medias, mediante el procedimiento de Duncan para los tratamientos del sitio uno.

SITIO	VARIABLE	MES	CC	RS	D	B	NB
1	HUMEDAD DEL SUELO 15-30 cm	FEBRERO	<u>CC</u>	RS	D	B	NB
		JULIO	<u>CC</u>	<u>NB</u>	RS	B	D
	AGOSTO	<u>CC</u>	RS	<u>NB</u>	B	D	
	POTENCIALES	ABRIL	<u>RS</u>	B	NB	CC	
		OCTUBRE	<u>CC</u>	B	<u>NB</u>	RS	
		NOVIEMBRE	<u>B</u>	<u>NB</u>	CC	RS	
	DIAMETRO	MAYO	<u>NB</u>	RS	B	CC	
		JULIO	<u>RS</u>	CC	<u>NB</u>	B	
		NOVIEMBRE	<u>RS</u>	CC	B	NB	
	ALTURA	MAYO	<u>NB</u>	CC	RS	B	
		JULIO	<u>NB</u>	CC	RS	B	
		NOVIEMBRE	<u>NB</u>	CC	RS	B	

NB= interlineas del tratamiento zanja trinchera, B= bordo, D= dentro de la zanja trinchera, RS= remoción de suelo y CC= cepa común.

A diferencia del sitio uno, el sitio dos no mostró efecto significativo de la interacción tiempo*tratamiento (Cuadro 5.4). Por lo tanto no se realizó un procedimiento de separación de medias. Considerando que los contenidos de humedad no se afectaron por un tratamiento en particular, la hipótesis II en este sitio también se rechaza.

Cuadro 5.6 Separación de medias, mediante el procedimiento de Duncan para los tratamientos del sitio dos.

SITIO	VARIABLE	MES			
2	DIÁMETRO	MAYO	<u>B</u>	<u>NB</u>	<u>RS</u>
		JULIO	<u>RS</u>	<u>B</u>	<u>NB</u>
		NOVIEMBRE	<u>RS</u>	<u>NB</u>	<u>B</u>
	ALTURA	MAYO	<u>B</u>	<u>NB</u>	<u>RS</u>
		JULIO	<u>RS</u>	<u>NB</u>	<u>B</u>
		NOVIEMBRE	<u>RS</u>	<u>NB</u>	<u>B</u>

NB= interlineas del tratamiento zanja trinchera, B= bordo, D= dentro de la zanja trinchera y RS= remoción de suelo.

La tendencia gráfica de los contenidos de humedad a través del tiempo para ambas profundidades y ambos sitios se muestra en las Figuras 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8. Para la profundidad de 0–15 cm en los sitios uno y dos, en los meses de marzo y mayo todos los tratamientos tuvieron los contenidos de humedad más bajos; posteriormente, en ambos sitios incrementó la humedad en los meses de julio a noviembre. Para una mejor interpretación de los datos de humedad se estimó el contenido volumétrico equivalente a punto de marchitez permanente (PMP), empleando los datos de las constantes de humedad del Cuadro 4.1 y los valores de densidad aparente. Los valores de contenidos de humedad en el suelo para el sitio uno estuvieron por arriba del punto de marchitez permanente, (PMP) principalmente de julio a noviembre (Figura 5.5), lo cual indica que la humedad estuvo dentro de un intervalo disponible para el crecimiento de las plantas en dicho periodo.

Los meses en los que no hubo agua disponible para el crecimiento de la planta en la profundidad de 0-15 cm fueron marzo y mayo. Lo anterior ocurrió en todos los

tratamientos (Figura 5.5). En ambos sitios se observa gráficamente, que el tratamiento de humedad medida en el bordo (ZTb) tiende a tener menos agua disponible, principalmente en el sitio dos. Los resultados indican que las plantas colocadas en el bordo de la zanja, se encontraban más limitadas por la humedad para su crecimiento. Esto también es coherente con los valores de potencial hídrico en las plantas, ya que todos los tratamientos se encontraban más estresados en los meses de marzo y mayo (Fig. 5.9 y 5.10). En contraste, el tratamiento de remoción de suelo (RS) en ambos sitios fue el menos estresado, a pesar de que los contenidos de humedad en el suelo eran más negativos que -1.5 MPa; esto probablemente se explica porque al hacer una remoción de suelo se disminuye su resistencia mecánica y se mejora la superficie de contacto entre la raíz y la fase sólida del suelo (Van Noordwijk *et al.*, 1992; Gómez *et al.*, 2002).

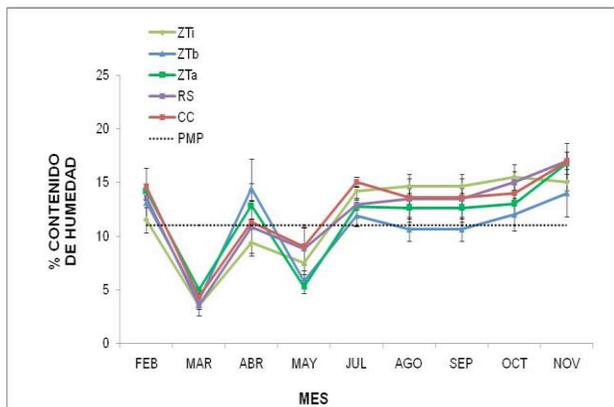


Figura 5.5. Humedad en el suelo, sitio uno; profundidad de 0 – 15 cm.

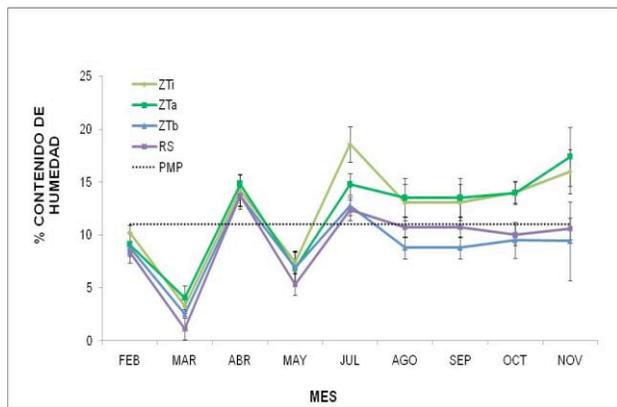


Figura 5.6. Humedad en el suelo, sitio dos; profundidad de 0 - 15 cm.

Las Figuras 5.7 y 5.8 muestran la humedad volumétrica del suelo a una profundidad de 15-30 cm. Los meses que presentaron los contenidos más bajos fueron marzo y mayo, al igual que en la parte más superficial del suelo. La humedad de la época anterior de lluvias se va utilizando en el proceso de evapotranspiración de febrero a mayo y hay en general una recarga de humedad en el mes de noviembre.

La humedad observada a la profundidad de 15 - 30 cm en ambos sitios muestra comportamientos muy parecidos. Es importante resaltar que con respecto a la humedad que corresponde a PMP (Figuras 5.7 y 5.8) la segunda profundidad presentó, igual que la primera, humedades críticas en los meses de marzo y mayo. Sin embargo, de julio a noviembre todos los tratamientos mostraron humedad dentro del intervalo de agua aprovechable. Además, en el suelo más profundo los resultados gráficos (Figura 5.7) indicaron mayor humedad en el fondo de la zanja, lo que es consistente con la función de captación de agua, debido a la obra de ZT.

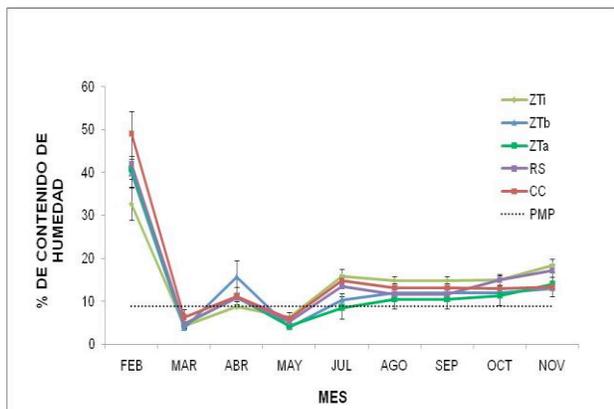


Figura 5.7. Humedad en el suelo, sitio uno; profundidad de 15 – 30 cm.

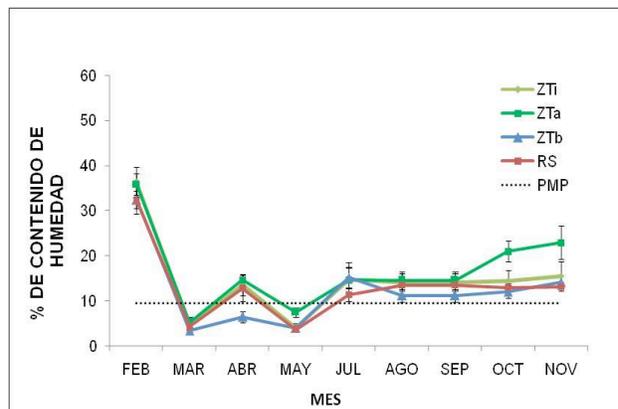


Figura 5.8. Humedad en el suelo, sitio dos; profundidad de 15 – 30 cm.

5.4 Potencial hídrico en plantas

Con respecto a la hipótesis I, los resultados del sitio uno (Cuadro 5.1) indican que hubo diferencias en potencial hídrico entre el grupo de plantas sobre el bordo y el de las interlineas, con las plantas mejor hidratadas sobre las interlineas. Por lo anterior, la hipótesis de mejor estado hídrico en el bordo se rechaza.

Para el caso del sitio dos (Cuadro 5.2), los potenciales son significativamente ($P= 0.059$) más altos en el bordo que en la interlinea en el mes de julio. Lo que indica que en ese mes las plantas del bordo estuvieron mejor hidratadas y por lo tanto en este caso, la hipótesis I no se rechaza.

En relación a la hipótesis II, el Cuadro 5.3 muestra que en el sitio uno el efecto del tiempo es significativo probando que para un mismo tratamiento las mediciones a través del tiempo son diferentes. En la interacción tiempo*tratamiento sólo se presentaron valores significativos en los meses de abril, octubre y noviembre (Cuadro 5.5), lo cual indica que al menos uno de los tratamientos medidos fue diferente del resto en estas fechas. Al igual que la variable humedad, el resultado de la significancia del tiempo es lógico, pues a través del año los factores precipitación, temperatura y humedad relativa cambian ocasionando variaciones en el potencial hídrico de las plantas. Sin embargo, la interacción tiempo*tratamiento detectó diferencias entre los tratamientos para algunas fechas.

Para el caso del sitio dos (Cuadro 5.4), la interacción tiempo*tratamiento no fue significativa, lo que muestra que el potencial hídrico en las plantas fue el mismo, independientemente del tratamiento. Al realizar la separación de medias de tratamientos para los casos en que la interacción tiempo*tratamiento fue significativa (Cuadro 5.5), se observa que el tratamiento de remoción de suelo para el sitio uno, estuvo más hidratado que el resto en el mes de abril, el cual es uno de los meses donde se acentuó la escasez de precipitación (Figura 5.3). No obstante, en los meses de noviembre y octubre, se observó una tendencia opuesta ya que en este caso, remoción de suelo presentó las plantas más estresadas, mientras que en cepa común estuvieron mejor hidratadas. Por lo anterior la hipótesis de mejor estado hídrico en la obra de zanja se rechaza.

En cuanto a la tendencia gráfica, las Figuras 5.9 y 5.10 muestran el potencial hídrico medido durante el periodo de estudio para los sitios uno y dos, respectivamente. En cuanto a los valores de potencial, se pudo apreciar que son muy variables con valores de -2.0 MPa en la época de sequía hasta valores de -0.1 MPa en la época de lluvias.

En febrero, los tratamientos de la práctica de zanja (en bordos e interlíneas) del sitio uno mostraron potenciales de -1.0 MPa; sin embargo, en el mes de marzo todos los tratamientos tuvieron potenciales hídricos más negativos. No obstante, llama la atención el tratamiento de remoción de suelo (RS) que en el mes de abril presentó menor estrés hídrico que el resto de los tratamientos, lo cual concuerda con el análisis estadístico (Cuadro 5.5), donde se aprecia nuevamente este comportamiento. Como se esperaba, en el periodo de julio – septiembre, todos los tratamientos de ambos sitios tuvieron un comportamiento similar y presentaron valores altos de potencial hídrico (mejor estado hídrico). Lo anterior es congruente con la mayor lámina acumulada de precipitación que se presentó en este periodo y con una menor demanda de vapor de agua de la atmósfera ya que en agosto y septiembre la humedad relativa alcanzó su valor máximo; mientras que, la temperatura media mensual iniciaba su descenso (Figura 5.3). Llama la atención que en ambos sitios en el mes de octubre, cuando la precipitación se mantenía relativamente alta, los potenciales hídricos fueron más negativos.

Los resultados gráficos del sitio uno mostraron tendencias diferentes para la fase de lluvia y de sequía. Por ejemplo, se observa que el tratamiento RS presentó menor estrés hídrico en la época de sequía. Éste resultado se explica posiblemente porque la remoción de suelo y la humedad residual del suelo favorecieron el crecimiento de la raíz. Las condiciones físicas del suelo propiciadas por la remoción permitieron que la planta aprovechara esta condición benéfica. Sin embargo, después de la época de lluvias, en el mes de noviembre, los tratamientos de la zanja (ZTi y ZTb) presentaron

mejor estado hídrico que la remoción de suelo o la reforestación en cepa común. En términos de potencial hídrico, la obra de zanja amortigua el estrés hídrico en los meses secos pero aún así los potenciales de los otros tratamientos no fueron mayores a - 0.5 MPa.

Los valores obtenidos de estrés hídrico en este estudio son relativamente bajos comparados con los encontrados por Pacheco-Escalona *et al.* (2007) quienes reportan valores -1.6 MPa pero medido en hojas sin transpirar (Cubiertas herméticamente). De la misma forma, Gómez *et al.* (2002) reportan potenciales de -1.7 MPa en *P. ponderosa* var. *ponderosa* Dougl. Ex Laws, en un clima mediterráneo realizando las mediciones en hojas sin transpirar. Debe considerarse que el estrés hídrico varía entre especies, época del año y métodos de medición (Perry *et al.*, 1994). En este estudio se midió el potencial hídrico en hojas que estaban transpirando y si se hubieran medido en hojas sin transpirar los potenciales hubieran sido menos negativos.

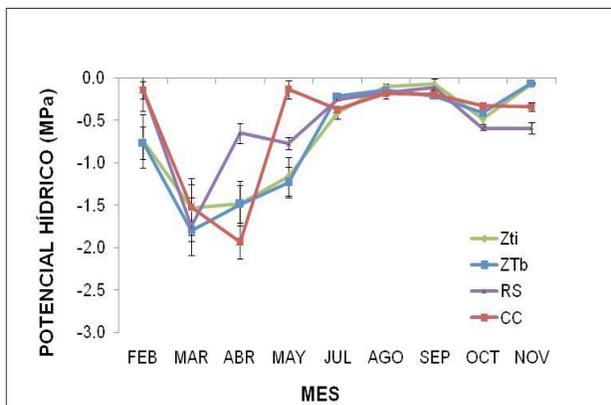


Figura 5.9. Potencial hídrico, sitio uno.

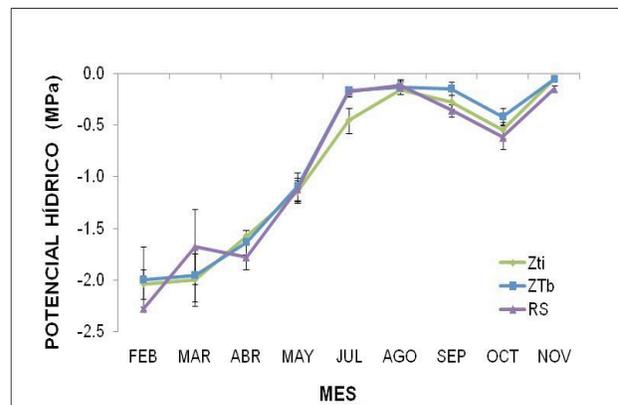


Figura 5.10. Potencial hídrico, sitio dos.

Otra forma de ver el efecto de la demanda de agua de la atmósfera y su relación con el estado hídrico de las plantas es como lo propone Shackel *et al.* (1997), quienes proponen que hay una línea hipotética de estado hídrico adecuado para cada especie en función de las características ambientales. En la Figura 5.11 se muestra la relación

del potencial hídrico en las plantas y el déficit de presión de vapor (DPV) para los dos sitios y todos los tratamientos. El DPV, calculado con la metodología de la FAO (1998), corresponde al del momento de la medición del potencial hídrico en campo. La gráfica muestra que los potenciales y DPV más negativos corresponden con una atmósfera más demandante de agua. Sin embargo, es de resaltar la posición del tratamiento de RS el cual se mantiene por arriba de la tendencia media en potenciales y DPV más negativos. Este resultado lleva a pensar que las reforestaciones van a ser más exitosas con una práctica de remoción de suelo.

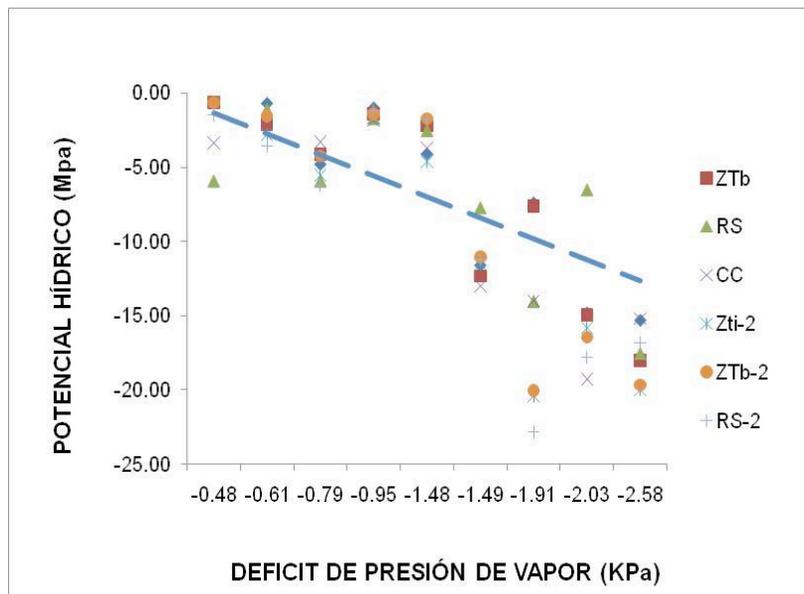


Figura 5.11 Potenciales hídricos y déficit de presión de vapor.

5.5 Relación humedad del suelo - potencial hídrico

Las Figuras 5.12 y 5.13, muestran la relación de la humedad volumétrica en suelo y el potencial hídrico en las plantas. Los resultados indican variación entre sitios a pesar de ubicarse en la misma localidad; sin embargo, las características de los suelos son similares (Cuadro 4.1).

En el sitio uno, se observa que a medida que aumenta la humedad del suelo los valores de potencial hídrico se vuelven más altos, lo cual indica que las plantas estaban más hidratadas (Figura 5.12). Los tratamientos de las plantas establecidas en las interlineas (ZTi) reportaron una mayor tasa de cambio, en contraste con los tratamientos de remoción de suelo (RS), cepa común (CC) y reforestación establecida sobre el bordo (ZTb), los cuales mostraron tendencias similares como lo indican los parámetros de la ecuación. El tratamiento de ZTi mostró una mayor relación, ya que cuando la humedad del suelo se encontraba alta, las plantas se encontraban más hidratadas, esto posiblemente se debe a la función de la zanja trinchera, la cual tiene la función de captar agua de lluvia. Sin embargo, cabe resaltar que la humedad del suelo para estos sitios es más representativa en sus primeros 15 cm, ya que es donde se encontraron los valores de humedad disponible para las plantas. En general se puede apreciar que en el caso del sitio uno los potenciales del tratamiento ZTb fueron los que menos relación tuvieron con los contenidos de humedad en el suelo, ya que los contenidos de humedad en este tratamiento se encontraban bajos comparados con el resto de los tratamientos. Lo cual indica que la reforestación en el bordo no es la mejor opción, pues las plantas tuvieron menor humedad aprovechable para su crecimiento.

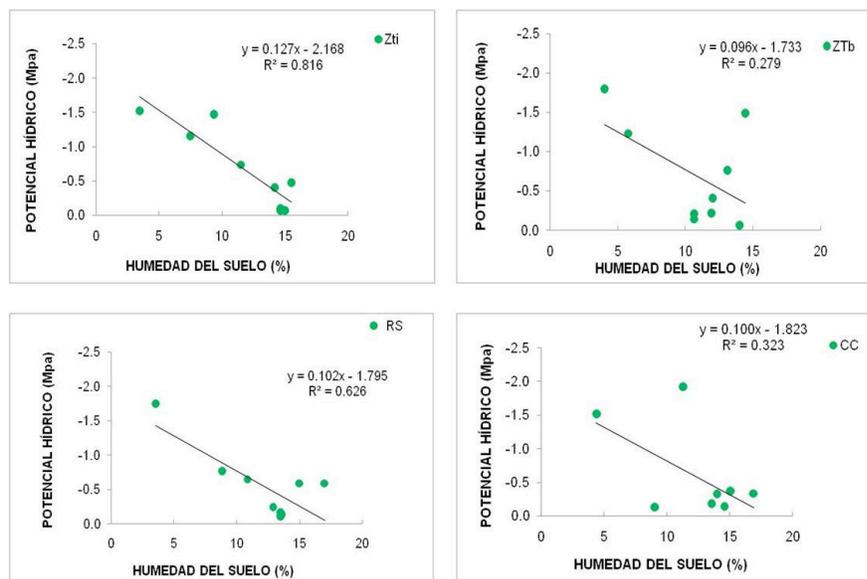


Figura 5.12. Relación humedad del suelo – potencial hídrico, sitio uno.

En el sitio dos (Figura 5.13) no se observa ninguna relación entre los contenidos de humedad en el suelo y los potenciales. Esto posiblemente se debe a que las relaciones hídricas son difíciles de explicar sólo con el sistema suelo-planta sin considerar la relación planta-atmósfera.

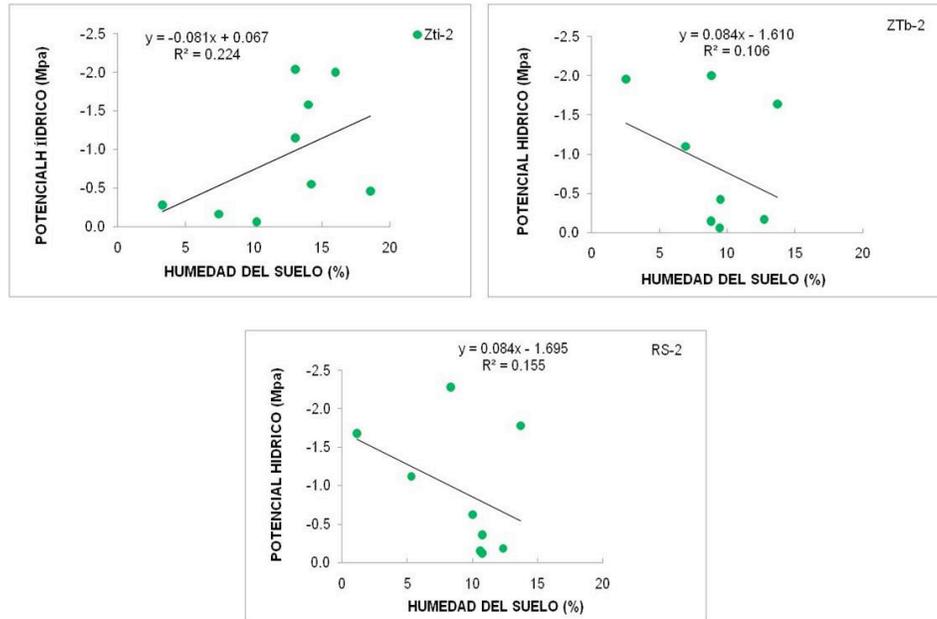


Figura 5.13. Relación humedad del suelo – potencial hídrico, sitio dos.

Para conocer el grado de asociación entre variables, se hizo un análisis de correlación y los resultados indican que independientemente del tratamiento, el potencial hídrico en la planta está relacionado con la humedad del suelo superficial (0-15 cm) y la humedad relativa (Cuadro 5.7).

Cuadro 5.7. Matriz de correlación de variables observadas.

	H1	H2	POT	DPV	HR	TEMP
H1	1.0000 (0.0006)	0.4183 (<.0001)	0.5729 (<.0001)	0.5693 (0.0003)	0.4388 (0.2025)	-0.1628 (0.2025)
H2		1.0000 (0.3864)	0.1110 (0.9084)	0.0148 (0.0008)	-0.4132 (0.0213)	0.2897 (0.0213)
POT			1.0000 (<.0001)	0.7826 (<.0001)	0.7203 (0.0028)	-0.3709 (0.0028)
DPV				1.0000 (<.0001)	0.7953 (<.0001)	-0.5728 (0.0001)
HR					1.0000 (<.0001)	-0.4991 (0.0001)
TEMP						1.0000 (<.0001)

H1=humedad del suelo profundidad 0-15 cm; H2= humedad del suelo profundidad 15-30 cm; POT= potencial hídrico; DPV= déficit de presión de vapor; HR= humedad relativa; TEMP= temperatura; ()= nivel de significancia.

Con las variables del estudio y sin considerar el tratamiento, se buscó una ecuación que explicara los cambios en potencial en función de las variables de este trabajo. Los resultados indicaron que una combinación lineal de la forma $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$ explicó el 60%. El modelo se explica abajo y todos los parámetros fueron estadísticamente significativos ($p=0.0001$).

$$\psi = -2.93 + 0.55 (H1) + 0.23 (HR); R^2 = 0.60$$

Donde:

ψ = potencial hídrico

-2.93 = Intercepto

0.55 = Constante de cambio de ψ por unidad de H1, manteniendo constante HR.

H1 = % humedad del suelo a la profundidad 0-15 cm

0.23 = Constante de cambio de ψ por unidad de HR, manteniendo constante H1.

HR= humedad relativa

La ecuación ajustada explica una parte importante de la variación de los potenciales cuando se consideran variables tanto del suelo como de la atmósfera para explicar cambios en el sistema planta.

5.6 Incremento en diámetro y altura de las plantas

Incremento en altura. En relación a la hipótesis I, los resultados del Cuadro 5.1 indican que en el mes de febrero en el sitio uno, los incrementos en altura fueron mayores en las interlineas que en el bordo de la zanja, con una significancia de 0.26%. Para el sitio dos, los incrementos en altura no fueron estadísticamente diferentes en las interlineas y el bordo de la zanja. De lo anterior, se concluye que con respecto a la hipótesis I, para la variable altura donde se establece que las plantas colocadas sobre el bordo tendrían mayor incremento en altura se rechaza en ambos sitios.

El Cuadro 5.3 muestra los resultados para el caso de la hipótesis II, en relación a la variable de altura de planta para el sitio uno. El efecto del tiempo es significativo en todos los casos, lo que significa que las mediciones a través del tiempo fueron estadísticamente diferentes y las plantas presentaron variación en cuanto al incremento en altura. En relación a la interacción tiempo*tratamiento también fue significativa, lo cual indica que en al menos una de las fechas medidas, los tratamientos respondieron de manera diferente en cuanto a la ganancia en altura. En el sitio dos se apreciaron diferencias significativas en el incremento de altura en el factor tiempo y en la interacción tiempo*tratamiento (Cuadro 5.4).

A través de la separación de medias de los tratamientos con una prueba de Duncan (Cuadro 5.5), se observa que el tratamiento de interlineas (NB) fue el que obtuvo mayores incrementos en altura que el resto de los tratamientos en los meses de

mayo, julio y noviembre en el sitio uno. En el sitio dos las plantas del bordo de la zanja (B) crecieron más en altura en mayo. Pero en julio y noviembre las plantas de remoción de suelo RS fueron las que crecieron más en altura.

La descripción gráfica de esta variable se observa en las Figuras 5.14 y 5.15 para los sitios uno y dos, respectivamente. El valor de “cero” incremento en el mes de febrero en ambas gráficas se explica porque febrero fue el mes de referencia para estimar incrementos. En el sitio uno, se observaron alturas iniciales mayores en el tratamiento zanja trinchera establecido en las interlineas (ZTi) así como las menores en las plantas sobre el bordo (ZTb). Gráficamente ZTb siempre mostró menor incremento en altura comparado con el resto de los tratamientos. Lo cual es un indicador de que las reforestaciones establecidas sobre el bordo de una obra de ZT no son la mejor opción para garantizar el establecimiento de las reforestaciones.

En el caso del sitio dos (Figura 5.15), se pudo observar que las plantas en la obra de zanja establecidas sobre el bordo o en interlineas (ZTi y ZTb), mostraron mayor altura que las plantas establecidas con remoción de suelo al inicio del estudio; sin embargo, el tratamiento de RS superó a todos los tratamientos, en las mediciones de mayo y noviembre (Cuadro 5.6, Figura 5.15). Los resultados de este trabajo concuerdan con los de Espelta *et al.* (2002) quienes reportaron que las prácticas que involucran una remoción al suelo antes de la reforestación, superan a la plantación en cepa común.

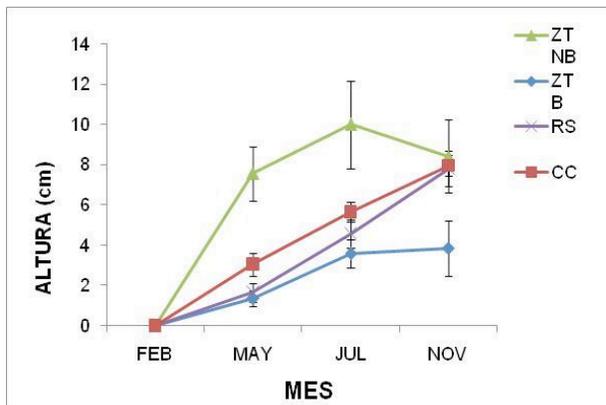


Figura 5.14. Altura de las plantas en el sitio uno.

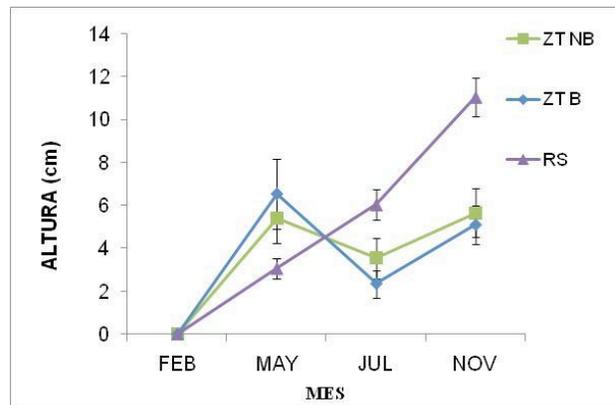


Figura 5.15. Altura de las plantas en el sitio dos.

Incremento en diámetro. En relación a la hipótesis I para los sitios uno y dos, los resultados indican que el incremento en diámetro es el mismo independientemente de su ubicación; es decir que los árboles ganan el mismo incremento en diámetro ya sea colocados en las interlineas (NB) o en el bordo de la zanja (B). Por lo que para esta variable se rechaza la hipótesis I.

Con respecto a la hipótesis II, el Cuadro 5.3 muestra los resultados para el sitio uno. Al igual que las variables anteriores, el efecto del tiempo es significativo en todos los tratamientos. En relación a la interacción tiempo*tratamiento también fue significativa en ambo sitios, indicando así que en al menos uno de los tratamientos en las fechas medidas, fue diferente al resto. Lo más relevante de estos datos se aprecia en el Cuadro 5.5 en donde se muestra que en el mes de mayo el tratamiento con mayor incremento en diámetro fue el de los árboles colocados en las interlineas de la zanja (NB), mientras que remoción de suelo (RS) fue mejor en los meses de julio y noviembre. Estos resultados indican que la hipótesis II no se cumple.

En las Figuras 5.16 y 5.17 se observan los incrementos en diámetro a la altura del cuello de la raíz para ambos sitios. El tratamiento de RS en ambos sitios fue el que ganó mayor diámetro. Sin embargo, la respuesta fue más evidente en el sitio dos, ya que para el tratamiento de remoción de suelo se utilizaron zanjas que fueron rellenas nuevamente, simulando así la remoción del suelo.

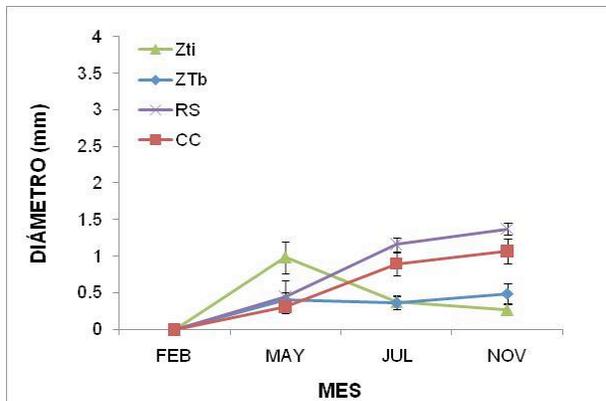


Figura 5.16. Diámetro de las plantas en el sitio uno.

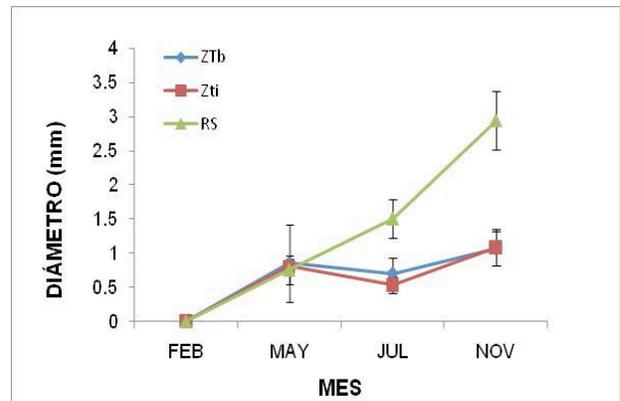


Figura 5.17. Diámetro de las plantas en el sitio dos.

5.5 Supervivencia en plantas

La figura 5.18 representa el porcentaje de supervivencia en ambos sitios. Para el caso del sitio uno los porcentajes de supervivencia estuvieron por abajo del 50% siendo los más altos en el tratamiento de reforestación en cepa común (CC), con un porcentaje cercano a 30%, seguido por remoción de suelo con 29%, mientras que, la reforestación con zanja (ZTi y ZTb) presentó valores de 20%.

El índice de mayor supervivencia se presentó en CC y RS. Sin embargo, no se considera una reforestación exitosa, ya que no se alcanzó arriba del 50% en ninguno de los tratamientos; esto se debe quizás, a otro tipo de factores como lo son la calidad de la planta, mal manejo de la misma en vivero o en campo o algún otro factor externo.

En el caso del sitio dos, los porcentajes de supervivencia fueron altos para el tratamiento RS, el cual alcanzo 50%, a diferencia de los otros dos tratamientos; ZTi llegó al 26%, mientras que, ZTb llegó solo al 20%. Destaca nuevamente la práctica de remoción de suelo, generando mejores condiciones de supervivencia.

En ambos sitios el porcentaje de supervivencia fue muy bajo, a excepción del tratamiento RS en el sitio dos, lo cual concuerda con Espelta *et al.* (2002) en donde se reporta que la supervivencia de las plántulas es mayor cuando se hace una remoción de suelo previa a la plantación. Los resultados de esta investigación están indicando la bondad de una obra de zanja trinchera para proveer humedad en la época seca pero la supervivencia de las plantas con esta obra es menor que la de otros tratamientos. Por lo tanto, en estudios subsecuentes debe probarse un tratamiento combinado en el que se mejoren las condiciones físicas del suelo; pero al mismo tiempo, se garantice un suministro de agua con una práctica que promueva la infiltración. Se infiere que las obras que realiza la CONAFOR podrían tener éxito si se planta en las interlineas pero haciendo una remoción previa del suelo.

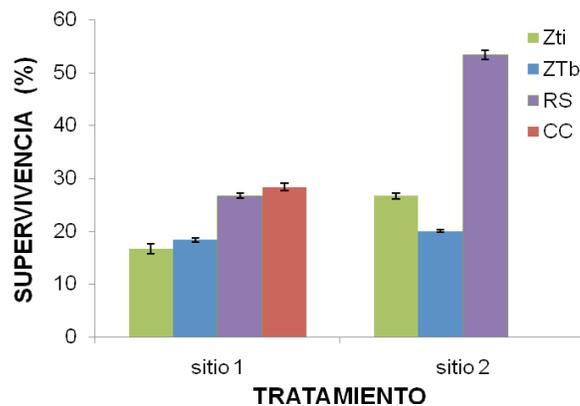


Figura 5.18. Supervivencia.

VI. CONCLUSIONES

- En términos de humedad, potencial hídrico y crecimiento, los resultados fueron muy variables y no se pudo sustentar estadísticamente la hipótesis de que los árboles colocados en el bordo de la zanja crecen mejor o tienen mejor estado hídrico que los de las interlíneas.
- Los contenidos de humedad volumétrica en el suelo no disponibles para las plantas se presentaron en los meses de marzo y mayo. Los contenidos de humedad más bajos de todos los tratamientos se observaron en el bordo de la zanja.
- En cuanto a potenciales hídricos, existieron diferencias significativas entre los tratamientos para ambos sitios durante los meses de sequía; las plantas en el tratamiento de remoción de suelo fueron las menos estresadas. Los potenciales hídricos más negativos ocurrieron entre febrero y marzo y los menos negativos entre julio y agosto.
- En el sitio uno, el tratamiento NB (árboles de interlíneas) ocasionó incrementos en altura de las plantas estadísticamente mayores con respecto a los demás tratamientos.
- En el sitio dos, el tratamiento RS (Remoción de suelo) ocasionó mayor incremento en altura de las plantas con respecto al resto de los tratamientos.
- La remoción de suelo, ocasionó mayores porcentajes de supervivencia en las plantas.

VII. RECOMENDACIONES

- De acuerdo con los datos obtenidos en este estudio, sería recomendable que en futuras reforestaciones asociadas a la práctica de zanja trinchera, la planta se coloque en las interlineas entre zanja, haciendo una previa remoción de suelo, para garantizar mayor índice de supervivencia.
- Para fines de los trabajos de reforestación que apoya CONAFOR y donde se da prioridad a la obra de zanja trinchera, se recomienda dar seguimiento a la misma, ya que los resultados pueden variar para cada localidad.
- Se propone realizar un estudio subsecuente con un tratamiento combinado en el que se mejoren las condiciones físicas del suelo y se promueva la infiltración pero a un plazo mayor de un año.

VIII LITERATURA CITADA

- Aguilera C. M., Martínez E. R. 1996. Relaciones Agua Suelos Planta Atmosfera. Universidad Autónoma de Chapingo. Cuarta Edición. México. 256p.
- Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México.
- Barbera, G. G., F. Martínez F., J. A. Álvarez R., J. Albaldejo and V. Castillo. 2005. Short- and intermediate-term effects of site and plant preparation techniques on reforestation of a Mediterranean semiarid ecosystem with *Pinus halepensis* Mill. pp: 177 – 198 *In*: New Forest. Department of Soil and Water Conservation, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBASCSIC). Universidad Politécnica de Colombia.
- Boyer, J. S. 1995. Measuring the Water Status of Plants and Soils. Academic press, San Diego. 178 p.
- Becerra M.. A. 1998. Conservación de Suelos y Desarrollo Sustentable, ¿Utopía o Posibilidad en México?. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 50 p.
- Becerra M., A. 1999. Escorrentía, erosión y conservación de suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 376 p.
- Colegio de Postgraduados.1991. Manual de Conservación del Suelo y del Agua. SARH-SPP. 584 p.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2003. Programa Estratégico Forestal Para México 2025. 158 p.

Comision Nacional Forestal (CONAFOR). 2004, 2005, 2006 y 2007. Costos de obras de Conservación de suelos. Gerencia Regional X Golfo – Centro. Informes anuales.

Comision Nacional Forestal (CONAFOR). 2004. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. Segunda edición, Méx. 210 p.

Dirksen, Ch. 1999. Soil Physics Measurements. Catena Verlag. Reiskirchen. Germany. 154 p.

Donahue, L. R., W. R. Miller y Scicluna. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Pretice- Halla Hispanoamericana, S. A. 623 p.

Doran, J.W., A. Jones, M. Arshad, and, J.Gilley. 2000. Determinants of soil quality and health. Pp. 17-38. *In: Soil Quality and Soil Erosion*, Lal R (ed.). CRC Press: Boca Raton, FL.

Duarte, R. 1990. Contribución del representante y jefe de la misión diplomática de la FAO en México al Primer Simposium Nacional sobre Degradación de Suelos. pp. 97-103. *In: Memorias del Simposium*. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Eguiluz P., T. 1983 Apuntes del curso de plantaciones forestales. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, México. 166 p.
- Espelta, J. M., J. Retana, and A. Habrouk. 2002. An economic and ecological multi-criteria evaluation of reforestation methods to recover burned *Pinus nigra* forests in NE Spain. *For. Ecol. Manage* 180:185–198.
- FAO. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56.
- Ferreira, R., V. Selles, y G. Lemus. 2002. Efecto del estrés hídrico durante la fase II del crecimiento del fruto del duraznero cv. Kakamas en el rendimiento y estado hídrico de las plantas. *Agric. Técnica. (Chile)* 62:565-573.
- Gomez G., A., Powers R. F., Singer M. J. and Horwarth W. R. 2002 N uptake and N stratus in ponderosa pine as affecte by soil compactation and forest floor femoval. *Plant Soil* 242:263-275.
- Hacke, U. G., J.S. Sperry, W. T.Pockman, S. D. Davis, and K. A. McCulloh. 2001. Trends in wood density and structure are likend to prevention of xylem implosion by negative pressure. *Oecologia* 126: 457-461.
- Hamilton, L.S., and P.N. King. 1983. Tropical Forest Watersheds: Hydrologic and Soils Response to Major Uses and Conversions. Boulder: Westview Press. Colorado 168 p.

- Jaramillo J. D. F. 2002. Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias de Medellín. 613 p.
- Jury, W. A.; W.R. GARDNER and W. H. GARDNER. 1991. Soil physics. 5ª Ed. John Wiley and Sons, Inc. New York. 328 p.
- Kramer, P. J. 1983. Water Relations of Plants. Academic press INC. London. 489 p.
- Littell, R. C, Henry, P. R, and Ammerman, C. J. 1998."Statistical Analysis of repeated measures data using SAS Procedures," J. Anim. Sci. 76:1216-1231.
- Sadanandan, E. K. and N. A. G. Brown. 1997. Management of soil, nutrients and water in tropical forest plantations. CSIRO Canberra Australia. 571 p.
- Orozco C., A. 1993. La Zanja Trinchera: una alternativa en la reforestación del Parque Nacional el Tepeyac. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Ortiz S., M.L.M., M. Anaya G. y J. Estrada B. W. 1994. Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra. Colegio de Postgraduados-CONAZA. México. 30 p.
- Pacheco - Escalona., F. C., A. Gómez G., A. Aldrete , A.M. Fierros G. , y V.M. Cetina A. 2007. Absorción de nitrógeno y crecimiento de *Pinus greggii* después de una poda química de raíz. Agrociencia 41:675-685.

Perry, D. A. 1994 . Forest Ecosystems. The Johns Hopkins University USA. 649p.

Pimentel B., L. 1987. La Preparación manual del terreno con fines forestales. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, serie de apoyo académico No. 29 Chapingo, México. 20 p.

Ritchter, H. 1976. The water status in the plant-experimental evidence. In "Water and Plant Life" (O. L. Lange, L. Kappen, and E.-D Schulze, eds.), p 60 Springer – Verlag, Berlin and New York.

Sanchez B., B. 1994. Evaluación del Programa de Conservación de Suelo y Agua en el Sur de la zona metropolitana de la Ciudad de México. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

SARH. V.N. – SEDUE. 1983. Manual del Promotor Voluntario en reforestación. Programa: Protección del Medio Ambiente. No. 2, reforestación. Patronato Nacional de Promotores Voluntarios. México. 170 p.

Scholander, P.F., Hammel H. T., Bradstreet E. D., and Hemmingsen, E. A. (1965). Sap pressure in vascular plants. Science 48:339-346.

Shackel Kenneth A., H. Ahmandi, W. Biasiri, R. Buchner, D. Goldhamer, S. Gurunsighe, J. Hasey, D. Kester, B. Krueger, B. Lampinen, G. McGourty, W. Micke, E. Mitcham, B. Olson, K. Pelletrau, H. Philips, D. Ramos, L. Schwankl, S.Sibbett, and R. Snyder. 1997. Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. Hortechonology 7: 23 – 28.

- Topp, G., C. and Reynolds, W., D. 1998. Time domain reflectometry. *Soil Tillage Res.* 47:125-132.
- Topp, G. C., Davis, J. L. and Annan, A., P. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water Res.*16:574-582.
- Vallauri D. R., Arouson J. and Barbero M. 2002 An analysis of Forest Restoration 120 Years after Restoration on Badlans in the Southwestern Alps. *Restoration Ecology* 10:16-26.
- Vallejo, V.R., Bautista, S., Cortina, J., 2000. Restoration for soil protection after disturbances. pp. 301– 343. *In: Trabaud, L. (Ed.), Life and Environment in the Mediterranean.* WIT Press, Boston.
- Van Noordwijk M, Koistra M J, Boone FR, Veen B W and Schoonderbeek D 1992 Root-soil contact of maize, as measured by a thin-section technique: I. Validity of the method. *Plant Soil* 139: 109-118.
- Vargas H., J.J., A. Muñoz O. y M.R. Keyes. 1986. Drought response in seedlings of four *Pinus* species from central Mexico. pp:158-165. *In: Proc. Ninth North American Forest Biology Workshop.* Oklahoma State University. Stillwater.