

COORDINACIÓN DE RIEGO Y DRENAJE
SUBCOORDINACIÓN DE CONSERVACIÓN DE CUENCAS Y TECNOLOGÍA FORESTAL



INFORME FINAL DEL PROYECTO INTERNO

RD-0804.1

Evaluación de técnicas de preparación de suelos con fines de conservación del agua en cuencas y repoblaciones forestales

MC Pedro Rivera Riz
MSc Raúl Melara Melara
Ing Martín Melara Sánchez

DICIEMBRE DE 2008

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	1
1. ANTECEDENTES	6
2. INTRODUCCIÓN	7
3. OBJETIVOS	10
4. METODOLOGÍA	10
4.1. Caracterización general de la microcuenca	10
4.1.1. Ubicación de la microcuenca	10
4.1.2. Hidrología	14
4.1.3. Fisiografía	14
4.1.4. Geología	14
4.1.5. Suelo	14
4.1.6. Vegetación y uso del suelo	14
4.1.7. Clima	15
4.2. Establecimiento de la parcela forestal	17
4.2.1. Descripción de la especie	17
4.2.1.1. Forma biológica	17
4.2.1.2. Fenología	17
4.2.1.3. Distribución en México	17
4.2.1.4. Requerimientos Ambientales	17
4.2.1.5. Otros aspectos importantes	18
4.2.1.6. Usos	18
4.2.2. Descripción de los tratamientos	21
4.2.3. Establecimiento de los tratamientos	23
4.2.4. Ubicación de las parcelas forestales	18
4.3. Registro de información	29
4.3.1. Termómetro de máximas y mínimas	29
4.3.2. Registro de la precipitación	29
4.3.3. Registro de la humedad del suelo	29
4.3.4. Desarrollo de la plantación	30
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
5.1. Análisis de las temperaturas observadas, máximas y mínimas	34
5.2. Análisis de la precipitación	35
5.3. Balance hídrico	39
5.4. Análisis de la humedad del suelo	40
5.4.1. Parcela forestal 2007	40
5.4.1.1. Periodo seco	40
5.4.1.2. Periodo húmedo	42
5.4.1.3. Periodo de aprovechamiento de la humedad del suelo	45
5.4.2. Parcela forestal 2008	47
5.4.2.1. Periodo húmedo	47
5.4.2.2. Periodo de aprovechamiento de la humedad del suelo	50
5.5. Análisis del desarrollo de las plantaciones	53
5.5.1. Parcela forestal 2007	53
5.5.1.1. Altura	53
5.5.1.2. Diámetro del tallo	55
5.5.2. Parcela forestal 2008	56
5.5.2.1. Altura	56
5.5.2.2. Diámetro del tallo	57

5.5.3. Supervivencia	59
5.5.3.1. Parcela forestal 2007	59
5.5.3.2. Parcela forestal 2008	60
6. BIBLIOGRAFIA	63
ANEXOS	65
Anexo I. Precipitación diaria promedio registrada en el año 2008	65
Anexo II. Temperatura máxima, mínima y observada registrada en el año 2008	66

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PERSPECTIVA DE LA MICROCUENCA EL ATOLE PALIZADA, MPIO. DE VILLA VICTORIA, ESTADO DE MÉXICO	11
FIGURA 2. LOCALIZACIÓN DE LA MICROCUENCA EL ATOLE, PALIZADA, VILLA VICTORIA, ESTADO DE MÉXICO	12
FIGURA 3. MAPA TOPOGRÁFICO DE LA MICROCUENCA EL ATOLE, PALIZADA, MPIO DE VILLA VICTORIA, ESTADO DE MÉXICO	13
FIGURA 4. USO DE SUELO 2008 Y NUMERACIÓN DE LAS PARCELAS DE LA MICROCUENCA EL ATOLE, PALIZADA, MPIO. DE VILLA VICTORIA, ESTADO DE MÉXICO	16
FIGURA 5. LOCALIZACIÓN DE LA PARCELA FORESTAL 2007 EN LA MICROCUENCA EL ATOLE, PALIZADA, MPIO DE VILLA VICTORIA, ESTADO DE MÉXICO	19
FIGURA 6. LOCALIZACIÓN DE LA PARCELA FORESTAL 2008 EN LA MICROCUENCA EL ATOLE, PALIZADA, MPIO DE VILLA VICTORIA, ESTADO DE MÉXICO	20
FIGURA 7. TRAZO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS DIVISIONES DE LOS LOTES EN LA PARCELA FORESTAL 2008 ..	25
FIGURA 8. TRAZO DE LA PLANTACIÓN	25
FIGURA 9. APERTURA DE CEPAS	25
FIGURA 10. TRAZO DE LÍNEAS GUÍA PARA CABALLONES Y TINAS CIEGAS Y CONSTRUCCIÓN DE CABALLONES	26
FIGURA 11. APLICACIÓN DE HIDROGEL	26
FIGURA 12. ESTABLECIMIENTO DE LA PLANTACIÓN	26
FIGURA 13. LOTES 1 Y 12, CEPA COMÚN CON HIDROGEL	27
FIGURA 14. LOTES 2 Y 14, ACABALLONADO	27
FIGURA 15. LOTE 3 Y 10, CEPA COMÚN	27
FIGURA 16. LOTES 4 Y 8, TRATAMIENTO SUBSUPERFICIAL	28
FIGURA 17. LOTE 5 Y 13, AHOYADO	28
FIGURA 18. LOTES 6 Y 11, TINAS CIEGAS	28
FIGURA 19. LOTES 7 Y 9 SUBSOLEO	29
FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN LA PARCELA FORESTAL 2007	31
FIGURA 21. DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN LA PARCELA FORESTAL 2008	32
FIGURA 22. DISTRIBUCIÓN DE LOS PLUVIÓGRAFOS DIGITALES EN LA MICROCUENCA EL ATOLE	33
FIGURA 23. TEMPERATURA OBSERVADA, MÁXIMA, MÍNIMA Y MEDIA, REGISTRADAS EN 2008 EN LA MICROCUENCA EL ATOLE	34
FIGURA 24. PRECIPITACIÓN DIARIA REGISTRADA EN EL AÑO 2008 EN LA MICROCUENCA EL ATOLE	36
FIGURA 25. PRECIPITACIÓN MENSUAL EN EL AÑO 2008 EN LA MICROCUENCA EL ATOLE	37
FIGURA 26. DÍAS CON LLUVIA POR MES EN EL AÑO 2008, EN LA MICROCUENCA EL ATOLE	37
FIGURA 27. EVENTOS DE PRECIPITACIÓN POR INTERVALOS DE 5 MM QUE SE PRESENTARON DURANTE 2008 EN LA MICROCUENCA EL ATOLE	38
FIGURA 28. BALANCE HÍDRICO PARA LA MICROCUENCA EL ATOLE	40
FIGURA 29. MEDIA ESTIMADA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA EL PERIODO SECO EN LA PARCELA FORESTAL 2008	41
FIGURA 30. CONTENIDO DE HUMEDAD DIARIO DURANTE EL PERIODO SECO REGISTRADO EN LA PARCELA FORESTAL 2007	42
FIGURA 31. MEDIA ESTIMADA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DURANTE EL PERIODO HÚMEDO EN LA PARCELA FORESTAL 2007	43
FIGURA 32. CONTENIDO DE HUMEDAD DIARIO DURANTE EL PERIODO HÚMEDO EN LA PARCELA FORESTAL 2007	44
FIGURA 33. MEDIA ESTIMADA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DURANTE EL PERIODO DE APROVECHAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN LA PARCELA FORESTAL 2007	45
FIGURA 34. CONTENIDO DE HUMEDAD DIARIO DURANTE EL PERIODO DE APROVECHAMIENTO DE HUMEDAD DEL SUELO EN LA PARCELA FORESTAL 2007	46
FIGURA 35. MEDIA ESTIMADA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO DURANTE EL PERIODO HÚMEDO EN LA PARCELA FORESTAL 2008	48
FIGURA 36. CONTENIDO DE HUMEDAD DIARIO DURANTE EL PERIODO HÚMEDO EN LA PARCELA FORESTAL 2008	49

FIGURA 37. MEDIA ESTIMADA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO DURANTE EL PERIODO DE APROVECHAMIENTO DE HUMEDAD DEL SUELO EN LA PARCELA FORESTAL 2008.....	51
FIGURA 38. CONTENIDO DE HUMEDAD DIARIO DURANTE EL PERIODO DE APROVECHAMIENTO DE HUMEDAD DEL SUELO EN LA PARCELA FORESTAL 2008	53
FIGURA 39. MEDIA ESTIMADA DEL INCREMENTO EN ALTURA EN LA PARCELA FORESTAL 2007	54
FIGURA 40. MEDIA ESTIMADA DEL INCREMENTO EN EL DIÁMETRO DEL TALLO EN LA PARCELA FORESTAL 2007	55
FIGURA 41. MEDIA ESTIMADA DEL INCREMENTO EN ALTURA EN LA PARCELA FORESTAL 2008	57
FIGURA 42. INCREMENTO EN EL DIÁMETRO DEL TALLO EN LA PARCELA FORESTAL 2008.....	58
FIGURA 43. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA EN LA PARCELA FORESTAL 2007	60
FIGURA 44. PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA EN LA PARCELA FORESTAL 2008	61

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. TEMPERATURA MEDIA Y OSCILACIÓN TÉRMICA MENSUAL EN LA MICROCUENCA EL ATOLE	35
CUADRO 2. PRECIPITACIÓN REGISTRADA EN 2008 Y UBICACIÓN DE LOS PLUVIÓMETROS INSTALADOS EN LA MICROCUENCA EL ATOLE	35
CUADRO 3. PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL Y DIAS CON LLUVIA REGISTRADA EN 2008 EN LA MICROCUENCA EL ATOLE	36
CUADRO 4. EVENTOS DE PRECIPITACIÓN POR INTERVALOS DE 5 MM QUE SE PRESENTARON EN LA MICROCUENCA EL ATOLE	38
CUADRO 5. BALANCE HÍDRICO DE LA MICROCUENCA EL ATOLE	39
CUADRO 6. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN EL PERIODO SECO DE LA PARCELA FORESTAL 2007	41
CUADRO 7. MEDIAS ESTIMADAS DE LOS TRATAMIENTOS Y GRUPOS DE HUMEDAD DEL SUELO	41
CUADRO 8. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA HUMEDAD DEL SUELO DURANTE EL PERIODO HÚMEDO EN LA PARCELA FORESTAL 2007	43
CUADRO 9. ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS ENTRE LAS CATEGORÍAS CON UN INTERVALO DE CONFIANZA DE 95% (TUKEY (HSD)).....	44
CUADRO 10. MEDIAS ESTIMADAS DE LOS TRATAMIENTOS Y GRUPOS DE HUMEDAD DEL SUELO	44
CUADRO 11. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN EL PERIODO DE APROVECHAMIENTO DE HUMEDAD DEL SUELO EN LA PARCELA FORESTAL 2007	45
CUADRO 12. ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS ENTRE LAS CATEGORÍAS CON UN INTERVALO DE CONFIANZA DE 95% (TUKEY, HSD)	46
CUADRO 13. MEDIAS ESTIMADAS DE LOS TRATAMIENTOS Y GRUPOS DE HUMEDAD DEL SUELO	46
CUADRO 14. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA HUMEDAD DEL SUELO PARA EL PERIODO HÚMEDO EN LA PARCELA FORESTAL 2008	47
CUADRO 15. ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS ENTRE LAS CATEGORÍAS CON UN INTERVALO DE CONFIANZA DE 95% (TUKEY, HSD)	48
CUADRO 16. MEDIAS ESTIMADAS DE LOS TRATAMIENTOS Y GRUPOS DE HUMEDAD DEL SUELO	49
CUADRO 17. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN EL PERIODO DE APROVECHAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN LA PARCELA FORESTAL 2008	50
CUADRO 18. ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS ENTRE LAS CATEGORÍAS CON UN INTERVALO DE CONFIANZA DE 95% (FISHER, LSD).....	51
CUADRO 19. MEDIAS ESTIMADAS DE LOS TRATAMIENTOS Y GRUPOS DE HUMEDAD DEL SUELO	52
CUADRO 20. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL INCREMENTO EN LA ALTURA DE PLANTA EN LA PARCELA FORESTAL 2007	54
CUADRO 21. MEDIAS ESTIMADAS DE LOS TRATAMIENTOS Y GRUPOS DE INCREMENTO EN ALTURA	54
CUADRO 22. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL INCREMENTO EN EL DIÁMETRO DEL TALLO EN LA PARCELA FORESTAL 2007	55
CUADRO 23. MEDIAS ESTIMADAS DE LOS TRATAMIENTOS Y GRUPOS DE INCREMENTO EN EL DIÁMETRO DEL TALLO EN LA PARCELA FORESTAL 2007	56
CUADRO 24. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL INCREMENTO EN ALTURA DE PLANTA EN LA PARCELA FORESTAL 2008	56
CUADRO 25. MEDIAS ESTIMADAS DE LOS TRATAMIENTOS Y GRUPOS DE INCREMENTO EN ALTURA EN LA PARCELA FORESTAL 2008	57
CUADRO 26. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL INCREMENTO EN EL DIÁMETRO DEL TALLO EN LA PARCELA FORESTAL 2008	58
CUADRO 27. MEDIA ESTIMADA DE LOS TRATAMIENTOS Y GRUPOS DE INCREMENTO EN EL DIÁMETRO DE LA PARCELA FORESTAL 2008	58
CUADRO 28. NÚMERO DE PLANTAS POR TRATAMIENTO EN LA PARCELA FORESTAL 2007	59
CUADRO 29. SUPERVIVENCIA EN LA PARCELA FORESTAL 2007	59
CUADRO 30. NÚMERO DE PLANTAS POR TRATAMIENTO EN LA PARCELA FORESTAL 2008	61
CUADRO 31. SUPERVIVENCIA EN LA PARCELA FORESTAL 2008	61

RESUMEN EJECUTIVO

En la cuenca Villa Victoria se estableció en 2007 una parcela forestal de 0.34 ha donde se evaluaron tres tratamientos con plantaciones forestales en diferentes preparaciones del suelo: plantación con cepa común de 30 x 30 cm, doble rastreo y arado de discos. Para el año 2008, se estableció una parcela forestal de 0.61 ha donde se establecieron catorce lotes (siete tratamientos con una repetición). Los tratamientos fueron: cepa común con hidrogel, acaballonado, cepa común, acondicionamiento subsuperficial, ahoyado, tinas ciegas y subsoleo. En ambas parcelas se evaluaron: la humedad del suelo, el escurrimiento superficial, la erosión del suelo y el desarrollo de la plantación, así como la supervivencia. El promedio de la precipitación registrada durante el 2008 en la microcuenca fue de 665 mm (que se considera como “año seco” ya que el promedio de precipitación es de 850 mm). Con la información climática recabada se realizó un balance hídrico para identificar los periodos para los cuales se realizaría la evaluación de la humedad del suelo. Los periodos fueron: *periodo seco*, aquel en el cual la evapotranspiración potencial es mayor que la evapotranspiración real, y por lo tanto hay déficit de humedad, comprende los meses de enero a mayo; *periodo húmedo*, es cuando la precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial, por lo que hay un exceso de humedad, comprende los meses de junio a septiembre; *periodo de humedad del suelo*, la evapotranspiración potencial es mayor que la evapotranspiración real, sin embargo hay humedad almacenada en el suelo, por lo que el déficit de humedad no se presenta, comprende los meses 21.622 de octubre a diciembre.

Parcela forestal 2007

La humedad del suelo en el periodo seco fue estadísticamente igual para los tres tratamientos, además, la humedad del suelo que se registró estuvo por debajo de la capacidad de campo (55.0% de humedad), y también estuvo por abajo del punto de marchitez permanente (23.5% de humedad), como se muestra en el siguiente cuadro:

Tratamiento	% Humedad (Media Estimada)	Grupo Estadístico
Doble rastreo	22.310	A
Arado de discos	21.969	A
Cepa común	21.622	A

En el periodo húmedo, la humedad del suelo fue diferente para los tres tratamientos. El mayor contenido de humedad se registró en el tratamiento con doble rastreo, seguido por el arado de discos y finalmente el de cepa común, con lo cual se comprueba que los tratamientos con movimiento de suelo pueden almacenar una mayor cantidad de humedad. Las medias del contenido de humedad de los tratamientos se presentan en el siguiente cuadro:

Tratamiento	% Humedad (Media Estimada)	Grupo Estadístico		
Doble rastreo	62.266	A		
Arado de discos	57.683		B	
Cepa común	55.563			C

En el periodo de humedad del suelo, la humedad fue mayor en el tratamiento de doble rastreo, en el resto de los tratamientos fue estadísticamente igual. Las medias del contenido de humedad de los tratamientos se presentan en el siguiente cuadro:

Tratamiento	% Humedad Media Estimada	Grupo Estadístico
Doble rastreo	44.062	A
Arado de discos	40.376	B
Cepa común	39.747	B

En relación con el desarrollo de la plantación, en el incremento de altura de las plantas no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, se observaron tendencias de un mayor incremento en el tratamiento con doble rastreo y un menor desarrollo en el tratamiento con arado de discos. Con respecto al incremento en el diámetro del tallo, tampoco se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, pero se observó que los tratamientos donde se realizó movimiento de suelo registraron los mayores valores de incremento del diámetro de tallo. Ambas información se presenta en los cuadros siguientes:

Tratamiento	Incremento en Altura de Planta (Media Estimada, cm)	Grupo Estadístico
Doble rastreo	8.525	A
Cepa común	6.900	A
Arado de discos	5.025	A

Tratamiento	Incremento en Diámetro de Tallo (Media Estimada, cm)	Grupo Estadístico
Doble rastreo	0.585	A
Arado de discos	0.558	A
Cepa común	0.370	A

En la supervivencia si se apreciaron diferencias, ya que el menor porcentaje lo presentó el tratamiento de cepa común, con el 57.14% de supervivencia de las plantas, seguido por el tratamiento con doble rastreo con 60.25%, y finalmente, se obtuvo el mayor porcentaje de supervivencia en el tratamiento con arado de discos con 66.12%, dicha información se corrobora en el siguiente cuadro:

Tratamiento	Total de Plantas (25-julio-07)	No. Plantas Vivas (31-diciembre-08)	No. Plantas Secas (31-diciembre-08)	% Supervivencia
Cepa común	168	96	72	57.14
Doble rastreo	156	94	62	60.25
Arado de discos	183	121	62	66.12
Total	507	311	196	

En cuanto al escurrimiento superficial y la erosión hídrica, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tratamiento	Precipitación 2008 (mm) (01 ene–31 dic)	Escurrimiento (mm)	Coefficiente de Escurrimiento anual	Erosión de Suelo (t/ha)
Cepa común	665.0	49.56	0.0745	0.185
Doble rastreo		27.87	0.0419	0.324
Arado de discos		15.24	0.0229	0.248

Claramente se observa que se presentó un mayor escurrimiento superficial en el tratamiento con cepa común y el menor escurrimiento en el tratamiento de arado de discos (esta misma tendencia se registró durante el año 2007). En cuanto a la erosión, al igual que en 2007, el menor valor se observó en el tratamiento con cepa común (porque no hay movimiento de suelo y hay desarrollo de vegetación secundaria que protege al suelo), por otro lado, el tratamiento con doble rastreo presentó mayor erosión con respecto al tratamiento con arado de discos, sin embargo, la diferencia no es tan marcada entre si ya que durante el 2008 no se realizó movimiento de la capa superficial ya que la preparación del suelo se realizó en el 2007.

Parcela forestal 2008

Los tratamientos de la parcela forestal 2008 se establecieron en la temporada de lluvias el 25 de julio, por lo que los periodos que se evaluaron fueron el periodo húmedo (época de lluvias) y el periodo de humedad del suelo (después de la época de lluvias).

En el periodo de humedad del suelo se encontraron diferencias significativas del contenido de humedad en los diferentes tratamientos, fue mayor en el tratamiento con tinas ciegas, acaballonado y subsoleo, y se registró un menor contenido de humedad en el tratamiento de capa común con hidrogel. En este punto es importante precisar que el efecto de retención de humedad del hidrogel se encuentra en la vecindad de las raíces, lo cual técnicamente dificulta la medición de la humedad, ya que en la presente investigación el método de medición de la humedad del suelo que se utilizó fue el gravimétrico. En el cuadro siguiente se muestran los tratamientos con el porcentaje medio de humedad y el grupo estadístico correspondiente.

Tratamiento	% de Humedad (Media Estimada)	Grupo Estadístico		
Tinas ciegas	51.844	A		
Acaballonado	51.387	A		
Subsoleo	51.304	A		
Cepa común	51.212	A	B	
Ahoyado	50.426	A	B	C
Acondicionamiento subsuperficial	49.788		B	C
Cepa común con hidrogel	49.677			C

Lo anterior muestra que los tratamientos que tuvieron una mayor capacidad de almacenamiento de humedad son los que captan mejor el escurrimiento superficial.

En el periodo de humedad del suelo, el tratamiento que registró el mayor contenido de humedad fue el tratamiento con subsoleo, seguido por los tratamientos con tinas ciegas y acaballonado; el que presentó menor contenido de humedad fue el tratamiento de cepa

común. El grupo estadístico por tratamiento, así como, el porcentaje medio de humedad se presentan en el siguiente cuadro:

Tratamiento	% de Humedad (Media Estimada)	Grupo Estadístico			
Subsoleo	47.691	A			
Tinas ciegas	45.699		B		
Acaballonado	44.751		B	C	
Cepa común	43.706			C	
Ahoyado	43.237			C	D
Acondicionamiento subsuperficial	41.616				D E
Cepa común con hidrogel	41.451				E

En cuanto al desarrollo de la plantación, se tuvo un mayor incremento en la altura de la planta en los tratamientos de tinas ciegas, acondicionamiento subsuperficial, subsoleo y ahoyado; y se registró un menor incremento de altura en el tratamiento con cepa común. Lo anterior se observa en el cuadro siguiente:

Tratamiento	Incremento en Altura de Planta (Media Estimada, cm)	Grupo Estadístico	
Tinas ciegas	0.875	A	
Acondicionamiento subsuperficial	0.800	A	
Subsoleo	0.788	A	
Ahoyado	0.763	A	
Acaballonado	0.663	A	B
Cepa común	0.650	A	B
Cepa común con hidrogel	0.288		B

En cuanto al diámetro del tallo, este fue estadísticamente igual para todos los tratamientos, lo que se corrobora en el siguiente cuadro:

Tratamiento	Incremento en diámetro de tallo (media estimada, cm)	Grupo Estadístico
Acaballonado	0.160	A
Tinas ciegas	0.153	A
Cepa común con hidrogel	0.146	A
Cepa común	0.134	A
Subsoleo	0.134	A
Acondicionamiento subsuperficial	0.129	A
Ahoyado	0.123	A

Es importantes mencionar que es corto el tiempo que ha transcurrido desde que se estableció la plantación (cinco meses), por lo que tanto los incrementos en la altura y el diámetro del tallo de las plantas aún no son perceptible en los tratamientos, esto debido a que gran parte de energía de la planta la utiliza para el desarrollo de raíces.

Debido a lo anterior tampoco se puede hacer una evaluación de la supervivencia, ya que aún se tienen en el suelo niveles de humedad aprovechables por la planta, y el periodo

crítico de “sequía” se presentará en los meses de enero a mayo, sin embargo, se presenta en el cuadro siguiente el porcentaje de supervivencia que se tuvo hasta el mes de diciembre de 2008 donde se observa que para todos los tratamientos se tuvieron porcentajes de supervivencia mayores a 97%.

Tratamiento	% Supervivencia
Cepa común con hidrogel	97.7
Acaballonado	97.4
Cepa común	99.2
Acondicionamiento subsuperficial	98.4
Ahoyado	98.4
Tinas ciegas	99.3
Subsuelo	99.2

Se puede apreciar que en los tratamientos donde se realizó movimiento de suelo se capta el escurrimiento, por eso en las tinas ciegas y el acaballonado se registró una tendencia de mayor contenido de humedad en el periodo de lluvias, y por tanto existió una mayor disponibilidad de agua para las plantas durante el periodo de aprovechamiento de humedad del suelo, y se reflejó también al tener una mayor supervivencia.

La precipitación del periodo comprendido del 25 de julio (fecha de la plantación) al 31 de diciembre de 2008 fue de 260.2 mm. Se presentaron 6 eventos de escurrimiento en los cuales se registró la siguiente información:

Tratamiento	Precipitación 2008 (mm) (25 jul–31 dic)	Escurrimiento (mm)	Coefficiente de escurrimiento	Erosión del suelo (t/ha)
Cepa común	260.2	22.13	0.0850	0.121
Cepa común con hidromel		18.54	0.0712	0.108
Ahoyado		14.28	0.0549	0.091
Acondicionamiento subsuperficial		10.78	0.0414	0.115
Acaballonado		8.05	0.0309	0.082
Subsuelo		11.64	0.0447	0.101
Tinas ciegas		6.71	0.0258	0.054

Se observa que tanto las tinas ciegas como el acaballonado, fueron los tratamientos que presentaron menores láminas de escurrimiento, lo cual coincide en que también fueron los tratamientos que presentaron un mayor contenido de humedad en el suelo. Por otro lado también se reflejó en que registraron las menores tasas de erosión. Lo contrario sucedió con los tratamientos de cepa común y cepa común con hidrogel que arrojaron los valores más altos de escurrimiento superficial y por tanto representaron mayores pérdidas de suelo por erosión.

ANTECEDENTES

Ante la necesidad del desarrollo de tecnología forestal, poniendo énfasis en la conservación, protección y restauración y poniendo especial atención en los procesos de erosión y degradación del suelo, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), a través de la Subcoordinación de Conservación de Cuencas y Tecnología Forestal, en el año 2007 llevó a cabo el proyecto "*Determinación de parámetros hidrológicos en el sistema suelo-bosque-agua*", con el objetivo de evaluar la capacidad de almacenamiento de humedad, evaluar los coeficientes de escurrimiento y las tasas de erosión hídrica en suelos forestales bajo diferentes preparaciones de suelo, así como, para determinar las características y la interrelación de los factores que influyen en la respuesta de los procesos hidrológicos de lluvia-escurrimiento y erosivos y contaminantes en suelos con manejo agropecuario y forestal a través del análisis multiescala. Dicho proyecto se desarrolló en una microcuenca de la cuenca Villa Victoria que se ubica en el Estado de México.

La investigación se realizó en una parcela forestal de 0.34 ha, en donde se evaluaron tres tratamientos con plantaciones forestales en diferentes preparaciones del suelo, y se registró la humedad del suelo, el escurrimiento superficial, la erosión del suelo y el desarrollo de la plantación. Además se cuantificó la precipitación con cinco pluviómetros digitales.

Los resultados que se obtuvieron mostraron que el escurrimiento y la erosión hídrica fueron mayores en los tratamientos con cultivos de escarda. En la parcela agrícola, se cuantificó un escurrimiento de 44.122 mm, con lo que se determinó un coeficiente de escurrimiento anual de 0.047, y una erosión anual de 2.444 t/ha. En cuanto a la parcela forestal, los tratamientos que se establecieron fueron: cepa común, doble rastreo, y arado de discos. El mayor escurrimiento se presentó en el tratamiento con cepa común, y el menor en el tratamiento que consideró la preparación del suelo con arado de discos. En el contenido de humedad se tuvo una ligera tendencia a guardar más humedad en el tratamiento con cepa común. De manera general se presentó un mayor desarrollo de la plantación en el tratamiento con cepa común, sin embargo, el periodo de evaluación hasta ese momento era tan solo de cinco meses, por lo que surge la necesidad de evaluar un ciclo completo de crecimiento de las plantaciones, aunque en la literatura se menciona que la evaluación debe ser de varios años.

Ante esta situación, en la Subcoordinación de Conservación de Cuencas y Tecnología Forestal se planteó la necesidad de continuar con la evaluación de los tratamientos durante el 2008, y al mismo tiempo evaluar otras técnicas de preparación del suelo con la finalidad de identificar cuales son las más eficientes para asegurar un mayor porcentaje de supervivencia y un mayor desarrollo de las plantaciones establecidas como reforestaciones; las técnicas de preparación que se consideraron para evaluarlas son: cepa común con hidrogel, acaballonado, cepa común acondicionamiento subsuperficial, ahoyado, tinas ciegas y subsoleo. Los tratamientos con una repetición se establecieron en parcelas de 400 m², y el total de la superficie utilizada para el sitio experimental es de 0.61 ha.

1. INTRODUCCIÓN

Se han realizado estudios en plantaciones forestales de diferentes especies y en diferentes tiempos, que van desde 21 meses hasta 7 años, para evaluar el efecto de la preparación del terreno, tubos protectores y control de malezas, en el desarrollo de las plantas forestales.

En Chile, los bajos supervivencias y escaso crecimiento de las plantaciones, debido en gran medida por las técnicas de establecimiento motivaron el desarrollo de los protocolos de plantación, los cuales buscan controlar los factores más limitantes para el desarrollo de la plantación, principalmente suelo, disponibilidad de agua y calidad de la planta. Este trabajo tiene como objetivo evaluar el crecimiento estacional y la rentabilidad de *Pinus radiata*, utilizando tres métodos de establecimiento de plantaciones. Teniendo como prácticas de establecimiento, el subsolado o subsoleo, control de malezas pre y post plantación y fertilización de apoyo. En la primera se mejoran las características estructurales del suelo para acrecentar el desarrollo de las raíces, el control de malezas persigue eliminar o disminuir la competencia de agua y nutrimentos, y la última incrementar la nutrición de las plantas para tener un rápido desarrollo inicial.

En estudios relativos se menciona que en un estudio realizado en Sudáfrica, se concluyó que los máximos beneficios económicos y ecológicos en una plantación de cuatro años se obtienen al utilizar plantas en el establecimiento con un diámetro de cuello promedio de 4.1 mm y límite máximo de malezas de 1,500 kg/ha de biomasa. En este caso, en términos económicos los tratamientos económicos no se justifican. (Zwolinski, J, *et. al.* 1996)

A su vez, Mason *et al.* (1996) determinaron que para el establecimiento de pino radiata era necesario utilizar la mejor calidad de planta y un esquema de control de malezas, para maximizar el desarrollo de la misma en los primeros años de vida. Al mismo tiempo, concluyeron que los tratamientos al suelo (subsolado) eran más recomendables para suelos húmedos y mal drenados, que para suelos ligeros y bien drenados.

Por otro lado, Balneaves *et al.* (1996), en un estudio realizado sobre un suelo seco de Canterbury, Nueva Zelanda, concluyeron que la calidad de la planta producida en vivero, el manejo de ella postvivero (poda de raíces a 10 cm, almacenamiento en cuarto frío y plantación en no más de 24 horas), el subsolado, y principalmente el control de malezas, son los factores más significativos en el incremento de volumen de la especie a largo plazo.

En la región costera de Oregon, Estados Unidos, se realizó un estudio que duró siete años, en el cual se determinó la supervivencia y el crecimiento de *Pseudotsuga menziesii*; aplicando seis métodos de preparación del sitio. Los resultados del estudio concluyeron que la supervivencia, el diámetro del tallo a 15 cm sobre el suelo y la altura fueron superiores al utilizar métodos de quema y aplicación de herbicidas, que al utilizar un método manual de limpieza al momento de plantar o no utilizar ningún método de establecimiento (Stein. 1991).

Jiménez, *et. al.* (2005), evalúa el crecimiento y supervivencia de plántulas de *Juniperus thurifera* con el uso de tubos protectores en tierras agrícolas mediterráneas semiáridas. Durante dos años se tomaron datos biométricos y después de este periodo se extrajeron

algunas plantas aleatoriamente para medir algunos parámetros morfológicos del sistema radicular.

En un estudio realizado en España (Peñuelas, 2001) se menciona la influencia de las malas hierbas en el desarrollo y supervivencia de las reforestaciones en terrenos agrícolas, en donde los estudios realizados por el Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo" ponen en evidencia que la presencia de estas limita seriamente las repoblaciones en terrenos agrícolas, ya que en los que se ha impedido el desarrollo de la cubierta herbácea, han incrementado la supervivencia y el crecimiento respecto a los tratamientos testigos. Se menciona que las malas hierbas, además de competencia por agua, pueden crear microclimas adversos y tener efectos alelopáticos. En otros estudios realizados por este mismo Centro (Peragón *et. al.*1997), con especies de *Quercus*, menciona los efectos de dos formas de preparación del terreno, ahoyado manual y subsolado profundo, en donde concluyen que con el primer tratamiento se mejora notablemente la supervivencia de las plántulas que con el segundo tratamiento.

Ocaña, B. *et. al.* (1996), menciona que de los estudios realizados en plantaciones de diferentes comunidades de España, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

*Tanto las especies del género *Quercus* como las del género *Pinus* tienen graves problemas de supervivencia en los terrenos agrícolas abandonados, especialmente cuando a las limitaciones propias de estos terrenos se unen las condiciones de sequía extrema de los últimos años y la competencia de las malas hierbas.

*Las quercíneas se muestran más exigentes que los pinos para sobrevivir en las condiciones de estación de estas parcelas. Los crecimientos son siempre considerablemente superiores en los pinos.

*La competencia herbácea es un grave obstáculo para el establecimiento de los dos géneros. En la parcela del Serranillo el daño sobre las quercíneas fue más rápido que sobre los pinos, debido posiblemente a que estos crecieron más rápidamente y lograron evitar en alguna medida esta competencia.

*El peligro derivado de la competencia herbácea permanece mientras el árbol no adquiere una dominancia clara sobre éstas. Por esta razón el período de peligro se prolonga durante más tiempo para las quercíneas, dada su lentitud de crecimiento.

*En las difíciles condiciones de repoblación de la España seca, el adelanto de las plantaciones al otoño y la eliminación de la competencia herbácea son dos de las medidas más útiles para conseguir mejorar el establecimiento de las plantaciones.

Por su parte, Domínguez *et. al* (1999) concluye de su trabajo que:

- Las plantas se ven altamente favorecidas por una preparación del terreno esmerada y profunda, sobre todo las especies del género *Quercus* y otras especies mediterráneas, que desarrollan un sistema radical profundo y pivotante como estrategia para evitar la sequía.

- Las especies herbáceas de los terrenos agrícolas, sobre todo anuales, no generan un microclima más favorable, durante el periodo de mayor estrés, para el crecimiento y supervivencia de los plantones de encina. Este hecho unido a la mayor eficacia en la

extracción de agua del suelo después de la lluvia, al ocupar los 10-15 cm superiores del perfil, puede explicar la elevada mortalidad encontrada en las repoblaciones de estos terrenos.

En un trabajo realizado por Roldan (1996), este menciona que los tratamientos mecánicos del suelo para la reforestación incrementan la infiltración del agua y aumentan la capacidad de retención de humedad, reducen el escurrimiento y ayudan en el desarrollo de las raíces.

En este trabajo se evaluó la efectividad de algunos métodos de forestación de zonas semiáridas del sureste de España con *P. halepensis*. Un diseño de dos factores, con cuatro preparaciones de terrenos, que incluyó la adición de desechos sólidos urbanos, y como segundo factor, la adición de suelo forestal en la cepa, en un periodo de veintinueve meses. Se observó que la adición de suelo forestal mejoró el crecimiento de la planta en todos los tratamientos y al parecer se debe a naturaleza microbológica.

Los resultados muestran que el crecimiento de los pinos en los primeros nueve meses fue significativamente mayor en el tratamiento con terracedo mecánico y adición de residuos sólidos urbanos (materia orgánica) y después de 21 meses, la altura media en este tratamiento fue de 95%-173% mayor que en los otros tratamientos. El diámetro del tallo tuvo una respuesta similar. Es importante notar que en el periodo de observación, el desarrollo de la plantación (altura de la planta y diámetro del tallo) tuvo diferentes comportamientos

En cuanto a las tasas de supervivencia, esta era de aproximadamente 100% en todos los tratamientos, hasta 18 meses, en donde se tuvo una mortalidad importante en dos de los tratamientos (terraceado manual y terraceado manual con adición de desechos sólidos urbanos).

Con respecto a la humedad del suelo, esta tuvo diferencias, siendo mayor en el tratamiento con terracedo mecánico y adición de desechos sólidos urbanos, en la temporada húmeda, incrementándose la diferencia en la temporada seca.

En este artículo se menciona que los tratamientos mecánicos del suelo para la reforestación incrementan la infiltración del agua y aumentan la capacidad de retención de humedad, reducen el escurrimiento y ayudan en el desarrollo de las raíces.

Entonces el experimento muestra que los diferentes métodos de preparación presentan diferencias significativas en la mortalidad y en el crecimiento de *Pinus alepensis*. La adición de materia orgánica (residuos sólidos urbanos) mejora el desarrollo en todos los tratamientos, ya que según algunos autores esta favorece el desarrollo de las plantas bajo condiciones de estrés hídrico. Esto demuestra que la materia orgánica mejora las características físicas y microbológicas del suelo y puede reducir las enfermedades de las plantas, teniendo como consecuencia un incremento en el crecimiento de la planta. La adición de materia orgánica resulta importante en suelos degradados, ya que los niveles de nutrimentos pueden encontrarse en niveles limitantes para el desarrollo de la planta.

Bajo las condiciones en las que se desarrolló el experimento la preparación del suelo debe estar encaminada en incrementar la cantidad de agua disponible para la planta y un método es la adición de materia orgánica, que mejora la estructura y estimula la formación de agregados, y consecuentemente mejora la macroporosidad, favoreciendo con esto los

procesos de infiltración y capacidad de retención de agua. El terracedo limita el escurrimiento y permite la infiltración. En el experimento, la combinación de estas técnicas permitió un incremento en el contenido de humedad del suelo, siendo mayor que en el resto de los tratamientos. Este incremento fue considerablemente mayor en los periodos secos.

Un dato importante del experimento es que durante los primeros seis meses no se observaron diferencias en el desarrollo de las plantas.

México, por su parte, enfrenta desde hace varios años, una disminución acelerada de su superficie boscosa y a pesar de los esfuerzos por recuperar estas superficies, a través de las reforestaciones, estas tienen una eficiencia muy baja y en esta intervienen diferentes factores.

Con la presente investigación se espera entender y caracterizar con precisión los factores determinantes (y la interacción entre ellos) que intervienen en los procesos de lluvia-escurrimiento y de transporte de sedimentos mediante la erosión hídrica, además del como impactan las actividades productivas agropecuarias y forestales en los procesos. Además, la determinación de los parámetros hidrológicos que intervienen en el escurrimiento y en la pérdida de suelo, permitirán evaluar modelos numéricos de transferencia y realizar modelaciones de escenarios de las diferentes prácticas de manejo productivo-conservacionista para determinar escenarios de manejo sustentables.

2. OBJETIVOS

Sistematizar la información de parámetros hidrológicos y de desarrollo de las plantaciones forestales con los tratamientos establecidos en 2007 y en 2008 por la Subcoordinación de Conservación de Cuencas y Tecnología Forestal, del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, bajo diferentes técnicas de preparación del suelo,

3. METODOLOGÍA

4.1. Caracterización general de la microcuenca

4.1.1. Ubicación de la microcuenca

La microcuenca El Atole se localiza en el municipio de Villa Victoria en el Estado de México, una perspectiva tridimensional de la microcuenca se presenta en la figura 1.

Lasas coordenadas UTM de la microcuenca son las siguientes:

norte	2 158 921	sur	2 158 506
oeste	381 395	este	382 772

Fuente: INEGI, 1998, Carta topográfica E14A26 Anganguero, ITRF92, elipsoide GRS80.

Cuenta con una superficie de 35.39 ha y su altitud oscila entre 2700 a 2820 msnm (Figura 2 y figura 3).



Figura 1. Perspectiva de la microcuenca El Atole Palizada, Mpio. de Villa Victoria, Estado de México

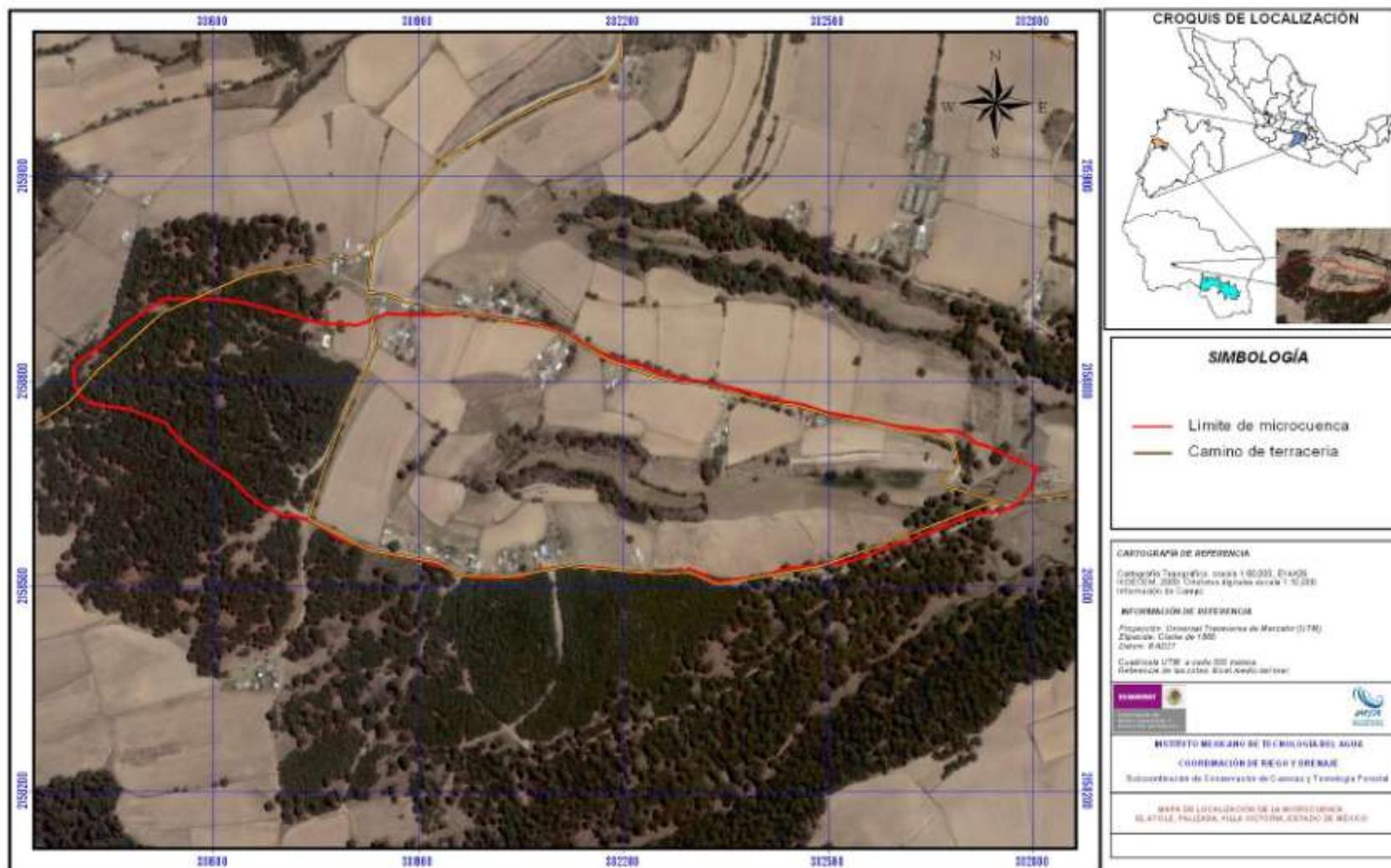


Figura 2. Localización de la microcuenca El atole, Palizada, Villa Victoria, Estado de México

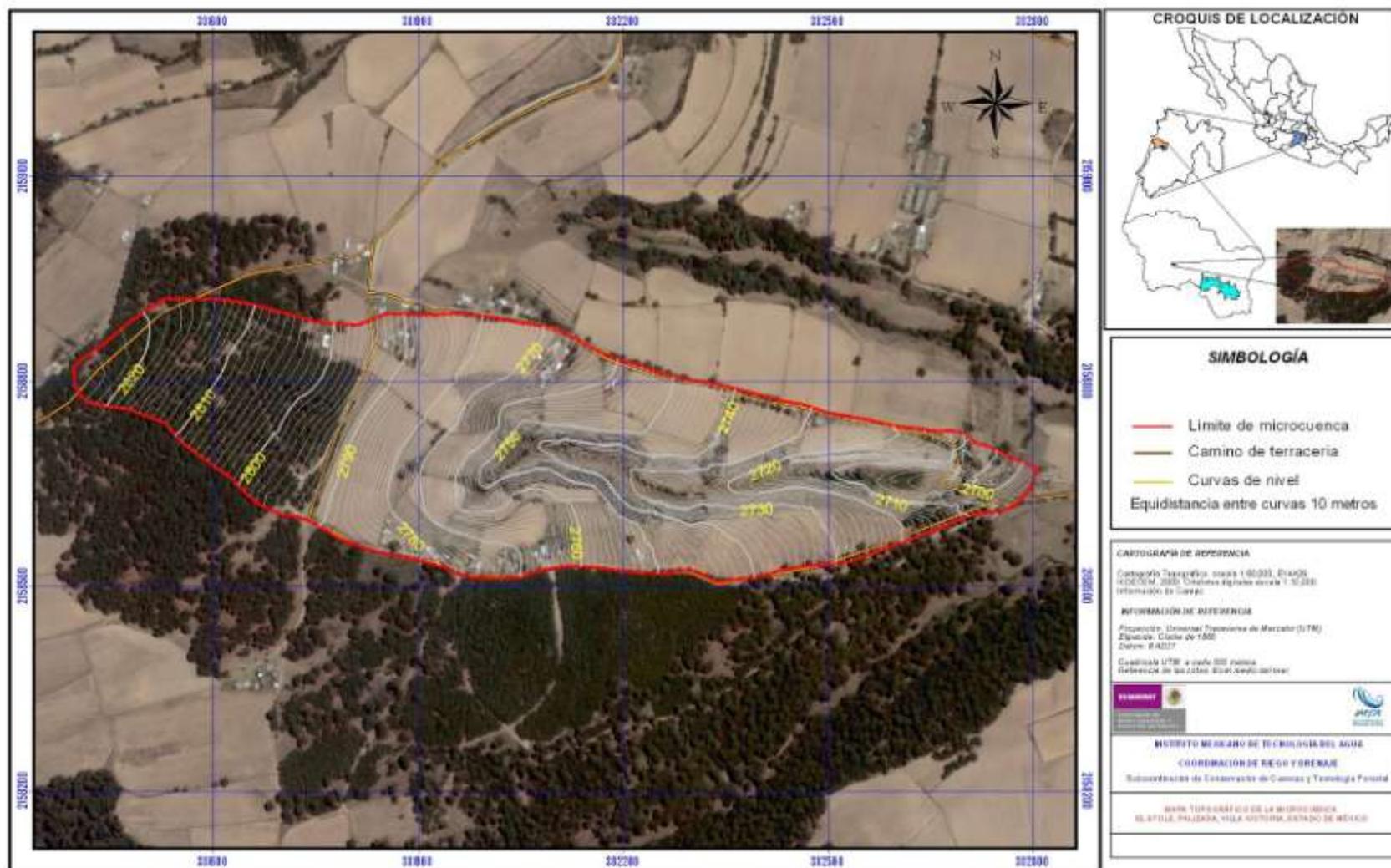


Figura 3. Mapa topográfico de la microcuenca el Atole, Palizada, Mpio de Villa Victoria, Estado de México

4.1.2. Hidrología

La microcuenca pertenece a la subcuenca Pundereje dentro de la cuenca Villa Victoria, quien a su vez pertenece a la región hidrológica No. 18, que es la del Río Balsas, subcuenca del Río Cutzamala. Es una cuenca que pertenece al sistema Cutzamala a través de la cual se suministra de agua a la ciudad de México. El volumen que escurre en la cuenca se capta en la presa Villa Victoria, ésta es la segunda en importancia por su capacidad de almacenamiento después de la presa Valle de Bravo.

4.1.3. Fisiografía

La cuenca Villa Victoria pertenece a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, dentro de la subprovincia de Lagos y Volcanes del Anáhuac. Esta provincia cubre la mayor parte del estado de México en su porción norte. Limita al sur con la Sierra Madre del Sur (INEGI, 1987).

4.1.4. Geología

El Eje Neovolcánico está caracterizado geológicamente por el predominio de rocas volcánicas cenozoicas que datan del terciario y del cuaternario. En la cuenca encontramos rocas ígneas extrusivas como la riolita, basalto, andesita, brecha volcánica, tobas con fragmentos piroclásticos de 1 cm de diámetro y pumicita de color blanco (INEGI, 1987).

4.1.5. Suelo

En general los suelos de la región se formaron en su mayoría a partir de cenizas volcánicas, producto de las erupciones más recientes en el periodo cuaternario y derivados de rocas basálticas y brecha (Carta edafológica 1:50 000, INEGI).

Los suelos más importantes que se encuentran en la microcuenca lo constituyen los Andosoles derivados de cenizas volcánicas. Son suelos muy ligeros pues su espacio poroso es muy abundante y con alta capacidad de retención de agua. Se caracteriza en su parte mineral por la presencia de alófanos, que son materiales amorfos de alta capacidad de intercambio catiónico y de alta retención de fósforo. La saturación de las bases es moderada, los contenidos de calcio, sodio y magnesio son moderados y los de potasio son bajos. Los suelos son de textura media a gruesa por lo que la permeabilidad es de moderada a rápida (INEGI, 1987).

En la cuenca dominan el andosol húmico y el andosol ócrico, clasificados de acuerdo al contenido de materia orgánica. El primero con una capa superficial oscura o negra, con alto contenido de materia orgánica, y generalmente son muy ácidos. Los segundos tienen una capa superficial de color claro, pobre tanto en nutrientes como materia orgánica, con un grado de acidez moderado (INEGI, 1987).

4.1.6. Vegetación y uso del suelo

La vegetación presente es muy variada, como lo muestran la existencia de los diversos tipos de bosques de encino – pino (confieras y encinos), bosque de pino (confieras), bosque de pino – encino con vegetación secundaria (muy pequeña proporción),

actualmente y debido a los desmontes que se han practicado en grandes áreas, han provocado la erosión de los suelos.

La agricultura ocupa superficie considerable en la cuenca, los principales cultivos son: haba, maíz y avena. El uso del suelo es fundamentalmente agrícola con 15.76 ha (44.73%), forestal con 8.93 ha (25.23%), pecuario con 6.15 ha (17.38%), plantación forestal con 1.28 ha (3.62%) y vivienda con 3.27 ha (9.24%).

Los cambios de uso de suelo con respecto a 2007 se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Uso de suelo 2007 y 2008 en la microcuenca El Atole

USO DE SUELO	2008	%	2007	
AGRÍCOLA	15.76	44.53	14.86	41.99
FORESTAL	8.93	25.23	8.93	25.23
PECUARIO	6.15	17.38	7.59	21.45
PLANTACIÓN FORESTAL	1.28	3.62	0.74	2.09
VIVIENDA	3.27	9.24	3.27	9.24
	35.39	100.00	35.39	100.00

En la Figura 4 se muestra el uso de suelo de la microcuenca y la numeración de las parcelas que la conforman.

4.1.7. Clima

De acuerdo con García (1988), el área que comprende la cuenca se clasifica como un clima $Cb'(w_2)(w)(i')$, que corresponde a un templado subhúmedo, con lluvias en verano, el más húmedo de los templados, precipitación del mes más seco menor de 40 mm y el % de lluvias invernal menor de 5. La oscilación de la temperatura es de 5 – 7 °C.

Los meses más lluviosos son junio y agosto con una precipitación de 196.4 - 209.9 mm. La sequía más fuerte se presenta en los meses de febrero y marzo con unas precipitaciones que van desde 6.5 - 9.7 mm. Los meses más cálidos son mayo y junio con temperaturas entre 13.6 °C - 13.8 °C, los meses más fríos son enero y febrero con temperaturas entre 7.8 – 8.4 °C.

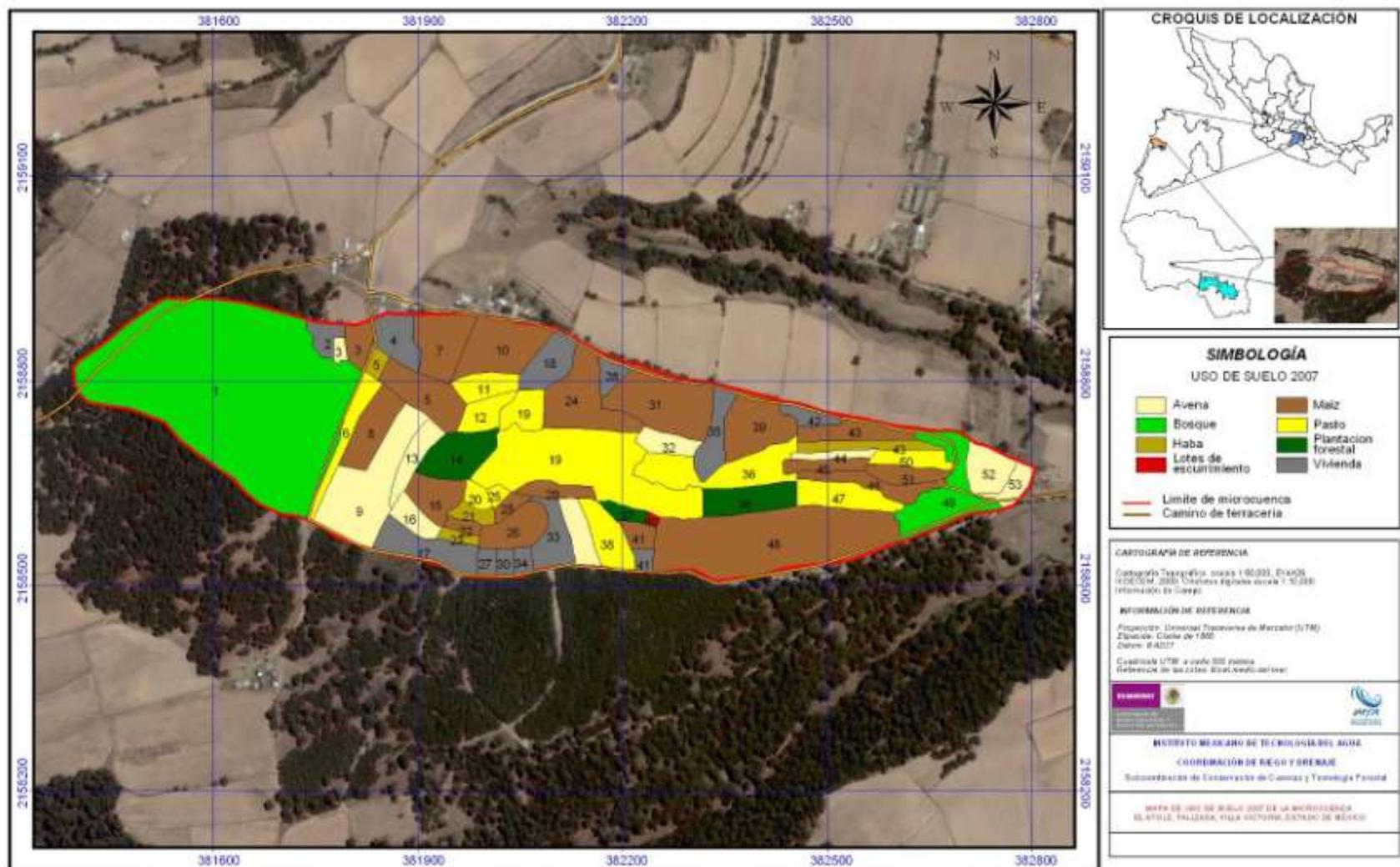


Figura 4. Uso de suelo 2008 y numeración de las parcelas de la microcuenca El Atole, Palizada, Mpio. de Villa Victoria, Estado de México

4.2. Establecimiento de la parcela forestal

4.2.1. Descripción de la especie

La especie utilizada en la plantación es el pino ayacahuite, su nombre científico es *Pinus ayacahuite* Ehren y los nombres comunes con los que se le conoce en diferentes regiones del país son: Acalocahuite; Acalocote, A'cxua't (lengua totonaca), Ayacahuite, Ayaucúahuitl (lengua nahuatl); Ocote blanco, Pino real, Ocote gretado, Colcoján; Pinabete, Pino cahuite, Pino tabla, Salacahuite, Acanita, Canite, Pino blanco, Pino huiyoco, Acolote,

Es un árbol nativo del centro de México hasta Centroamérica.

4.2.1.1. Forma biológica

Árbol de 35 - 40 m de altura y DN de 2 m; 20 - 30 m de altura, con copa cónica y crecimiento moderado, vive cerca de 100 años. Se caracteriza por sus escamas delgadas, frágiles, largas y angostas, gradualmente atenuadas hacia la base; y por el ala de sus semillas también larga y estrecha.

4.2.1.2. Fenología

Sus hojas son aciculares perennifolias, florece de marzo a mayo y los frutos maduran de septiembre a octubre

4.2.1.3. Distribución en México

Se le localiza entre los 15° 15' a 20° 55' de latitud N y los 92° 10' a 103° 55' de longitud oeste.

Es una especie típica del SE de México, aunque se extiende hasta el centro del país. Puede mezclarse con otros pinos y abetos en las montañas de México; hay grupos considerables en las montañas de Chiapas, Oaxaca y Guerrero; además de un pequeño grupo en Puebla y Tlaxcala.

4.2.1.4. Requerimientos Ambientales

Altitud

Se desarrolla en altitudes de 2000 - 3200; aunque es más frecuente entre los 2700 msnm

Suelo

Se desarrolla en suelos andosoles, de profundidad media y de textura franca, franco arcillosa y franco limosa y bien estructurados, tolera pedregosidades hasta de 10% y suelos de bien drenados a moderadamente drenados. Como se desarrolla en andosoles tolera pH ácidos, de 4.3 a 6.9.

Temperatura (°C)

La temperatura para el desarrollo de esta especie es:

Media: 12 - 19

Mínima: - 8.

Máxima: 35.

Precipitación (mm)

De 1000 a 1800 mm, de 4 a 6 meses secos; 700 a 1200, período de lluvia de abril a octubre.

4.2.1.5. Otros aspectos importantes

No se adapta al calor y ambientes áridos, crece muy bien en condiciones frías y de mucha humedad, en sitios con días nublados casi la mitad del año y heladas muy frecuentes. Resiste heladas y es tolerante a la sombra en etapas juveniles.

4.2.1.6. Usos

En el centro del país el principal uso es como pino navideño, aunque se utiliza para reforestación en las zonas urbanas y suburbanas, también su madera es apreciada en la elaboración de muebles, moldes de fundición, y en la construcción. La resina se utiliza en la elaboración de diversos productos. La madera es de buena calidad, suave y manejable, útil en la artesanía, aserrío, triplay, celulosa, papel, puntales para minas, construcciones y ebanistería. Se recomienda para parques y jardines o campos deportivos, por su bella apariencia.

4.2.2. Ubicación de las parcelas forestales

En 2007 se estableció una parcela forestal, propiedad del Sr. Eliseo Vázquez Guzmán, con pino navideño (*Pinus ayacahuite*) con dos métodos de preparación de suelo, doble rastreo y arado de discos, y con cepa común, con una superficie total de 0.34 ha.

En 2008 se estableció una parcela forestal, propiedad de la Sra. Silvia en donde se evaluaron siete preparaciones de suelo, que son cepa común, cepa común con hidrogel, acondicionamiento subsuperficial, acaballonado, subsoleo, tinas ciegas y ahoyado mecánico.

La ubicación de las parcelas y la distribución de los tratamientos en las parcelas se muestran en las figuras 5 y 6.

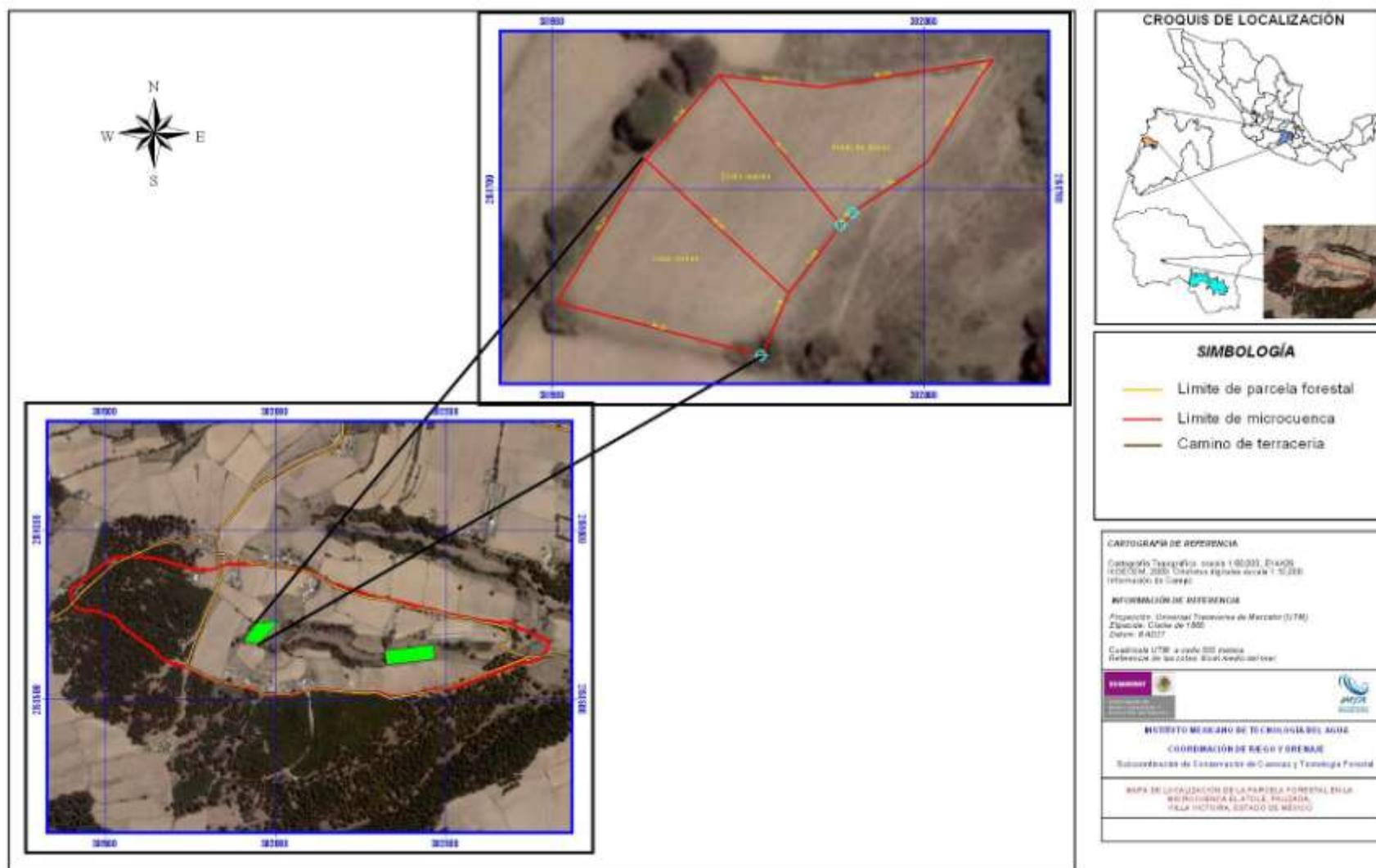


Figura 5. Localización de la parcela forestal 2007 en la microcuenca el Atole, Palizada, Mpio de Villa Victoria, Estado de México

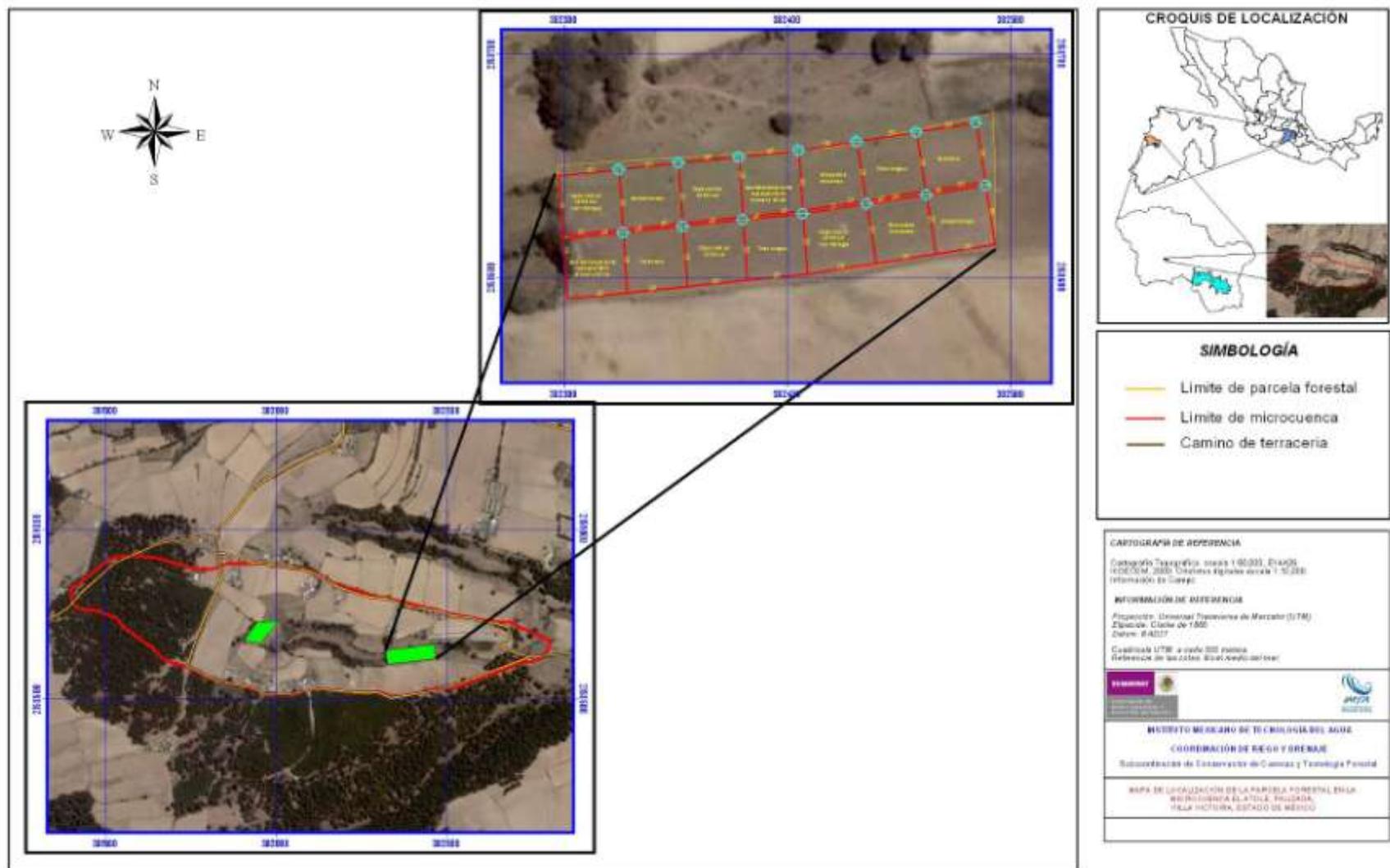


Figura 6. Localización de la parcela forestal 2008 en la microcuenca el Atole, Palizada, Mpio de Villa Victoria, Estado de México

4.2.3. Descripción de los tratamientos

En la parcela forestal 2007 se tienen tres lotes con los tratamientos de cepa común, doble rastre y arado de discos, que como su nombre lo indica, se prepararon mecánicamente con un paso doble de rastra y con un paso de arado de discos, esto en 2007.

La parcela experimental de 2008 se estableció en la propiedad de la Sra. Silvia, con una superficie total de 0.61ha, la cual se dividió en lotes de 20mx20m, de los cuales se obtuvieron 14 lotes para establecer 7 tratamientos con una repetición.

Los tratamientos son:

1. Cepa común con hidrogel
2. Acaballonado
3. Cepa común
4. Acondicionamiento subsuperficial
5. Ahoyado
6. Tinas ciegas
7. Subsoleo

El trazo de los lotes y de la plantación se realizó con base en el levantamiento topográfico, tratando de tener uniformidad en la plantación y en el tamaño de los lotes. Posterior al trazo se levantaron los bordos con yunta, estos bordos además de dividir a los lotes, se utilizaron para captar el escurrimiento de cada lote. Una vez delimitados, se procedió a su preparación de acuerdo al tratamiento correspondiente, como a continuación se menciona.

1. Cepa común con hidrogel

El hidrogel es un copolímero de poliacrilamida (polímero) capaz de retener, de acuerdo a su ficha técnica, de 330 a 400 veces su peso en agua el cual, al colocarse a la profundidad de raíces, la pone disponible para las plantas casi en su totalidad, lo cual resulta en una posibilidad de disponer de agua en las épocas críticas para la planta. Este polímero, además de retener agua contiene trazas de potasio, entre otros elementos, que son nutrimentos para la planta. La vida útil de este polímero es de aproximadamente cinco años.

2. Acaballonado

Es la preparación mecanizada y lineal del suelo para la plantación formando bordos o caballones siguiendo las curvas de nivel, mediante el uso de un arado de vertedera de tracción mecánica o animal. La profundidad del movimiento de suelo esta limitada por la profundidad del suelo. Es una práctica muy eficiente para la captación del escurrimiento, ya que por las características de los bordos, este puede captarse casi en su totalidad, aunque se deben tomar las precauciones necesarias en el caso de presentarse una tormenta extraordinaria para evitar rupturas en los caballones.

El espaciamiento entre caballones se realiza mediante las siguientes fórmulas:

$$IV = \left(2 + \frac{P}{3} \right) 0.305$$

En donde:

IV = Intervalo vertical

P = Pendiente del terreno (%)

3 = Factor que se aplica en áreas con precipitación menor a 1200 mm

0.305 = Factor de ajuste de unidades, de pies a metros

$$IH = \left(\frac{IV}{P} \right) 100$$

En donde:

IH = Intervalo horizontal

P = Pendiente del terreno (%)

3. Cepa común

Es la práctica más tradicional para el establecimiento de plantaciones forestales y reforestaciones y consiste en abrir cepas que dependen del tamaño del cepellón a una profundidad adecuada, según lo permitan las condiciones de profundidad del suelo. En este caso se consideró una cepa de 30 x 30 centímetros a una profundidad de 40 cm.

4. Acondicionamiento subsuperficial

Mediante este tratamiento se busca eliminar la cubierta vegetal que en un momento dado pudiera resultar en competencia por agua con la plantación, y mejorar las condiciones físicas del suelo, recomendable sobre todo en terrenos que han dejado de ser agrícolas y que presentan algún grado de compactación. Con esto se busca que las raíces no tengan impedimentos físicos para su crecimiento, y con la preparación, aumentar la rugosidad del suelo, lo cual permite una mayor infiltración de agua en el perfil del suelo.

5. Ahoyado manual

Es un proceso puntual de preparación del terreno con instrumentos como pico y azadón y el principal objetivo es mejorar las condiciones físicas del suelo en el área donde se desarrollará la planta y consiste básicamente en aflojar la tierra en un diámetro aproximado de un metro en donde se establecerá la planta, a una profundidad aproximada de 50 cm, para posteriormente extraer la tierra de la cepa en donde finalmente se colocará la planta. La profundidad y el diámetro de influencia estarán en función de las características del suelo y tamaño de la planta.

6. Tinas ciegas

Consiste en abrir zanjas y bordos en forma discontinua sobre las curvas de nivel, tal discontinuidad forma un dique divisor entre zanja y zanja. El espaciamiento entre bordos se determina mediante las fórmulas expuestas en la descripción del acaballonado, se trazan las líneas guía a un medio del espaciamiento calculado y se determinan las dimensiones de la zanja teniendo en consideración las tormentas que pudieran ocasionar ruptura en los bordos, para lo cual se considera un periodo de retorno de 10 años.

La construcción se hace de forma discontinua de tal manera que la proyección de un tramo de la zanja coincida con un tramo ciego de la siguiente curva.

Independientemente de la profundidad y plantilla, cada zanja o tina ciega, debe tener una longitud de 2.5 metros y una separación que puede variar de 0.5 a 2.5 metros

7. Subsoleo

El subsoleo es la preparación mecanizada que consiste en la rotura de los horizontes inferiores del suelo son alterar su disposición, con el fin de proporcionar las condiciones necesarias para un rápido desarrollo de las raíces de las plantas a establecer. Generalmente se realiza cuando hay horizontes o capas endurecidas que impiden o limitan el intercambio gaseoso y de agua en el perfil.

4.2.4. Establecimiento de los tratamientos

1. Cepa común con hidrogel

Se abrieron cepas de 30x30x40 de manera manual y en el fondo se depositaron 5 gr de hidrogel en la mitad de cepas y 10 gr de hidrogel en la mitad restante. Se procedió entonces a plantar de la manera tradicional, cuidando la alineación de las raíces y dándole la compactación necesaria para evitar bolsas de aire que perjudicaran a la planta.

2. Acaballonado

Para la construcción de los caballones se trazaron primeramente líneas guía siguiendo la curva de nivel, este se realizó con nivel de manguera y de acuerdo al espaciamiento calculado

Dadas las condiciones de pendiente del terreno, se procedió a levantar los bordos o caballones con arado de yunta. En la primera vuelta, el arado vierte la tierra hacia abajo y en la segunda vuelta, hacia arriba, dándole una profundidad aproximada de 40 cm, que es el límite de profundidad del suelo.

Se establecieron líneas intermedias de árboles entre caballones para tener una densidad de plantas aproximadamente iguales en todos lo tratamientos.

3. Cepa común

Este tratamiento es en realidad el testigo para comparar la eficiencia de las prácticas propuestas, ya que es la forma tradicional para establecimiento de plantaciones forestales y reforestaciones.

Se trazó la plantación a marco real de 2.5m x 2.5m se abrieron cepas de 30 x 30 x 40 cm y se plantaron los árboles siguiendo las recomendaciones de compactación del suelo y enderezado de raíces.

4. Acondicionamiento subsuperficial

Este se realizó con arado de yunta y consistió en dar dos pasos de arado, como se realiza comúnmente en la comunidad cuando se establecerá un cultivo, para posteriormente realizar el trazo y la apertura de cepas como se menciona en el tratamiento con cepa común.

5. Ahoyado

Como su nombre lo indica, se realizó de manera manual con pico. Se realizó el trazo de la plantación como se indica en el tratamiento con cepa común y en el lugar en donde se plantaría un árbol, se aflojó la tierra en un diámetro de un metro a una profundidad de 50 cm y posteriormente abrir la cepa para realizar la plantación.

6. Tinas ciegas

Para este tratamiento, se calculó el espaciamiento horizontal de las líneas como se indica en el apartado para caballones, y se procedió al trazo de las líneas guía con nivel de manguera. La construcción se realizó de manera manual y las dimensiones finales fueron de 2.5 m de longitud por 30 cm de ancho y 30 cm de profundidad. Los árboles se plantaron sobre el bordo de la tina ciega, teniendo la precaución de abrir la cepa sobre el suelo firme. Puesto que se recomienda la siembra de árboles en el fondo de la tina ciega, se procedió de esta manera, ya que dada la somera profundidad del suelo la planta estaría sobre material parental, no considerado como suelo y considerado como material infértil, el cual no proporcionaría nutrimentos necesarios para el desarrollo de las plantas. Se establecieron líneas intermedias entre las tinas ciegas para tener una densidad de plantas aproximadamente igual al resto de los tratamientos.

7. Subsoleo

Este se realizó de manera lineal siguiendo el trazo de la plantación a una profundidad aproximada de 50 cm.

En las figuras 7 a 19 se muestra gráficamente el proceso que se siguió para el establecimiento de los lotes experimentales en la parcela forestal 2008, así como los lotes una vez establecidos.



Figura 7. Trazo y construcción de las divisiones de los lotes en la parcela forestal 2008.



Figura 8. Trazo de la plantación.



Figura 9. Apertura de cepas.



Figura 10. Trazo de líneas guía para caballones y tinas ciegas y construcción de caballones.



Figura 11. Aplicación de hidrogel.



Figura 12. Establecimiento de la plantación.



Figura 13. Lotes 1 y 12, cepa común con hidrogel.



Figura 14. Lotes 2 y 14, acaballonado.



Figura 15. Lote 3 y 10, cepa común.



Figura 16. Lotes 4 y 8, tratamiento subsuperficial.



Figura 17. Lote 5 y 13, ahoyado.



Figura 18. Lotes 6 y 11, tinajas ciegas.



Figura 19. Lotes 7 y 9 subsoleo.

La distribución de los tratamientos en las parcelas se muestra en las figuras 20 y 21.

4.3. Registro de información

4.3.1. Termómetro de máximas y mínimas

El registro de la temperatura se realiza mediante un termómetro de máximas y mínimas, ubicado en la casa del Sr. Mario Velásquez. El termómetro da lecturas directas en °C y la información se toma diariamente a las 8 de la mañana. Además de las temperaturas máximas y mínimas se hace el registro de la temperatura observada, que es la temperatura al momento de tomar la información.

4.3.2. Registro de la precipitación

El registro de la precipitación se realiza mediante cuatro pluviómetros digitales tipo basculante, denominados HOBO, distribuidos en la parte alta media y baja de la microcuenca, los cuales registran la información en dataloger, para su posterior descarga mediante el software BOXCAR 3.6.

Además se cuenta con un pluviómetro de cuña y un pluviómetro totalizador

La ubicación de los pluviógrafos digitales en la microcuenca se presenta en la figura 22.

4.3.3. Registro de la humedad del suelo

Este se realiza mediante el método gravimétrico, para lo cual se toma una muestra de suelo a una profundidad de 0 a 30 cm, la cual se protege para evitar la pérdida de humedad en el traslado al secado, se determina el peso de la muestra mediante una balanza granataria y una vez pesada se mete a la estufa de secado. Se considera a la

muestra seca cuando esta alcanza peso constante. Una vez seca la muestra, se pesa nuevamente y la diferencia de pesos es la cantidad de agua, para obtener el porcentaje de humedad se aplica la siguiente fórmula:

$$\theta = \frac{PSH - PSS}{PSS} \times 100$$

En donde:

- θ = Humedad del suelo (%)
- PSH = Peso del suelo húmedo (g)
- PSS = Peso del suelo seco (g)

Para caracterizar la humedad del suelo, se toman dos muestras de suelo para cada tratamiento, distribuidos uniformemente, en dos horarios, 8:00 y 18:00 horas.

4.3.4. Desarrollo de la plantación

Como en este tipo de plantas el crecimiento es lento, el registro de la altura de la planta y el diámetro del tallo se llevaba a cabo cada semana. Adicionalmente también se llevó a cabo el registro de la cantidad de planta que fueron sobreviviendo para determinar la supervivencia de la plantación.

Para obtener esta información se eligieron las 4 plantas de cada tratamiento que se estuvieron monitoreando durante 2007, siendo reemplazadas estas cuando sufrían algún daño o se secaban.

Para la parcela forestal 2008, se eligieron 4 plantas por cada lote.

La altura de las plantas se realizó con cinta métrica y el diámetro del tallo se midió con un vernier.



Figura 20. Distribución de los tratamientos en la parcela forestal 2007



Figura 21. Distribución de los tratamientos en la parcela forestal 2008

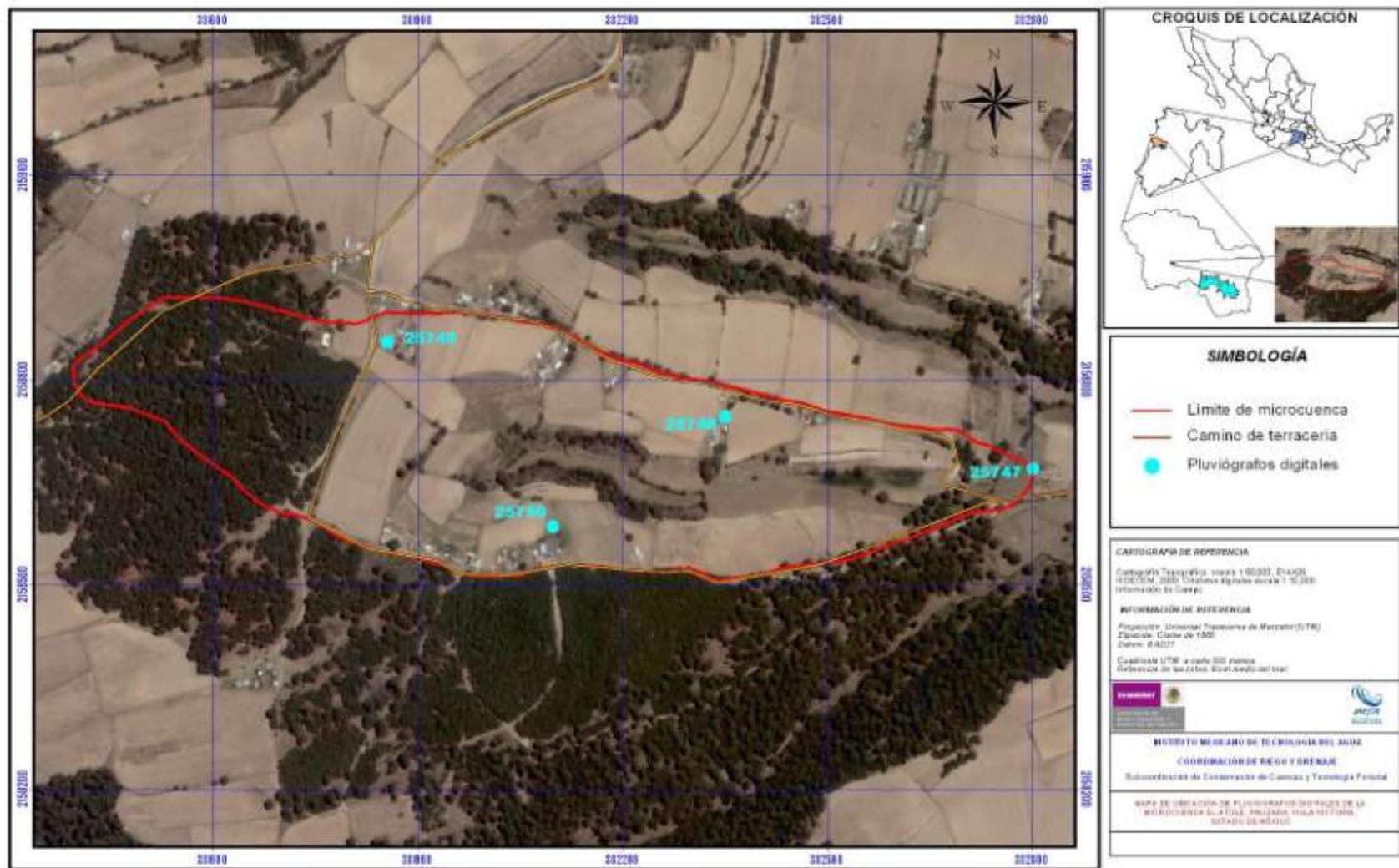


Figura 22. Distribución de los pluviógrafos digitales en la microcuenca El Atole

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis de las temperaturas observadas, máximas y mínimas

Durante el año 2008, se registró diariamente la temperatura observada, la máxima y la mínima, la temperatura media se obtiene promediando la temperatura máxima y la temperatura mínima. La información obtenida se presenta en el Anexo IV y de manera gráfica en la Figura 23.

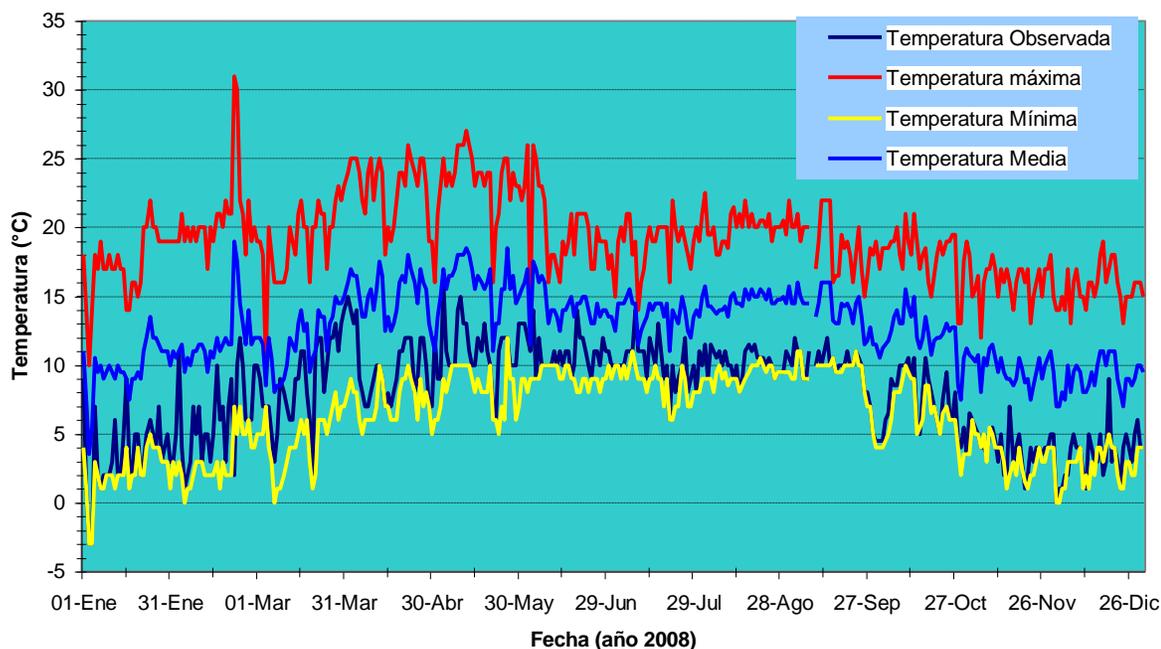


Figura 23. Temperatura observada, máxima, mínima y media, registradas en 2008 en la microcuenca El Atole

La temperatura es uno de los factores más importantes para el desarrollo de las plantas, ya que esta puede limitar o incluso causar daños. Desde el punto de vista agronómico, las heladas se presentan cuando la temperatura alcanza 4°C y es cuando se pueden presentar daños para las plantas, se observa entonces en la gráfica que el período de heladas, en el inicio del año se presentaron hasta el mes de marzo, y a finales del año se presentaron a partir del mes de octubre, aunque se llegó a presentar una helada temprana en el mes de septiembre.

Las temperaturas altas por su parte, también pueden provocar daños, y como se observa en la gráfica, estas alcanzaron su máximo en los meses de abril y mayo, aunque a inicios del año también se tuvieron temperaturas altas.

La oscilación térmica, que es la diferencia entre la temperatura máxima y mínima, nos indica la variación que tuvo la temperatura durante el día, y de acuerdo con el cuadro 2 su valor más alto fue en el mes de febrero.

Este comportamiento resulta importante para el desarrollo de la plantación forestal, puesto que esta sometida en los inicios del año a heladas y variaciones altas de temperaturas, aunado a la escasez de agua, somete a estrés a las plantas, y en los meses mas críticos son los factores causantes de una alta mortalidad de plantas.

Cuadro 2. Temperatura media y oscilación térmica mensual en la microcuenca El Atole

Mes	Temperatura media (°C)	Oscilación térmica (°C)
ENERO	10	15
FEBRERO	12	18
MARZO	12	15
ABRIL	15	16
MAYO	16	15
JUNIO	14	11
JULIO	14	10
AGOSTO	15	11
SEPTIEMBRE	14	10
OCTUBRE	12	12
NOVIEMBRE	10	13
DICIEMBRE	9	13

5.2. Análisis de la precipitación

En la microcuenca se tienen instalados cuatro pluviógrafos digitales, en los cuales se recopiló la información de todo el año 2008, en donde se tuvo una precipitación promedio de 665 mm. La información de cada pluviógrafo se presenta en el cuadro 3.

Cuadro 3. Precipitación registrada en 2008 y ubicación de los pluviómetros instalados en la microcuenca El Atole

No. Pluviómetro	Ubicación		Precipitación 2007 (mm)
	Lugar	Coordenadas UTM	
25747	Casa de Carlos Vázquez	382 806 E 2 158 673 N	626.2
25748	Casa de Uriel Vázquez	382 348 E 2 158 725 N	Sufrió daños
25750	Casa de Enrique Vilchis	382 096 E 2 158 586 N	703.8
25749	Casa de Martín Martínez	381 854 E 2 158 856 N	Sufrió daños
Promedio			665

La información de la precipitación diaria promedio que se registró en el periodo en el año 2008 en la microcuenca se presenta en el Anexo III. La gráfica respectiva de la precipitación promedio diaria se presenta en la Figura 24.

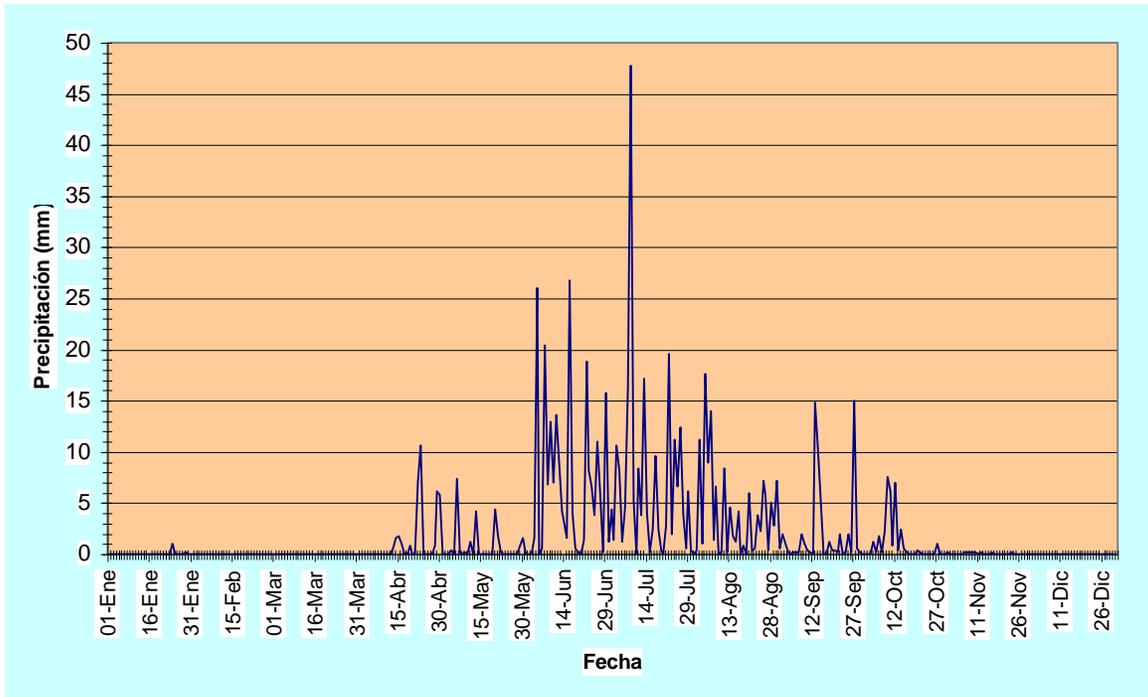


Figura 24. Precipitación diaria registrada en el año 2008 en la microcuenca El Atole

En el Cuadro 4 se presenta la precipitación promedio mensual, así como, los días con precipitación por mes. En las Figuras 25 y 26 se presenta en forma gráfica.

Cuadro 4. Precipitación media mensual y días con lluvia registrada en 2008 en la microcuenca El Atole

MES	PRECIPITACIÓN (mm)	DÍAS CON LLUVIA
ENERO	1.5	2
FEBRERO	0.2	0
MARZO	0	0
ABRIL	36.2	10
MAYO	23.9	11
JUNIO	197.9	26
JULIO	194.7	28
AGOSTO	118.3	28
SEPTIEMBRE	55.8	24
OCTUBRE	32.9	17
NOVIEMBRE	3.6	8
DICIEMBRE	0	0
TOTAL	665	146

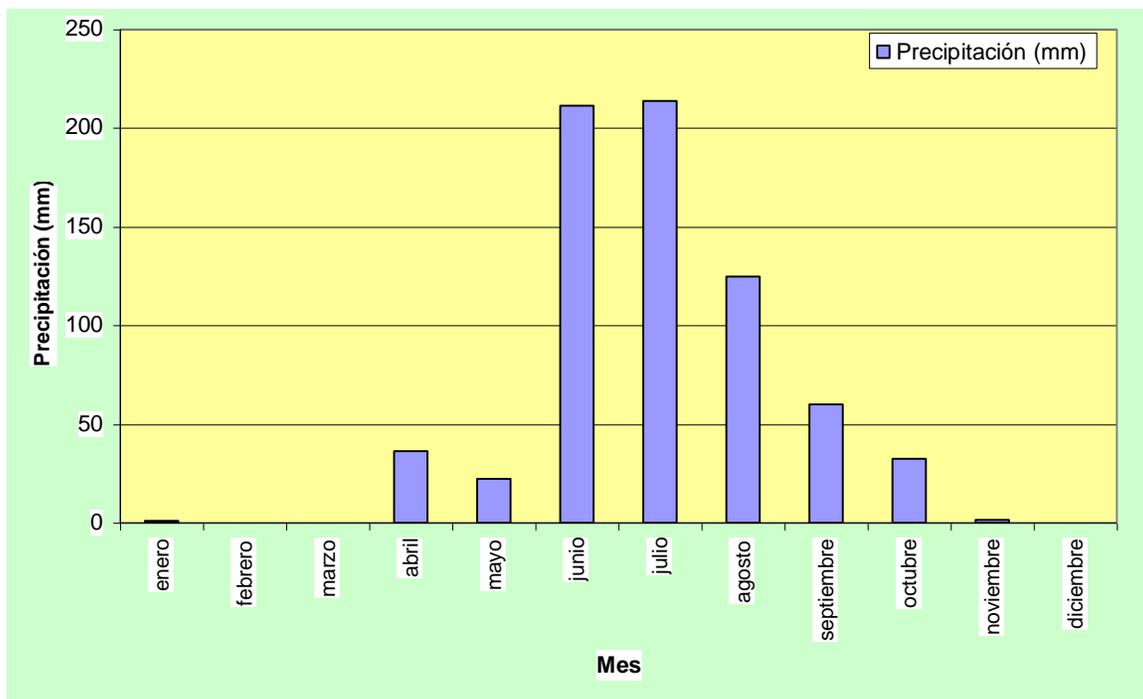


Figura 25. Precipitación mensual en el año 2008 en la microcuenca el Atole

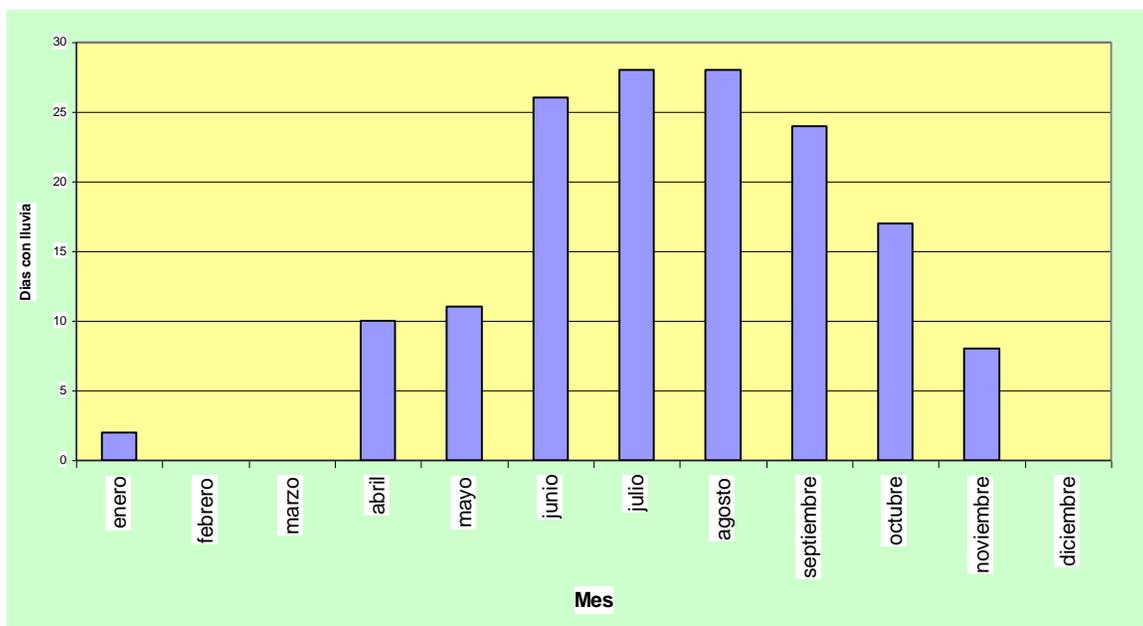


Figura 26. Días con lluvia por mes en el año 2008, en la microcuenca El Atole

Se observa que la precipitación presente en el año fue menor con relación a la registrada en el año 2007, ya que en este año se registro un promedio de 935.2 mm.

Dichas lluvias se presentaron principalmente en los meses de junio a septiembre, aunque se observa que en los meses de agosto a septiembre la precipitación fue menor con relación a otros años. La precipitación en este periodo, que corresponde a la estación lluviosa fue de 566.7 mm y corresponde a 85.2% de la precipitación total.

La lluvia máxima en 24 horas se presentó el 8 de julio y la lámina precipitada fue de 48.7 mm.

Se realizó también una distribución de eventos por intervalos de 5 mm, que se presentan en el cuadro 5 y de manera gráfica en la figura 27.

Cuadro 5. Eventos de precipitación por intervalos de 5 mm que se presentaron en la microcuenca El Atole

Intervalo de precipitación (mm)	No. Eventos
<5	105
5-10	27
10-15	12
15-20	6
20-25	1
25-30	2
>30	1

De acuerdo con este cuadro el grueso de los eventos de precipitación, 68.2%, presentaron precipitación menor a 5 mm, de acuerdo con algunos autores, para que se presenten eventos de escurrimiento la precipitación tiene que ser mayor a 15 mm, por lo que se esperaría tener 10 eventos de escurrimiento, sin embargo influye también la intensidad de la precipitación y la humedad antecedente. En capítulos posteriores se analizarán los eventos de escurrimiento.

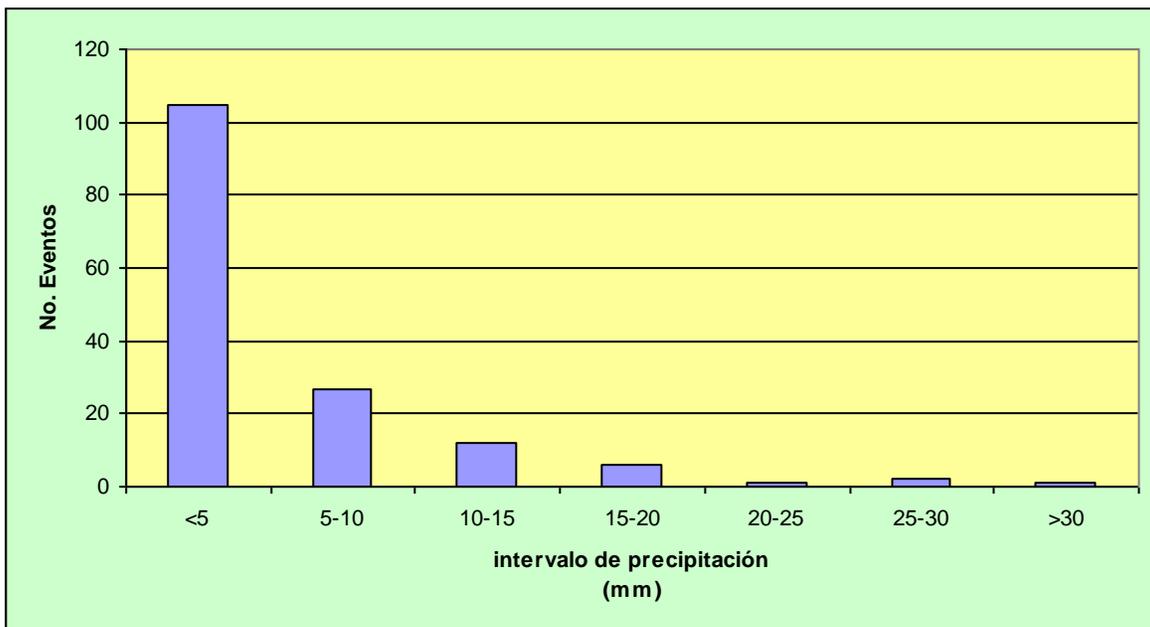


Figura 27. Eventos de precipitación por intervalos de 5 mm que se presentaron durante 2008 en la microcuenca El Atole

5.3. Balance hídrico

Este se realizó con la metodología propuesta por Thornthwaite y Matter, para el cual se tomo información recabada en campo, temperatura precipitación y evaporación, esta última se obtuvo de los registros de la estación Palizada con un promedio de 35 años, en sus medias mensuales, a partir de la cual se tiene información de pérdidas y ganancias de humedad en el suelo, así como excedentes de lluvia, que se transforman en escurrimiento y para fines del presente trabajo nos permitió identificar los periodos para los cuales se realizará el análisis de humedad del suelo en los sitios experimentales.

Los resultados del balance hídrico para la microcuenca El Atole se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Balance hídrico de la microcuenca El Atole

VARIABLE	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
T	9.7	11.8	11.8	15.2	15.8	14.5	13.7	14.7	14.0	12.2	10.0	10.7	
ETP	82.8	102.0	153.3	161.6	153.5	116.1	103.8	101.8	93.1	92.2	78.2	70.2	
P	1.2	0.0	0.0	36.2	22.4	211.4	213.6	124.6	60.2	32.6	1.6	2.0	
P-ETP	-81.6	-102.0	-153.3	-125.4	-131.1	95.3	109.8	22.8	-32.9	-59.6	-76.6	-68.2	-602.8
ppa	-250.7	-352.7	-506.0	-631.4	-762.5	0.0	0.0	0.0	-32.9	-92.5	-169.1	-237.3	
ST	8.2	2.9	0.6	0.2	0.0	95.3	100.0	100.0	72.0	39.7	18.4	9.3	446.7
DST	1.2	-5.2	-2.3	-0.5	-0.1	95.3	4.7	0.0	-28.0	-32.3	-21.2	-9.1	
ETR (mm)	2.4	5.2	2.3	36.7	22.5	116.1	103.8	101.8	93.1	64.9	22.8	11.1	582.7
D	80.4	96.8	151.0	124.9	131.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.3	55.4	59.1	725.9
S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	105.1	22.8	0.0	0.0	0.0	0.0	127.9
Qs	1.2	0.6	0.3	0.1	0.1	0.0	52.6	37.7	18.8	9.4	4.7	2.4	128.0
Qt	1.2	0.6	0.3	0.1	0.1	0.0	52.6	37.7	18.8	9.4	4.7	2.4	128.0
DT	9.3	3.5	0.9	0.3	0.1	95.4	152.6	137.7	90.8	49.1	23.1	11.7	
DT (short)	9.3	3.5	0.9	0.3	0.1	95.4	152.6	137.7	90.8	49.1	23.1	11.7	574.6

El significado de las variables empleadas (con unidades en mm) es:

- ETP = Evapotranspiración potencial mensual
- P = Precipitación mensual
- P – ETP = Diferencia entre precipitación y evapotranspiración potencial mensual
- PPA = Pérdida potencial acumulada de humedad para cada mes
- ST = Agua almacenada en el suelo para cada mes
- DST = Cambios en la humedad acumulada en el suelo para cada mes
- ETR = Evapotranspiración real por mes
- D = Déficit de humedad por mes
- S = Exceso de humedad para cada mes
- Qs = Escurrimiento superficial para cada mes
- Qsn = Escurrimiento superficial proveniente de nieve por cada mes
- Qt = Escurrimiento superficial total por mes
- DT = Detención de humedad que comprende toda el agua en el suelo

Se observa en la figura 28 que prácticamente en la primera mitad del año se tiene un déficit de humedad, aunque en enero, febrero y la primera mitad de marzo se tiene aún

una pequeña reserva de humedad en el suelo, siendo los meses mas críticos la segunda mitad de marzo, abril y la primera mitad de mayo, puesto que en este mes se comienzan a presentar las primeras lluvias y esta se aprecia en la gráfica como aprovechamiento de la humedad del suelo. A partir de mayo y hasta octubre se tiene la temporada de lluvias, aunque el exceso de humedad se tiene en los meses de junio julio y agosto y partir de este mes las reservas de agua comienzan a utilizarse por las plantas por lo que resta del año.

De lo anterior podemos definir entonces que se tiene un periodo seco en los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo, un periodo húmedo en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, y un periodo en donde se tiene un aprovechamiento de la humedad del suelo en los meses de octubre, noviembre y Diciembre.

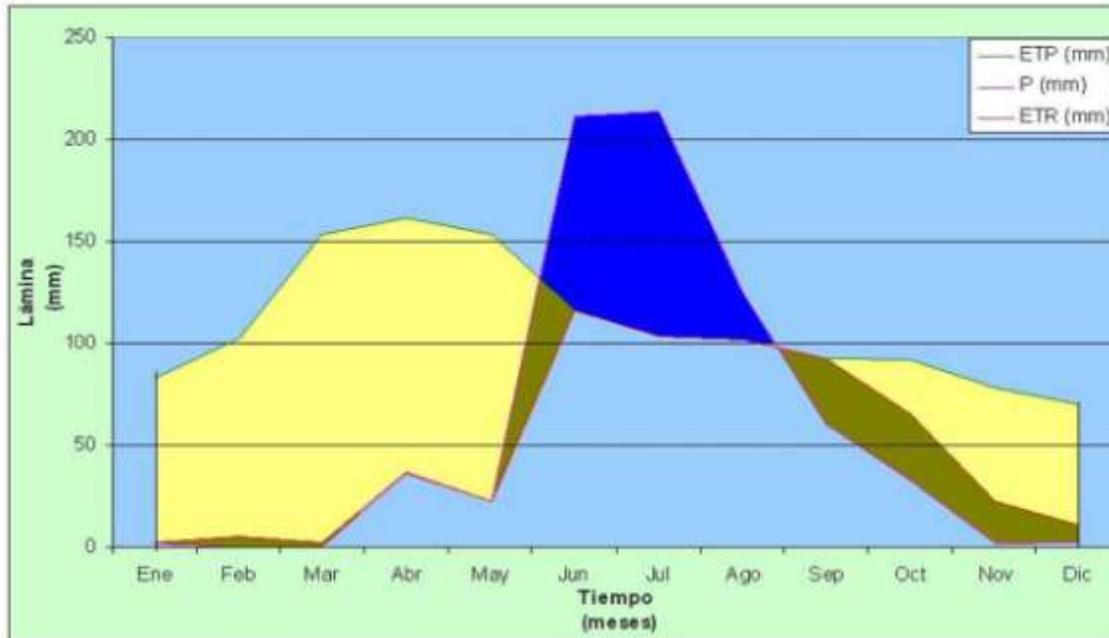


Figura 28. Balance hídrico para la microcuenca El Atole

5.4. Análisis de la humedad del suelo

5.4.1. Parcela forestal 2007

Se tomaron muestras de suelo de la parcela durante todo el año, con el fin de realizar un análisis se dividió el año, de acuerdo con el balance hídrico y con el fin de reducir la varianza en tres periodos.

5.4.1.1. Periodo seco

El primer periodo comprendido por los meses de enero a mayo, corresponde al periodo seco, y es en donde la evapotranspiración potencial es mayor que la evapotranspiración real y por lo tanto hay déficit de humedad.

Se realizó un análisis de varianza para determinar si entre los tratamientos hay diferencias significativas en el contenido de humedad, para lo cual se plantean las hipótesis:

$$H_0: T_1 = T_2 = T_3$$

H_1 : Algún tratamiento es diferente

El análisis de varianza se presenta en el cuadro 7.

Cuadro 7. Análisis de varianza de la humedad del suelo en el periodo seco de la parcela forestal 2007

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	2	36.440	18.220	0.579	0.561
Error	459	14447.503	31.476		
Total corregido	461	14483.943			

Calculado contra el modelo $Y = \text{Media } (Y)$

De la tabla anterior se aprecia y se concluye que no se rechaza la hipótesis nula, es decir, que en el periodo seco, la humedad del suelo es igual para los tres tratamientos.

La media de los tratamientos se presenta en el cuadro 8 y de manera gráfica en la figura 29.

Cuadro 8. Medias estimadas de los tratamientos y grupos de humedad del suelo

Categoría	Media estimada	Grupos
DOBLE RASTREO	22.310	A
ARADO DE DISCOS	21.969	A
CEPA COMUN	21.622	A

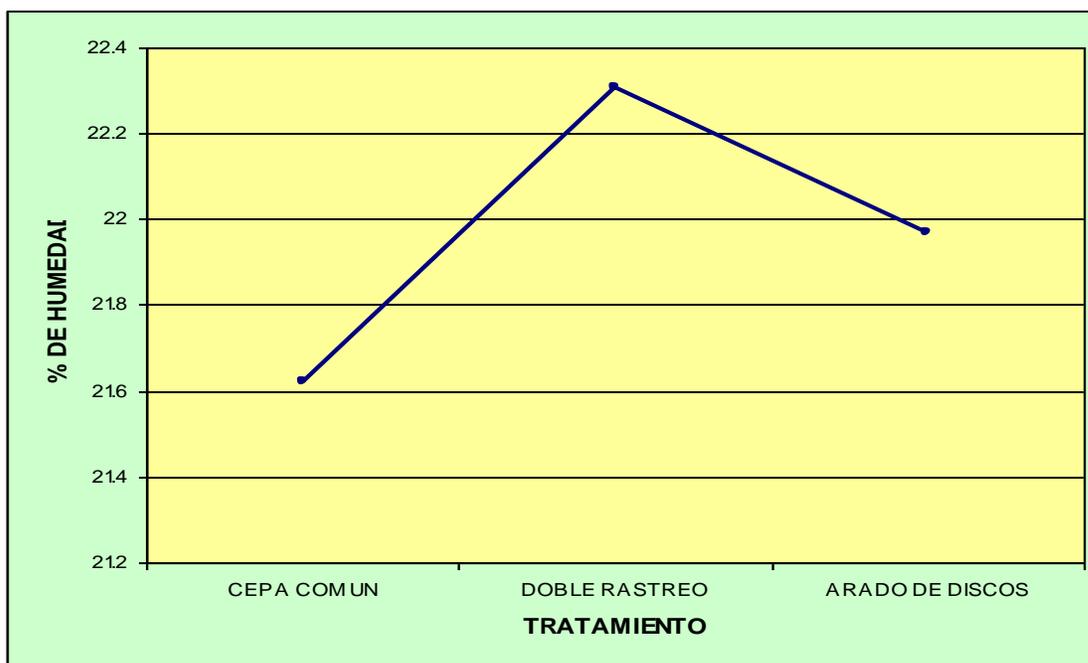


Figura 29. Media estimada del contenido de humedad para el periodo seco en la parcela forestal 2008

Para contextualizar esta información, en la figura 30 se presentan gráficamente los resultados de las pruebas de humedad en los tres tratamientos.

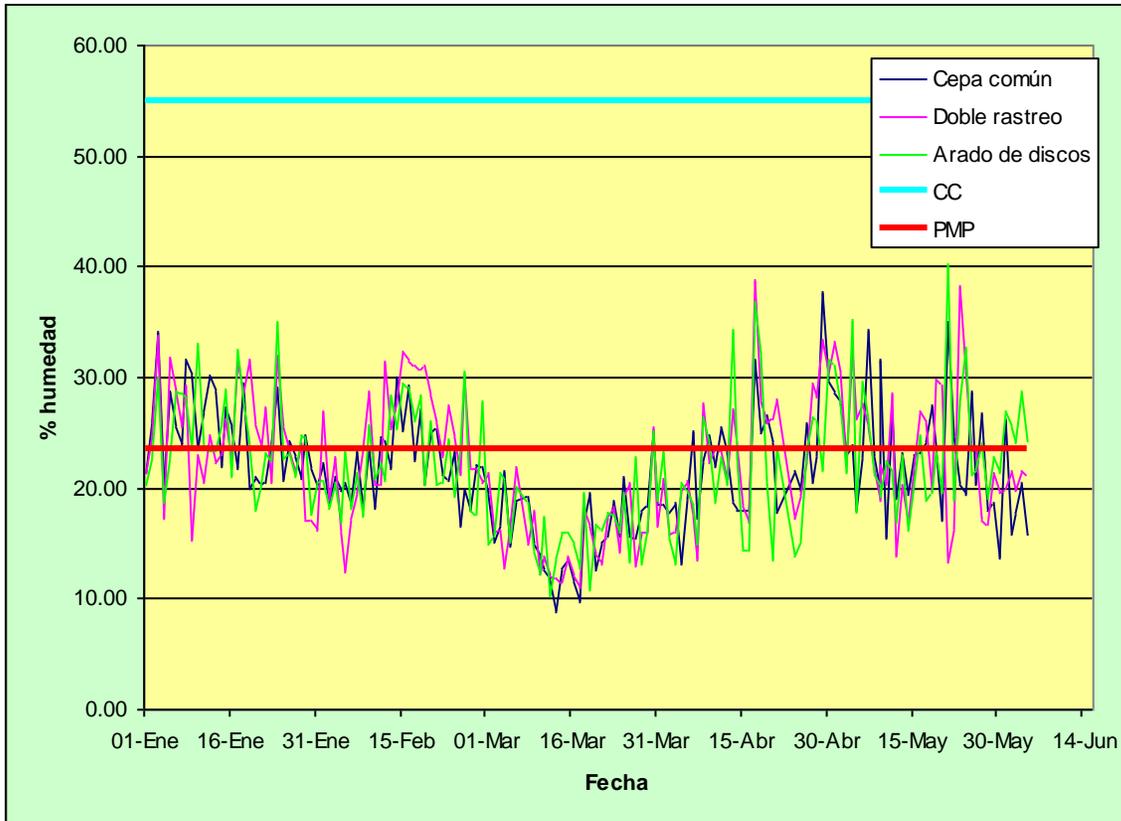


Figura 30. Contenido de humedad diario durante el periodo seco registrado en la parcela forestal 2007

Según se aprecia en las figuras, y de acuerdo al análisis de varianza, el contenido de humedad en los tres tratamientos no presenta diferencias significativas, aunque en la gráfica de los promedios se aprecia que el tratamiento con doble rastreo es ligeramente mayor. Al comparar la media de los tratamientos con la grafica de los datos observados se aprecia que el contenido de humedad en los tres tratamientos estuvo por debajo del punto de marchitamiento permanente.

Este aspecto es importante destacarlo, puesto que por debajo de este punto la humedad del suelo no esta disponible para las plantas y la supervivencia de las plantas se ve grandemente afectada por este factor. También es importante destacar, que en el caso de las especies arbóreas, la s raíces alcanzan profundidades mayores que las herbáceas, lo cual les permite alcanzar agua en zonas mas profundas del perfil del suelo.

5.4.1.2. Periodo húmedo

El segundo periodo, comprendido por los meses de junio a septiembre, corresponde al periodo húmedo, y es en donde la precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial y por lo tanto esta es igual que la evapotranspiración real.

Se realizó un análisis de varianza para determinar si entre los tratamientos hay diferencias significativas en el contenido de humedad, para lo cual se plantean las hipótesis:

$$H_0: T_1 = T_2 = T_3$$

H_1 : Algún tratamiento es diferente

En el cuadro 9 se presenta un resumen del análisis de varianza para el contenido de humedad en el periodo húmedo.

Cuadro 9. Análisis de varianza de la humedad del suelo durante el periodo húmedo en la parcela forestal 2007

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	2	3099.291	1549.646	34.782	< 0.0001
Error	393	17509.152	44.553		
Total corregido	395	20608.444			

Se observa en el cuadro que la media de los cuadrados de los tratamientos supera en mucho a la suma de los cuadrados del error, por lo que existe diferencia en al menos uno de los tratamientos, lo cual se corrobora con la estadística de prueba, al rechazar hipótesis nula.

En la figura 31 se presenta de manera gráfica, la media de los tratamientos.

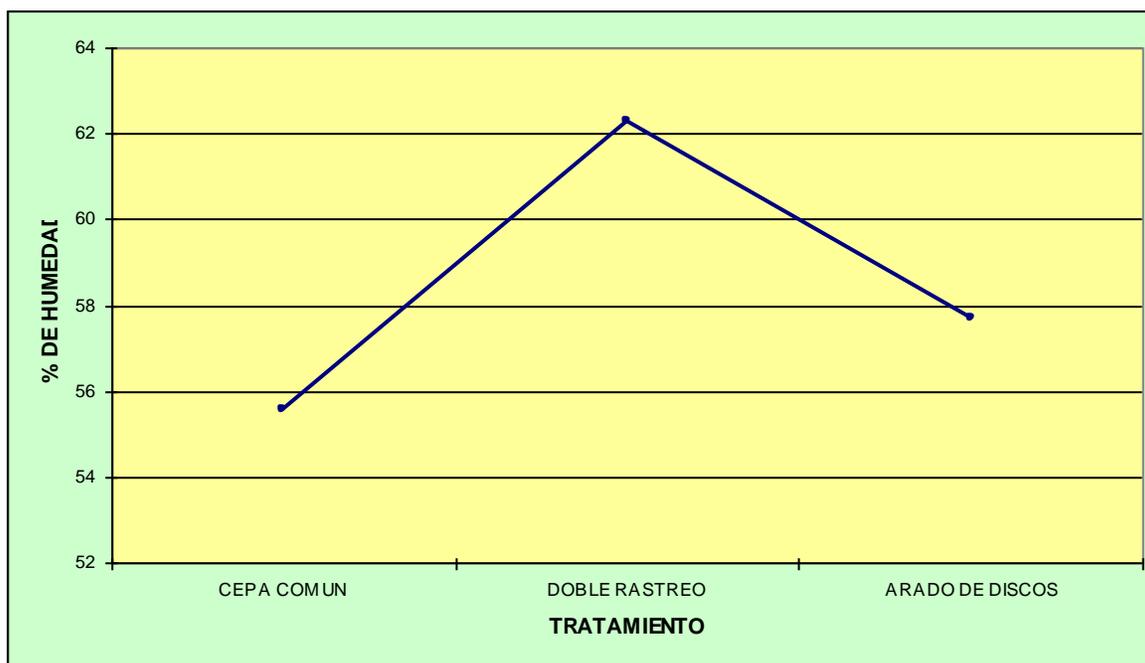


Figura 31. Media estimada del contenido de humedad durante el periodo húmedo en la parcela forestal 2007

Entonces, para conocer cual tratamiento es diferente se procedió a realizar una comparación de pares de medias de tratamientos mediante la prueba de Tukey, los resultados se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 10. Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (Tukey (HSD))

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
DOBLE RASTREO vs CEPA COMUN	6.704	8.159	2.344	0.0001	Si
DOBLE RASTREO vs ARADO DE DISCOS	4.583	5.578	2.344	0.0001	Si
ARADO DE DISCOS vs CEPA COMUN	2.120	2.581	2.344	0.027	Si

La media estimada de los tratamientos y los grupos de humedad del suelo se presentan en el cuadro 11.

Cuadro 11. Medias estimadas de los tratamientos y grupos de humedad del suelo

Categoría	Media estimada	Grupos
DOBLE RASTREO	62.266	A
ARADO DE DISCOS	57.683	B
CEPA COMUN	55.563	C

De esta prueba se concluye que en este periodo, existe diferencia significativa en el contenido de humedad en los tres tratamientos.

Para contextualizar estos resultados en la figura 32 se presentan los contenidos de humedad en el periodo.

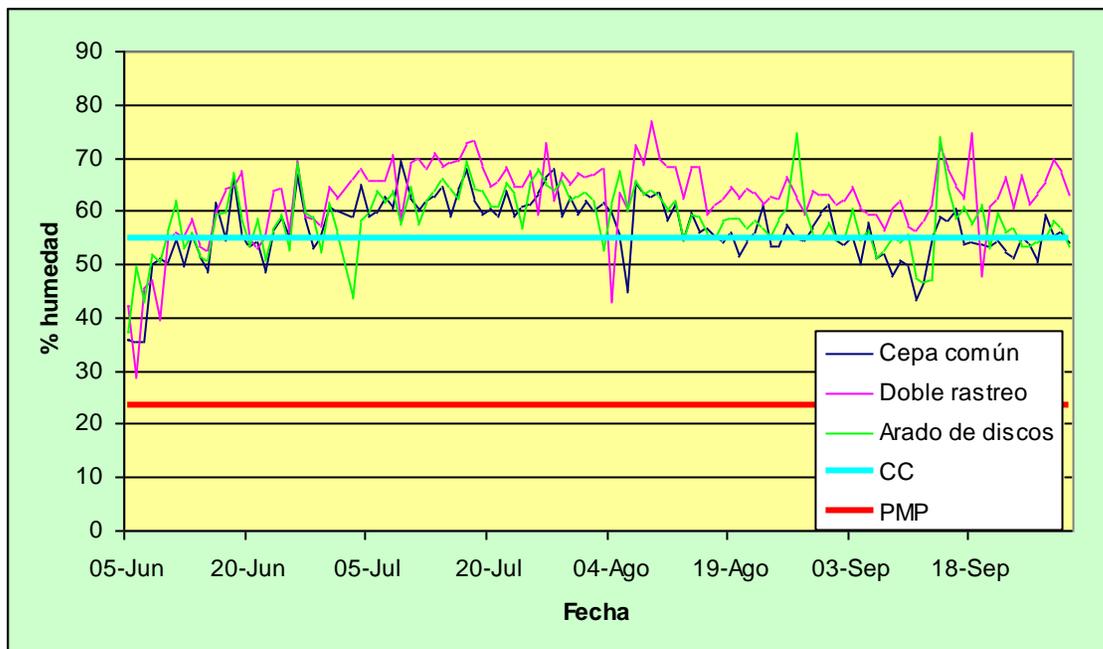


Figura 32. Contenido de humedad diario durante el periodo húmedo en la parcela forestal 2007

De la figura anterior y de los resultados obtenidos del análisis de varianza, para este periodo el tratamiento de doble rastreo fue el que tuvo un mayor contenido de humedad, seguido por el tratamiento con arado de discos y finalmente el tratamiento con cepa común, aunque los tres tratamientos estuvieron por arriba de capacidad de campo.

Lo anterior puede interpretarse como una mayor capacidad de los tratamientos con preparación del suelo para retener la humedad. Esto porque se cambian las propiedades estructurales y se aumenta la rugosidad de la superficie del suelo, creando microrelieves que favorecen la retención del agua de lluvia, evitando el escurrimiento y favoreciendo la infiltración de esta en el perfil del suelo. Dicha capacidad es mayor en el tratamiento con doble rastreo.

5.4.1.3. Periodo de aprovechamiento de la humedad del suelo

En este periodo, de acuerdo con el balance, la evapotranspiración potencial es mayor que la evapotranspiración real, sin embargo hay reservas de humedad en el suelo y esta es aprovechada. Este periodo esta comprendido entre los meses de octubre a diciembre.

Se realizó un análisis de varianza para determinar si entre los tratamientos hay diferencias significativas en el contenido de humedad, para lo cual se plantean las hipótesis:

$$H_0: T_1 = T_2 = T_3$$

H_1 : Algún tratamiento es diferente

En el cuadro 12 se presenta un resumen del análisis de varianza.

Cuadro 12. Análisis de varianza de la humedad del suelo en el periodo de aprovechamiento de humedad del suelo en la parcela forestal 2007

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	2	662.857	331.429	6.274	0.002
Error	180	9508.125	52.823		
Total corregido	182	10170.982			

En esta tabla se aprecia que alguno de los tratamientos es diferente, lo cual se comprueba con la estadística de prueba, por lo que se rechaza la hipótesis nula.

De manera gráfica se presentan las medias de los tratamientos en la figura 33.

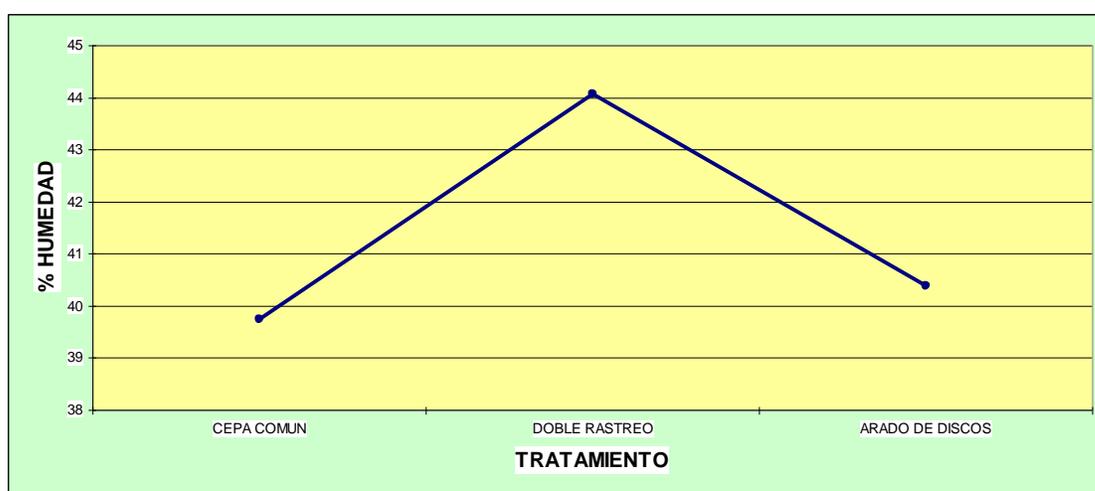


Figura 33. Media estimada del contenido de humedad durante el periodo de aprovechamiento de la humedad del suelo en la parcela forestal 2007

Para conocer el tratamiento diferente se realizó una prueba de Tukey, los resultados se muestran en el cuadro 13.

Cuadro 13. Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (Tukey, HSD)

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
DOBLE RASTREO vs CEPA COMUN	4.315	3.279	2.363	0.004	Si
DOBLE RASTREO vs ARADO DE DISCOS	3.686	2.801	2.363	0.016	Si
ARADO DE DISCOS vs CEPA COMUN	0.629	0.478	2.363	0.882	No

Valor crítico del d de Tukey: 3.342

En el cuadro 14 se muestra las medias estimadas y los grupos de humedad del suelo.

Cuadro 14. Medias estimadas de los tratamientos y grupos de humedad del suelo

Categoría	Media estimada	Grupos
DOBLE RASTREO	44.062	A
ARADO DE DISCOS	40.376	B
CEPA COMUN	39.747	B

En la figura 34 se presentan los resultados de las pruebas de humedad en el periodo.

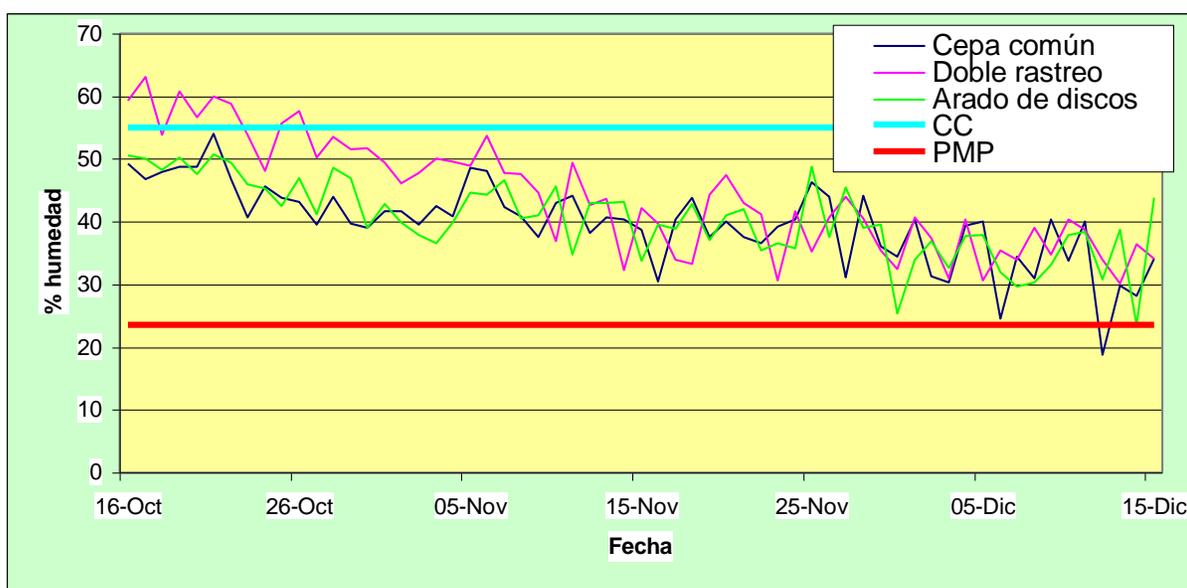


Figura 34. Contenido de humedad diario durante el periodo de aprovechamiento de humedad del suelo en la parcela forestal 2007

Se aprecia entonces de los cuadros de comparación y de la gráfica, que los tratamientos de cepa común y arado de discos no tienen diferencia, y estos dos tratamientos y sí presentan diferencia significativa con el tratamiento de doble rastreo. Es importante mencionar que aunque las lluvias ya se presentan en poca cantidad y de manera aislada, hay un aprovechamiento de la humedad del suelo, y este se mantiene en el rango de humedad aprovechable en los tres tratamientos, es decir se mantiene entre capacidad de campo y punto de marchitamiento permanente, aunque en el tratamiento con doble

rastreo, al presentar un mayor contenido de humedad, es posible que al inicio de la temporada seca y durante esta, este se mantenga en los niveles de humedad aprovechable durante mas tiempo y las plantas presenten menor estrés hídrico que en el resto de los tratamientos.

5.4.2. Parcela forestal 2008

Al igual que en la parcela forestal del 2007, en esta se realiza el análisis de la humedad del suelo de manera similar, considerando diferentes periodos, en este caso, la medición de la humedad se realizó a partir del primero de junio, se tomaron muestras en toda la parcela de manera aleatoria, con lo cual se considera queda caracterizada la totalidad de la parcela. Posteriormente, una vez realizado el trazo de los lotes experimentales, se procede a tomar las muestras en cada lote.

Como la toma de información se comienza poco antes de la temporada de lluvias, únicamente se considera el periodo húmedo y un periodo de aprovechamiento de la humedad del suelo.

5.4.2.1. Periodo húmedo

Considera el periodo en donde la precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial y por lo tanto esta es igual que la evapotranspiración real. De acuerdo al balance hídrico este corresponde a los meses de junio a septiembre.

Se realizó un análisis de varianza para determinar si entre los tratamientos hay diferencias significativas en el contenido de humedad, para lo cual se plantean las hipótesis:

$$H_0: T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T_5 = T_6 = T_7$$

H_1 : algún tratamiento es diferente

En el cuadro 15 se presenta un resumen del análisis de varianza para el contenido de humedad en el periodo húmedo.

Cuadro 15. Análisis de varianza de la humedad del suelo para el periodo húmedo en la parcela forestal 2008

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	6	522.511	87.085	2.570	0.018
Error	847	28697.110	33.881		
Total corregido	853	29219.621			

De acuerdo al cuadro anterior y con la estadística de prueba, al menos un tratamiento es diferente, por lo que se rechaza la hipótesis nula.

La media de los tratamientos se presenta en la figura 35.



Figura 35. Media estimada del contenido de humedad del suelo durante el periodo húmedo en la parcela forestal 2008

En este caso, la prueba de Tukey no muestra sensibilidad para determinar cuales son los tratamientos que presentan diferencia significativa, por lo que la prueba de comparación se realizo con la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher (LSD de Fisher). Los contrastes se presentan en el cuadro 16.

Cuadro 16. Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (Tukey, HSD)

Contraste	Diferencia	Diferencia Estandarizada	Valor Crítico	Pr > Dif	Significativo
tinas ciegas vs cepa común con hidrogel	2.167	2.907	1.963	0.004	Si
tinas ciegas vs acondicionamiento subsuperficial	2.056	2.758	1.963	0.006	Si
tinas ciegas vs ahoyado	1.418	1.902	1.963	0.057	No
tinas ciegas vs cepa común	0.632	0.848	1.963	0.397	No
tinas ciegas vs subsoleo	0.539	0.724	1.963	0.469	No
tinas ciegas vs acaballonado	0.457	0.613	1.963	0.540	No
acaballonado vs cepa común con hidrogel	1.710	2.294	1.963	0.022	Si
acaballonado vs acondicionamiento subsuperficial	1.599	2.146	1.963	0.032	Si
acaballonado vs ahoyado	0.961	1.289	1.963	0.198	No
acaballonado vs cepa común	0.175	0.235	1.963	0.815	No
acaballonado vs subsoleo	0.083	0.111	1.963	0.912	No
subsoleo vs cepa común con hidrogel	1.627	2.183	1.963	0.029	Si
subsoleo vs acondicionamiento subsuperficial	1.516	2.035	1.963	0.042	Si
subsoleo vs ahoyado	0.878	1.179	1.963	0.239	No
subsoleo vs cepa común	0.092	0.124	1.963	0.902	No
cepa común vs cepa común con hidrogel	1.535	2.060	1.963	0.040	Si
cepa común vs acondicionamiento subsuperficial	1.424	1.911	1.963	0.056	No
cepa común vs ahoyado	0.786	1.055	1.963	0.292	No
ahoyado vs cepa común con hidrogel	0.749	1.005	1.963	0.315	No
ahoyado vs acondicionamiento subsuperficial	0.638	0.856	1.963	0.392	No
acondicionamiento subsuperficial vs cepa común con hidrogel	0.111	0.149	1.963	0.882	No

En el cuadro 17 se presentan de manera más gráfica los grupos de tratamientos que presentaron diferencia significativa.

Cuadro 17. Medias estimadas de los tratamientos y grupos de humedad del suelo

Categoría	Media estimada	Grupos		
TINAS CIEGAS	51.844	A		
ACABALLONADO	51.387	A		
SUBSOLEO	51.304	A		
CEPA COMÚN	51.212	A	B	
AHOYADO	50.426	A	B	C
ACONDICIONAMIENTO SUBSUPERFICIAL	49.788		B	C
CEPA COMÚN CON HIDROGEL	49.677			C

Los resultados de las pruebas de humedad se presentan de manera gráfica en la figura 36.

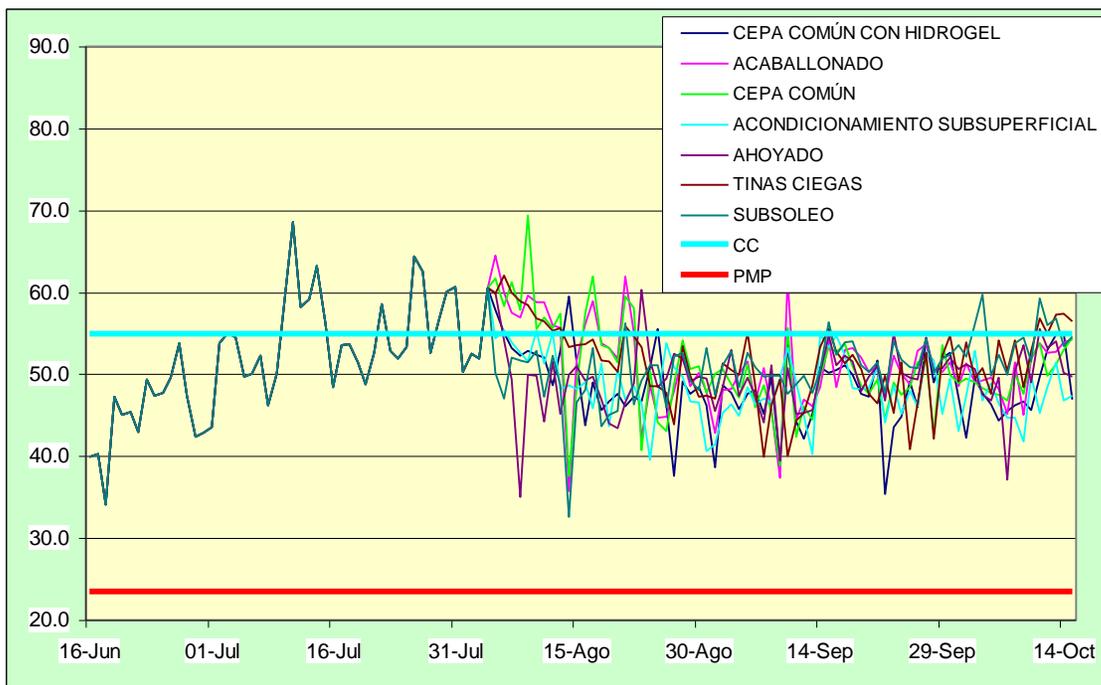


Figura 36. Contenido de humedad diario durante el periodo húmedo en la parcela forestal 2008

Se aprecia claramente que los tratamientos que presentaron un mayor contenido de humedad son los tratamientos con tinas ciegas, acaballonado y subsoleo, y el que resulto con menor contenido fue el de cepa común con hidrogel.

Es importante mencionar que en los tratamientos con tinas ciegas y con acaballonado, se forman barreras físicas que retienen el escurrimiento y que estas se diseñaron para captar la totalidad del escurrimiento en eventos de precipitación normales.

En el caso de la cepa común con hidrogel, que es el que presenta un menor contenido de humedad, es importante precisar que se realizó la aplicación de este polímero en la zona

de raíces para mantener un mayor contenido de humedad durante el periodo seco, sin embargo, técnicamente no es posible realizar las pruebas de humedad por el método gravimétrico, por lo que la diferencia con el resto de los tratamientos tendría que hacerse indirectamente, con el desarrollo de la plantación y el porcentaje de supervivencia.

5.4.2.2. Periodo de aprovechamiento de la humedad del suelo

En este periodo, de acuerdo con el balance, la evapotranspiración potencial es mayor que la evapotranspiración real, sin embargo hay reservas de humedad en el suelo y esta es aprovechada. Este periodo esta comprendido entre los meses de octubre a diciembre.

Se realizó un análisis de varianza para determinar si entre los tratamientos hay diferencias significativas en el contenido de humedad, para lo cual se plantean las hipótesis:

$$H_0: T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T_5 = T_6 = T_7$$

$$H_1: \text{algún tratamiento es diferente}$$

En el cuadro 18 se presenta un resumen del análisis de varianza para el contenido de humedad en el periodo húmedo.

Cuadro 18. Análisis de varianza de la humedad del suelo en el periodo de aprovechamiento de la humedad del suelo en la parcela forestal 2008

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	6	1256.732	209.455	12.940	< 0.0001
Error	287	4645.616	16.187		
Total corregido	293	5902.348			

Del cuadro anterior y de acuerdo a las estadísticas de prueba, se rechaza la hipótesis nula, por lo que se concluye que existe diferencia significativa en el contenido de humedad en los diferentes tratamientos.

La media de los tratamientos se presenta en la figura 37.



Figura 37. Media estimada del contenido de humedad del suelo durante el periodo de aprovechamiento de humedad del suelo en la parcela forestal 2008

Para tener la misma consistencia, se realizó también en este periodo la prueba de comparación con la diferencia mínima significativa de Fisher. Los contrastes se presentan en el cuadro 19.

Cuadro 19. Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95% (Fisher, LSD)

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
SUBSOLEO vs CEPA COMÚN CON HIDROGEL	6.240	7.108	1.968	< 0.0001	Si
SUBSOLEO vs ACONDICIONAMIENTO SUBSUPERFICIAL	6.075	6.920	1.968	< 0.0001	Si
SUBSOLEO vs AHOYADO	4.454	5.073	1.968	< 0.0001	Si
SUBSOLEO vs CEPA COMÚN	3.985	4.539	1.968	< 0.0001	Si
SUBSOLEO vs ACABALLONADO	2.940	3.349	1.968	0.001	Si
SUBSOLEO vs TINAS CIEGAS	1.992	2.269	1.968	0.024	Si
TINAS CIEGAS vs CEPA COMÚN CON HIDROGEL	4.248	4.838	1.968	< 0.0001	Si
TINAS CIEGAS vs ACONDICIONAMIENTO SUBSUPERFICIAL	4.083	4.651	1.968	< 0.0001	Si
TINAS CIEGAS vs AHOYADO	2.462	2.804	1.968	0.005	Si
TINAS CIEGAS vs CEPA COMÚN	1.992	2.269	1.968	0.024	Si
TINAS CIEGAS vs ACABALLONADO	0.948	1.079	1.968	0.281	No
ACABALLONADO vs CEPA COMÚN CON HIDROGEL	3.300	3.759	1.968	0.000	Si
ACABALLONADO vs ACONDICIONAMIENTO SUBSUPERFICIAL	3.135	3.571	1.968	0.000	Si
ACABALLONADO vs AHOYADO	1.514	1.725	1.968	0.086	No
ACABALLONADO vs CEPA COMÚN	1.045	1.190	1.968	0.235	No
CEPA COMÚN vs CEPA COMÚN CON HIDROGEL	2.256	2.569	1.968	0.011	Si
CEPA COMÚN vs ACONDICIONAMIENTO SUBSUPERFICIAL	2.091	2.381	1.968	0.018	Si
CEPA COMÚN vs AHOYADO	0.470	0.535	1.968	0.593	No
AHOYADO vs CEPA COMÚN CON HIDROGEL	1.786	2.034	1.968	0.043	Si
AHOYADO vs ACONDICIONAMIENTO SUBSUPERFICIAL	1.621	1.847	1.968	0.066	No
ACONDICIONAMIENTO SUBSUPERFICIAL vs CEPA COMÚN CON HIDROGEL	0.165	0.188	1.968	0.851	No

En el cuadro 20 se presentan de manera más gráfica los grupos de tratamientos que presentaron diferencia significativa.

Cuadro 20. Medias estimadas de los tratamientos y grupos de humedad del suelo

Categoría	Media estimada	Grupos			
SUBSOLEO	47.691	A			
TINAS CIEGAS	45.699		B		
ACABALLONADO	44.751		B	C	
CEPA COMÚN	43.706			C	
AHOYADO	43.237			C	D
ACONDICIONAMIENTO SUBSUPERFICIAL	41.616				D E
CEPA COMÚN CON HIDROGEL	41.451				E

De la tabla de comparación se aprecia claramente que el tratamiento con mayor contenido de humedad es el de subsoleo, seguido por el grupo de tinas ciegas y acaballonado. Al final de la tabla y con menor contenido de humedad encontramos a la cepa común con hidrogel.

Es importante mencionar que la práctica de subsoleo, tiene como finalidad romper las capas de suelo que pudieran impedir la infiltración del agua en el perfil y por lo tanto mejorar esta propiedad del suelo.

Las tinas ciegas y el acaballonado tienen como finalidad la disminución del escurrimiento superficial, para lo cual se hace el diseño considerando el la precipitación, y en el presente caso las dimensiones captarían el total del escurrimiento en los eventos de precipitación normales, que oscilan entre los 15 y 25 mm.

En el caso del acondicionamiento subsuperficial, se modifica la estructura de la capa superficial del suelo, creando microrelieves que aumentan la rugosidad del suelo, impidiendo que haya escurrimiento superficial, pero a su vez se aumenta la superficie expuesta al viento y al sol, que son factores que influyen en el contenido de humedad.

De manera gráfica se presenta en la figura 38 el contenido de humedad del suelo diario para este periodo.

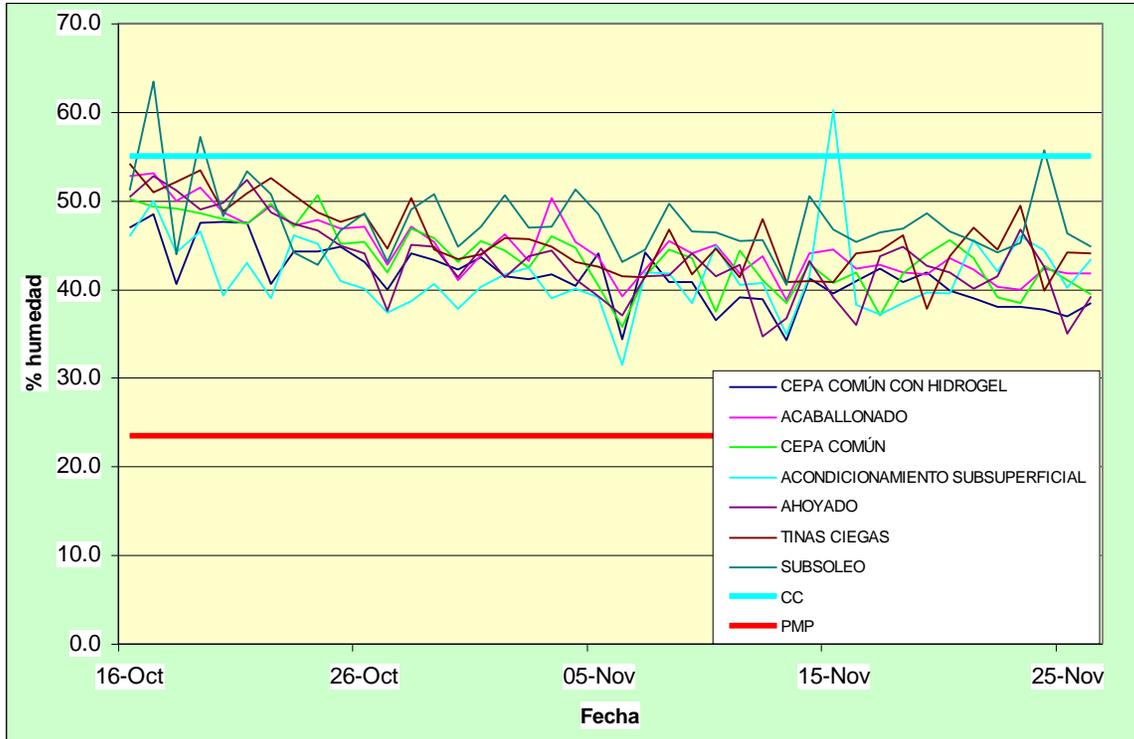


Figura 38. Contenido de humedad diario durante el periodo de aprovechamiento de humedad del suelo en la parcela forestal 2008

En el caso de la cepa común cepa común con hidrogel y ahoyado, las condiciones del suelo que se modifican son las que están en la vecindad de las raíces, lo que técnicamente limita la medición de este parámetro, sin embargo parámetros como el escurrimiento superficial, porcentaje de supervivencia y desarrollo de la planta permitirían la evaluación de la eficiencia de esta práctica.

5.5. Análisis del desarrollo de las plantaciones

5.5.1. Parcela forestal 2007

Para la evaluación del desarrollo de la plantación se tomaron de manera periódica datos de altura y diámetro de una muestra de árboles en los diferentes lotes. Los parámetros a evaluar son la altura y el diámetro del tallo.

Para la evaluación de dichos parámetros se consideraron los totales al final del periodo de evaluación, para lo cual se realizó un análisis de varianza para determinar si en los tratamientos hay diferencias estadísticas.

5.5.1.1. Altura

Para el caso de la altura se plantea la hipótesis nula de que la altura es igual en los tres tratamientos, contra la hipótesis alternativa de que al menos en un tratamiento la altura es diferente, entonces tenemos el siguiente juego de hipótesis:

$$H_0: T_1 = T_2 = T_3$$

H_1 : La altura en algún tratamiento es diferente

Entonces tenemos en el cuadro 21 el análisis de varianza

Cuadro 21. Análisis de varianza del incremento en la altura de planta en la parcela forestal 2007

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	2	24.542	12.271	1.031	0.395
Error	9	107.135	11.904		
Total corregido	11	131.677			

Del cuadro anterior se aprecia que no existe diferencia significativa en el desarrollo de las plantas para las diferentes preparaciones del suelo en el establecimiento de la plantación, por lo que no se rechaza la hipótesis nula, es decir, el incremento en la altura para los tres tratamientos es igual.

De manera gráfica, las medias de los tratamientos se presentan en la figura 39 y en el cuadro 22 se muestran además los grupos de incremento en altura.

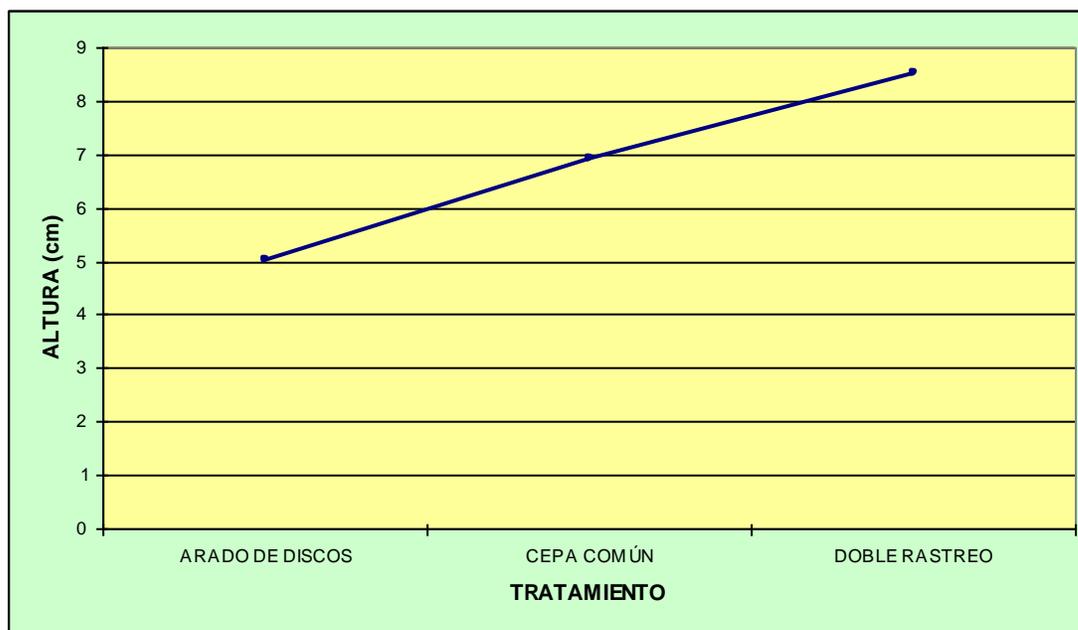


Figura 39. Media estimada del incremento en altura en la parcela forestal 2007

Cuadro 22. Medias estimadas de los tratamientos y grupos de incremento en altura

Categoría	Media estimada	Grupos
DOBLE RASTREO	8.525	A
CEPA COMÚN	6.900	A
ARADO DE DISCOS	5.025	A

5.5.1.2. Diámetro del tallo

Se realiza el mismo planteamiento que para el caso de la altura para realizar el análisis de varianza, entonces tenemos el siguiente juego de hipótesis:

$$H_0: T_1 = T_2 = T_3$$

H_1 : El incremento en el diámetro en algún tratamiento es diferente

En el cuadro 23 se presenta el análisis de varianza

Cuadro 23. Análisis de varianza del incremento en el diámetro del tallo en la parcela forestal 2007

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	2	0.110	0.055	1.344	0.309
Error	9	0.367	0.041		
Total corregido	11	0.476			

Del cuadro anterior se observa que no se rechaza la hipótesis nula, es decir, el incremento del diámetro es igual en los tres tratamientos.

En la figura 40 se presentan de manera gráfica las medias de los tratamientos y en el cuadro 24 se muestran además. Los grupos de incremento en el diámetro del tallo.

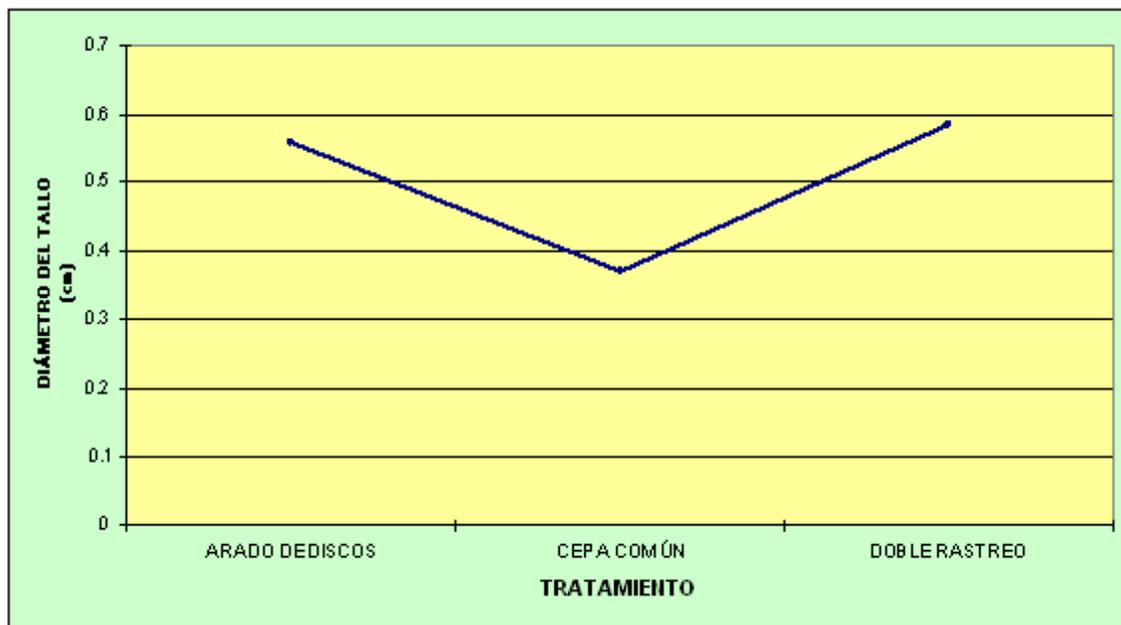


Figura 40. Media estimada del incremento en el diámetro del tallo en la parcela forestal 2007

Cuadro 24. Medias estimadas de los tratamientos y grupos de incremento en el diámetro del tallo en la parcela forestal 2007

Categoría	Media estimada	Grupos
DOBLE RASTREO	0.585	A
ARADO DE DISCOS	0.558	A
CEPA COMÚN	0.370	A

En el balance hídrico para la microcuenca se menciona que se tuvo un periodo seco al inicio del año, de enero a mayo, en el cual la humedad del suelo estuvo por debajo de PMP, lo cual significa que la planta estuvo sometida a estrés hídrico, a pesar de que en los periodos húmedos y de aprovechamiento de humedad del suelo se observan diferencias en el contenido de humedad en los tratamientos. Estos factores ponen en igualdad de condiciones a las plantas en los diferentes tratamientos, y esto se ve reflejado en el desarrollo de la planta.

Cabe mencionar que de acuerdo a los registros de precipitación, particularmente este año fue un año seco, ya que se registraron 703 mm, lo que significa una reducción de aproximadamente 25% de precipitación con respecto al promedio, lo cual se presume fue un factor adicional para no detectar diferencias en la respuesta de las plantas a las diferentes preparaciones del terreno.

5.5.2. Parcela forestal 2008

Para la evaluación del desarrollo de la plantación se tomaron de manera periódica datos de altura y diámetro de una muestra de árboles en los diferentes lotes. Los parámetros a evaluar son la altura y el diámetro del tallo.

Para la evaluación de dichos parámetros se consideraron los totales al final del periodo de evaluación, para lo cual se realizó un análisis de varianza para determinar si en los tratamientos hay diferencias estadísticas.

5.5.2.1. Altura

Para el caso de la altura se plantea la hipótesis nula de que la altura es igual en los tres tratamientos, contra la hipótesis alternativa de que al menos en un tratamiento la altura es diferente, entonces tenemos el siguiente juego de hipótesis:

$$H_0: T_1 = T_2 = T_3$$

H_1 : La altura en algún tratamiento es diferente

Entonces tenemos en el cuadro 25 el análisis de varianza

Cuadro 25. Análisis de varianza del incremento en altura de planta en la parcela forestal 2008

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	13	2.784	0.214	1.191	0.319
Error	42	7.550	0.180		
Total corregido	55	10.334			

De manera gráfica, las medias de los tratamientos se presentan en la figura 41.

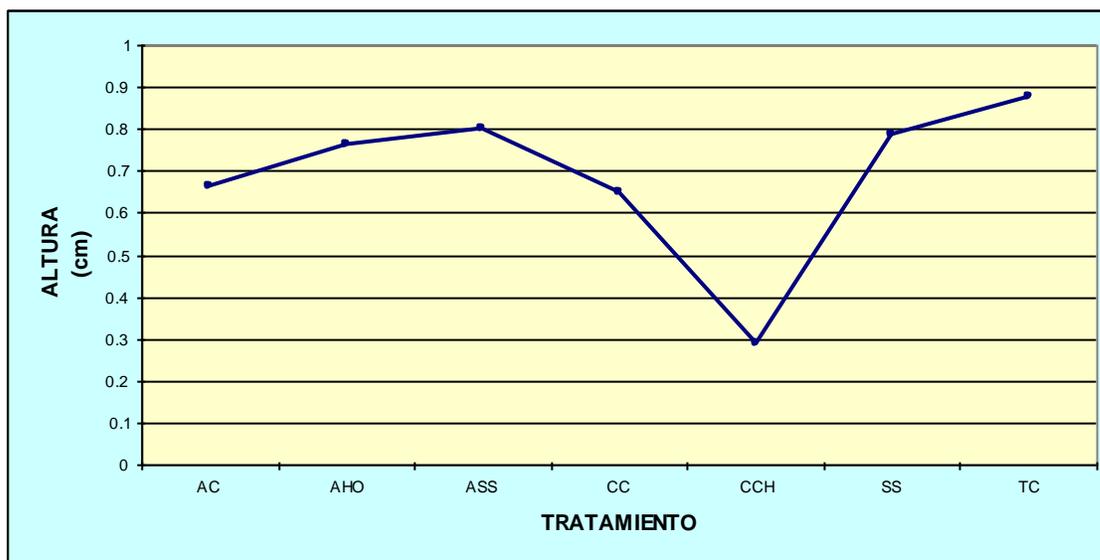


Figura 41. Media estimada del incremento en altura en la parcela forestal 2008

Para conocer el tratamiento que es diferente se realiza la prueba de comparación con la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher (LSD de Fisher).

Los contrastes se presentan en el cuadro 26.

Cuadro 26. Medias estimadas de los tratamientos y grupos de incremento en altura en la parcela forestal 2008

Categoría	Media estimada	Grupos	
Tinas ciegas (TC)	0.875	A	
Acondicionamiento subsuperficial (ASS)	0.800	A	
Subsoleo (SS)	0.788	A	
Ahoyado (AHO)	0.763	A	
Acaballonado (AC)	0.663	A	B
Cepa común (CC)	0.650	A	B
Cepa común con hidrogel (CCH)	0.288	B	

Del cuadro anterior se aprecia que el tratamiento en el que se tuvo un mayor incremento en la altura de las plantas es el de tinas ciegas, acondicionamiento subsuperficial, subsoleo y ahoyado, y el tratamiento que tuvo el menor incremento es el de cepa común con hidrogel, cepa común y acaballonado.

5.5.2.2. Diámetro del tallo

Se realiza el mismo planteamiento que para el caso de la altura para realizar el análisis de varianza, entonces tenemos el siguiente juego de hipótesis:

$$H_0: T_1 = T_2 = T_3$$

H_1 : El incremento en el diámetro en algún tratamiento es diferente

En el cuadro 27 se presenta el análisis de varianza

Cuadro 27. Análisis de varianza para el incremento en el diámetro del tallo en la parcela forestal 2008

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	13	0.023	0.002	0.636	0.810
Error	42	0.114	0.003		
Total corregido	55	0.137			

Del cuadro anterior se observa que no se rechaza la hipótesis nula, es decir, el incremento del diámetro es igual en los tres tratamientos.

En la figura 42 se presentan de manera gráfica las medias de los tratamientos y en el cuadro 28 se presentan además los grupos de incremento en el diámetro del tallo.

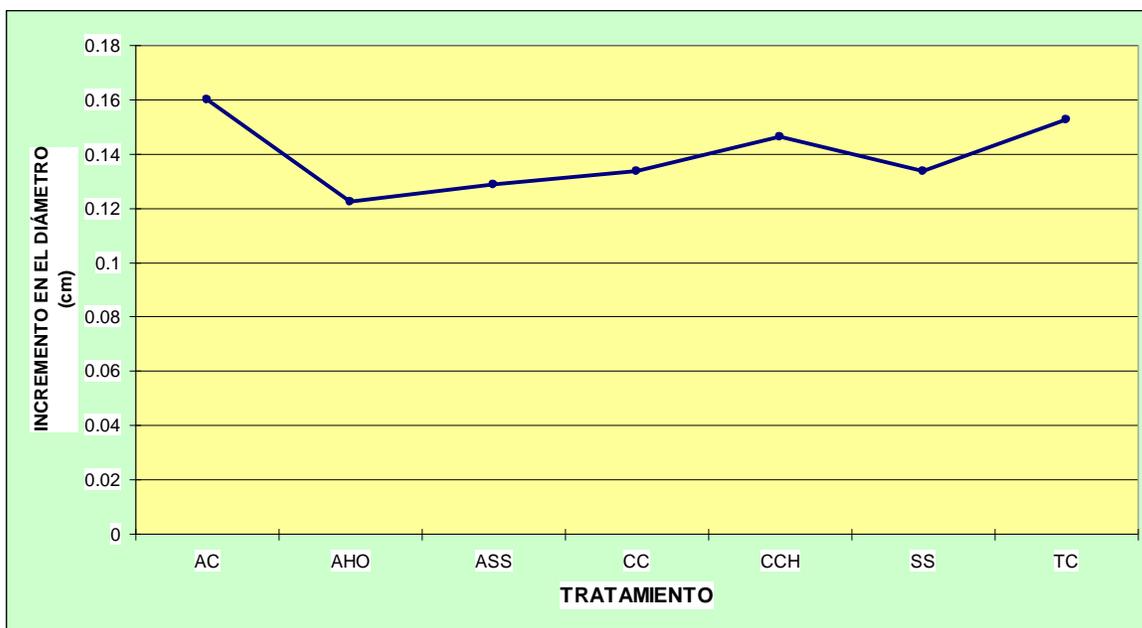


Figura 42. Incremento en el diámetro del tallo en la parcela forestal 2008

Cuadro 28. Media estimada de los tratamientos y grupos de incremento en el diámetro de la parcela forestal 2008

Categoría	Media estimada	Grupos
AC	0.160	A
TC	0.153	A
CCH	0.146	A
CC	0.134	A
SS	0.134	A
ASS	0.129	A
AHO	0.123	A

Se aprecia entonces que estadísticamente, el incremento en el grosor del tallo es igual para todos los tratamientos propuestos.

A este respecto es importante mencionar que por ser una plantación de reciente establecimiento, la planta es sometida a estrés puesto que en el vivero se tienen condiciones controladas y las condiciones de campo resultan más adversas, lo cual se refleja en un desarrollo más lento.

De acuerdo al balance hídrico para la microcuenca, en este primer periodo de evaluación, la plantación se estableció durante el periodo de lluvias y en este momento se tiene humedad en el suelo, que esta siendo aprovechada por la planta, por lo cual la planta aún no ha padecido estrés hídrico, el cual se presentará en la primera mitad del siguiente año, después del cual se tendrán mas elementos para la evaluación del desarrollo de la plantación bajo los tratamientos propuestos.

5.5.3. Supervivencia

5.5.3.1. Parcela forestal 2007

Uno de los factores más importantes a evaluar en una plantación es el supervivencia o % de supervivencia, ya que de esta dependerá el éxito o el fracaso de la misma. En la parcela forestal establecida en el año 2007, el número de plantas sembradas por tratamiento se presentan en el cuadro 29.

Cuadro 29. Número de plantas por tratamiento en la parcela forestal 2007

TRATAMIENTO	PLANTAS SEMBRADAS
Cepa común	168
Doble rastreo	156
Arado de discos	183
TOTAL	507

Después de establecida la plantación, el primer periodo seco se considera el más crítico, pues es donde se presenta la mortalidad de planta mas alta, y de acuerdo al balance hídrico, este se presenta de finales del mes de diciembre hasta el mes de mayo, posteriormente, esta mortalidad se reduce puesto que el factor crítico, que es la falta de agua, es subsanado por la presencia de lluvias, aún así la planta esta expuesta a factores climáticos y humanos, como son granizadas, vientos fuertes y lluvias torrenciales, y en cuanto al factor humano, principalmente por daño ocasionado por ganado. Estos factores también reducen el número de plantas vivas en una plantación, esta última se minimizó, en este caso, protegiendo con alambre de púa la plantación.

Después de 18 meses de evaluación, el porcentaje de supervivencia se presenta en el cuadro 30.

Cuadro 30. Supervivencia en la parcela forestal 2007

TRATAMIENTO	TOTAL PLANTAS	% SUPERVIVENCIA
Cepa común	168	57.14
Doble rastreo	156	60.25
Arado de discos	183	66.12
TOTAL	507	

De manera gráfica estos resultados se muestran en la figura 43.

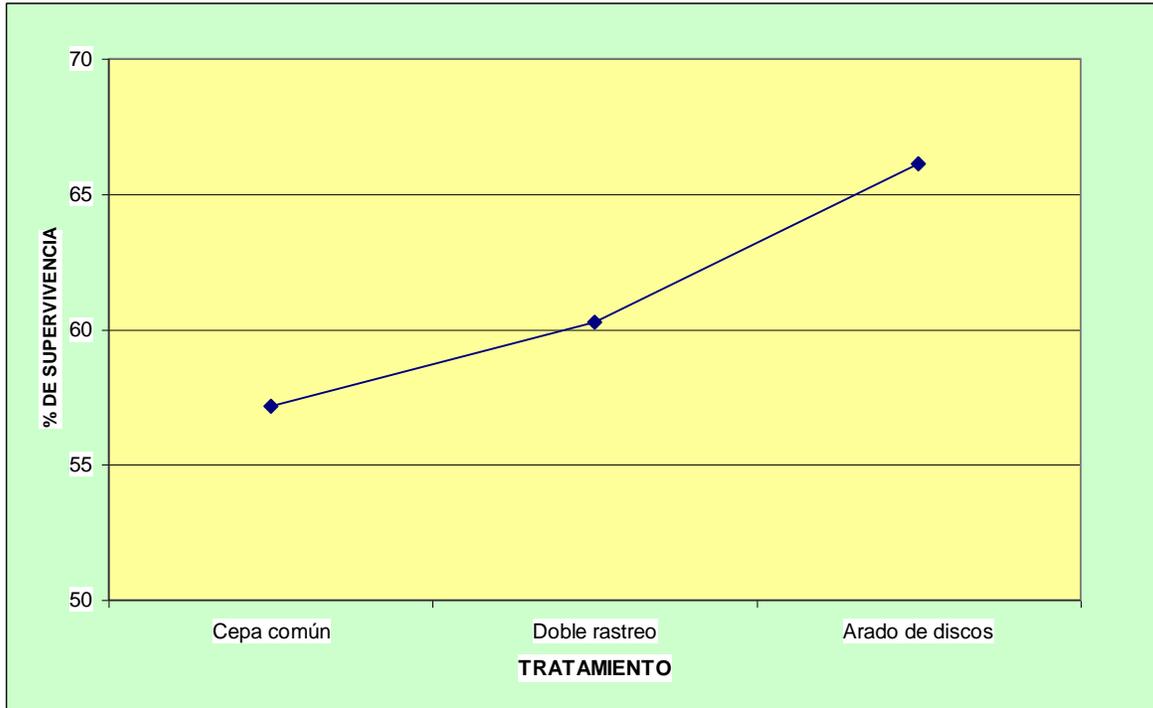


Figura 43. Porcentaje de supervivencia en la parcela forestal 2007

En el apartado de humedad del suelo se mencionaba que de manera general, el tratamiento con cepa común es el que menor porcentaje de humedad presentaba, esto puede relacionarse con el porcentaje de supervivencia. Es importante mencionar también que la preparación del suelo altera las condiciones físicas del suelo y en este caso se favorece para un mejor desarrollo radicular. Con un buen desarrollo radicular, la zona de exploración de las raíces se amplía y estas son capaces de absorber una mayor cantidad de agua y de nutrimentos, lo cual se ve reflejado en el desarrollo y en el supervivencia.

Como se aprecia en la gráfica, en donde se tuvo una mayor profundidad de preparación fue en donde se presentó un porcentaje mayor de supervivencia con menor porcentaje de supervivencia se tiene al tratamiento en donde no hubo preparación del suelo.

5.5.3.2. Parcela forestal 2008

En la parcela forestal 2008 se establecieron siete tratamientos con una repetición, el número de plantas para cada lote se presenta en el cuadro 31.

Cuadro 31. Número de plantas por tratamiento en la parcela forestal 2008

LOTE	TRATAMIENTO	NO. PLANTAS
1	Cepa común con hidrogel	64
2	Acaballonado	58
3	Cepa común	64
4	Acondicionamiento subsuperficial	64
5	Ahoyado	64
6	Tinas ciegas	76
7	Subsoleo	56
8	Acondicionamiento subsuperficial	56
9	Subsoleo	64
10	Cepa común	61
11	Tinas ciegas	88
12	Cepa común con hidrogel	64
13	Ahoyado	64
14	Acaballonado	60
	TOTAL	903

El supervivencia promedio para cada tratamiento se presenta en el cuadro 32 y de manera gráfica en la figura 44.

Cuadro 32. Supervivencia en la parcela forestal 2008

TRATAMIENTO	% SUPERVIVENCIA
Cepa común con hidrogel	97.7
Acaballonado	97.4
Cepa común	99.2
Acondicionamiento subsuperficial	98.4
Ahoyado	98.4
Tinas ciegas	99.3
Subsoleo	99.2

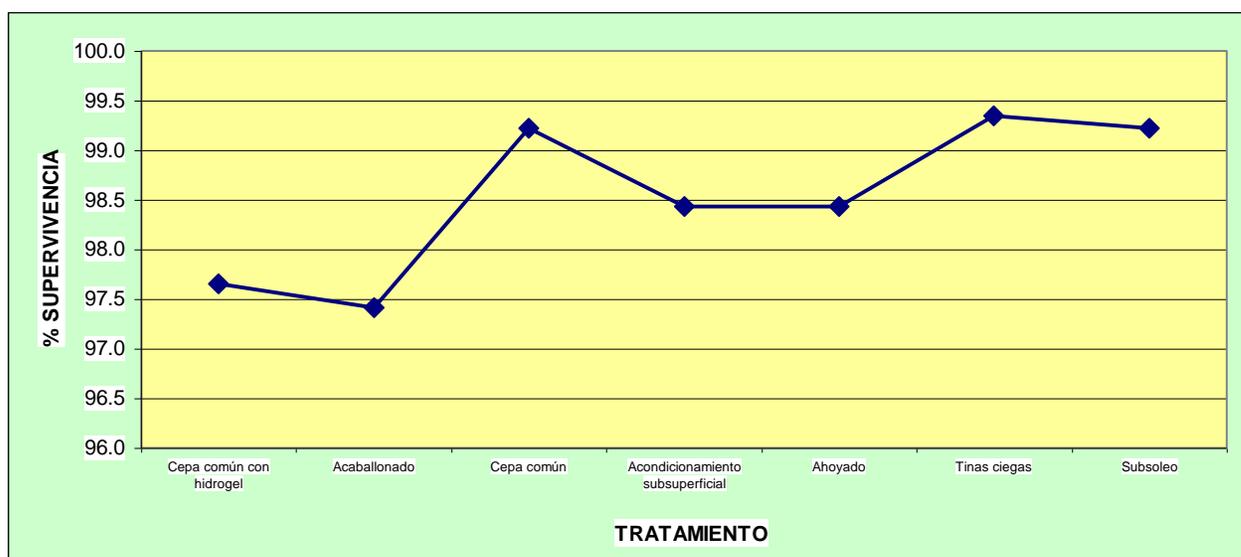


Figura 44. Porcentaje de supervivencia en la parcela forestal 2008

En el cuadro se aprecia que el porcentaje de supervivencia en todos los tratamientos es alto, ya que en todos es mayor de 97%, sin embargo es importante comentar que la plantación se estableció durante la temporada de lluvias, y estas se presentaron hasta el mes de octubre, desde ese mes hasta la fecha, a pesar de que las lluvias ya son prácticamente nulas, existe humedad en el suelo, según se aprecia en el balance hídrico, por lo que la planta aún no padece estrés debido a este factor, sin embargo a 6 meses de establecida la plantación, esta aún esta por enfrentar la etapa mas crítica, que es la época mas seca del año y que se presentara en los primeros cinco meses del año, periodo en el cual la mortalidad de planta es mas alto, por lo que después de un año completo de evaluación se podrán tener datos mas precisos del porcentaje de supervivencia.

6. BIBLIOGRAFIA

Baleares, J., M. Menses, S. Hong. Establishment practices can improve longer – term growth of *Pinus radiata* on a dry-land hill forest. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 1996, vol. 26, Nº 3, p. 370-379.

Bocio I., Navarro F.B., Ripoll M.A., Jiménez M.N., De Simón E., Holm oak (*Quercus rotundifolia* Lam.) and Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) response to different soil preparation techniques applied to forestation in abandoned farmland, *Ann. For. Sci.* 61 (2004) 171–178.

SARH. 1991. Manual De conservación del suelo y del agua. 3ª Edición. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.

Domínguez Lerena, Susana, Pedro Villar Salvador, Juan L. Peñuelas, Nieves Herrero Sierra, Juan L. Nicolás Peragón. Técnicas de implantación de encinas en terrenos agrícolas. *Quercus* 166: 22-25 (1999).

Domínguez Lerena, S., Villar Salvador, P., Fuertes, L., and Peñuelas, J. L. (2001). ¿Puede la profundidad de plantación afectar la calidad fisiológica y el desarrollo en campo de los brinzales de *Pinus halepensis*? III Congreso Forestal Español, Granada pp. (en prensa).

García Salmerón J (1990) La repoblación forestal: técnicas y repercusión en la mejora de la calidad del suelo. In: Soil Degradation and Rehabilitation in Mediterranean Environmental Conditions (J Albaladejo, MA Stocking, E Diaz, eds), CSIC, Murcia, Spain, 117-137

Infante Gil, S. y Zarate de Lara, G. 1990. Métodos estadísticos, un enfoque interdisciplinario. 2ª Edición. Editorial Trillas. México

González Alonso. S. 1989. Guías Metodológicas para la Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental. 3 Repoblaciones Forestales. DGMA-MOPU, Madrid, Spain

Jiménez, María Noelia, Francisco Bruno Navarro, María Ángeles Ripoll, Inmaculada Bocio, Estanislao De Simón. Effect of shelter tubes on establishment and growth of *Juniperus thurifera* L. (*Cupressaceae*) seedlings in Mediterranean semi-arid environment. *Ann. For. Sci.* 62 (2005) 717–725

Mason, G., D. South, Z. Weizhon. Performance of *Pinus radiata* in relation to seedling grade, weeds control, and soil cultivation in the central North Island of New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 1996, vol 26, Nº 1/2, p. 173-183.

Montgomery, D. C. 2005. Diseño y análisis de experimentos. 2ª Edición. Editorial Limusa. México

Ocaña Bueno, Luis, Iván Renilla Estrada, Susana Domínguez Lerena Plantaciones de encinas y coscojas en tierras agrícolas. *Quercus* 120: 16-19 (1996)

Peñuelas Rubira, Juan Luis. El Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo": Diez años buscando la calidad de la planta forestal para las actuaciones en ámbito mediterráneo. Ponencia invitada. III Congreso Forestal Español. 2001. Granada.

Rivera Ruiz, P. Medina Mendoza, R. Medina Sámano, M. 2007. Informe final del proyecto: Determinación de parámetros hidrológicos en el sistema suelo-bosque-agua en laderas y microcuencas. Jiutepec, Morelos.

Roldán, A I Querejeta J Albaladejo, V Castillo. Survival and growth of *Pinus halepensis* Miller seedlings in a semi-arid environment after forest soil transfer, terracing and organic amendments. *Ann. Sci. For* (1996)53, 1099-1112.

Stein, W. Effectiveness and cost of six site preparation methods in the establishment and growth of Douglas fir. *New Zealand Forest Research*, 1991 Bulletin N° 156. p. 208-214.

Zwolinski, J., D. South, L. Cunningham, S. Christie. Weed control and large bare-root stock improve early growth of *Pinus radiata* in South Africa. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 1996, vol. 26, N° 1/2, p. 163-172.

ANEXOS

Anexo I. Precipitación diaria promedio registrada en el año 2008.

FECHA	(mm)	FECHA	(mm)	FECHA	(mm)	FECHA	(mm)
24-Ene-08	1	25-Jun-08	3.8	12-Ago-08	0.2	06-Oct-08	1.8
29-Ene-08	0.2	26-Jun-08	11	13-Ago-08	4.6	07-Oct-08	0.2
13-Abr-08	0.6	27-Jun-08	5.8	14-Ago-08	1.8	08-Oct-08	2.2
14-Abr-08	1.6	28-Jun-08	0.2	15-Ago-08	1.2	09-Oct-08	7.6
15-Abr-08	1.8	29-Jun-08	15.8	16-Ago-08	4.2	10-Oct-08	6.2
16-Abr-08	1	30-Jun-08	1.2	18-Ago-08	0.8	11-Oct-08	0.8
19-Abr-08	0.8	01-Jul-08	4.4	20-Ago-08	6	12-Oct-08	7
22-Abr-08	7	02-Jul-08	1.4	21-Ago-08	0.4	13-Oct-08	0.4
23-Abr-08	10.6	03-Jul-08	10.6	22-Ago-08	0.6	14-Oct-08	2.4
28-Abr-08	0.8	04-Jul-08	8.2	23-Ago-08	3.8	15-Oct-08	0.6
29-Abr-08	6.2	05-Jul-08	1.2	24-Ago-08	2.2	16-Oct-08	0.2
30-Abr-08	5.8	06-Jul-08	4.6	25-Ago-08	7.2	20-Oct-08	0.4
04-May-08	0.4	07-Jul-08	16.2	26-Ago-08	5.8	21-Oct-08	0.2
06-May-08	7.4	08-Jul-08	47.8	27-Ago-08	0.4	27-Oct-08	1
07-May-08	0.2	09-Jul-08	5.2	28-Ago-08	5	31-Oct-08	0.2
09-May-08	0.2	11-Jul-08	8.4	29-Ago-08	2.8	06-Nov-08	0.2
11-May-08	1.2	12-Jul-08	3.8	30-Ago-08	7.2	07-Nov-08	0.2
13-May-08	4.2	13-Jul-08	17.2	31-Ago-08	0.6	08-Nov-08	0.2
20-May-08	4.4	14-Jul-08	4	01-Sep-08	2	09-Nov-08	0.2
21-May-08	1.8	15-Jul-08	0.2	02-Sep-08	1	10-Nov-08	0.2
22-May-08	0.2	16-Jul-08	2.4	03-Sep-08	0.2	12-Nov-08	0.2
29-May-08	0.8	17-Jul-08	9.6	05-Sep-08	0.2	16-Nov-08	0.2
30-May-08	1.6	18-Jul-08	2.4	06-Sep-08	0.2	23-Nov-08	0.2
03-Jun-08	1.6	19-Jul-08	0.4	07-Sep-08	0.2		
04-Jun-08	26	21-Jul-08	2.8	08-Sep-08	2		
06-Jun-08	0.6	22-Jul-08	19.6	09-Sep-08	1		
07-Jun-08	20.4	23-Jul-08	2	10-Sep-08	0.4		
08-Jun-08	6.8	24-Jul-08	11.2	11-Sep-08	0.2		
09-Jun-08	13	25-Jul-08	6.6	13-Sep-08	14.8		
10-Jun-08	7	26-Jul-08	12.4	14-Sep-08	10.4		
11-Jun-08	13.6	27-Jul-08	3.8	15-Sep-08	5.2		
12-Jun-08	9	28-Jul-08	0.6	18-Sep-08	1.2		
13-Jun-08	4.2	29-Jul-08	6.2	19-Sep-08	0.4		
14-Jun-08	3.2	30-Jul-08	0.4	20-Sep-08	0.4		
15-Jun-08	1.6	01-Ago-08	0.4	21-Sep-08	0.2		
16-Jun-08	26.8	02-Ago-08	11.2	22-Sep-08	2		
17-Jun-08	4	03-Ago-08	1	24-Sep-08	0.2		
18-Jun-08	0.6	04-Ago-08	17.6	25-Sep-08	2		
19-Jun-08	0.2	05-Ago-08	9	26-Sep-08	0.2		
21-Jun-08	1.4	06-Ago-08	14	27-Sep-08	15		
22-Jun-08	18.8	07-Ago-08	1.4	28-Sep-08	0.6		
23-Jun-08	8.2	08-Ago-08	6.6	29-Sep-08	0.2		
24-Jun-08	6.6	10-Ago-08	0.2	04-Oct-08	1.2		
		11-Ago-08	8.4	05-Oct-08	0.2		

Anexo II. Temperatura máxima, mínima y observada registrada en el año 2008

Fecha	Temperatura Observada	Temperatura máxima	Temperatura Mínima	Temperatura Media	Oscilación térmica
01-Ene	9	18	4	11	14
02-Ene	1	14	1	8	13
03-Ene	-3	10	-3	4	13
04-Ene	-3	14	-3	6	17
05-Ene	7	18	3	11	15
06-Ene	2	17	2	10	15
07-Ene	1	19	1	10	18
08-Ene	2	17	1	9	16
09-Ene	2	17	2	10	15
10-Ene	2	18	2	10	16
11-Ene	3	17	2	10	15
12-Ene	6	17	1	9	16
13-Ene	2	18	2	10	16
14-Ene	2	17	2	10	15
15-Ene	5	17	2	10	15
16-Ene	9	14	4	9	10
17-Ene	3	14	1	8	13
18-Ene	2	16	2	9	14
19-Ene	5	16	2	9	14
20-Ene	5	15	4	10	11
21-Ene	2	16	2	9	14
22-Ene	3	20	2	11	18
23-Ene	5	20	4	12	16
24-Ene	6	22	5	14	17
25-Ene	5	20	4	12	16
26-Ene	4	20	4	12	16
27-Ene	7	19	4	12	15
28-Ene	3	19	3	11	16
29-Ene	4	19	3	11	16
30-Ene	5	19	3	11	16
31-Ene	3	19	1	10	18
01-Feb	3	19	3	11	16
02-Feb	5	19	2	11	17
03-Feb	11	19	3	11	16
04-Feb	4	21	2	12	19
05-Feb	1	19	0	10	19
06-Feb	2	20	1	11	19
07-Feb	3	19	1	10	18
08-Feb	7	20	2	11	18
09-Feb	5	19	3	11	16
10-Feb	7	20	3	12	17
11-Feb	3	20	3	12	17
12-Feb	5	20	2	11	18
13-Feb	5	17	2	10	15
14-Feb	3	20	2	11	18
15-Feb	5	19	2	11	17
16-Feb	10	21	3	12	18

Fecha	Temperatura Observada	Temperatura máxima	Temperatura Mínima	Temperatura Media	Oscilación térmica
17-Feb	6	21	1	11	20
18-Feb	7	20	3	12	17
19-Feb	3	22	2	12	20
20-Feb	7	21	2	12	19
21-Feb	9	21	2	12	19
22-Feb	2	31	7	19	24
23-Feb	10	30	5	18	25
24-Feb	12	22	7	15	15
25-Feb	10	21	5	13	16
26-Feb	6	18	5	12	13
27-Feb	6	22	6	14	16
28-Feb	6	19	4	12	15
29-Feb	10	20	4	12	16
01-Mar	10	19	5	12	14
02-Mar	9	19	5	12	14
03-Mar	7	18	5	12	13
04-Mar	7	10	7	9	3
05-Mar	7	20	4	12	16
06-Mar	5	18	3	11	15
07-Mar	3	16	0	8	16
08-Mar	5	16	1	9	15
09-Mar	9	16	1	9	15
10-Mar	8	16	2	9	14
11-Mar	7	17	3	10	14
12-Mar	6	20	4	12	16
13-Mar	6	19	4	12	15
14-Mar	9	18	4	11	14
15-Mar	9	21	5	13	16
16-Mar	11	22	6	14	16
17-Mar	11	20	5	13	15
18-Mar	8	20	6	13	14
19-Mar	6	16	3	10	13
20-Mar	2	20	1	11	19
21-Mar	11	20	2	11	18
22-Mar	12	22	6	14	16
23-Mar	12	21	6	14	15
24-Mar	8	21	6	14	15
25-Mar	10	17	5	11	12
26-Mar	12	20	6	13	14
27-Mar	12	20	7	14	13
28-Mar	13	22	8	15	14
29-Mar	11	23	6	15	17
30-Mar	13	22	7	15	15
31-Mar	14	23	7	15	16
01-Abr	15	24	8	16	16
02-Abr	14	25	9	17	16
03-Abr	13	25	8	17	17
04-Abr	14	25	8	17	17
05-Abr	9	24	6	15	18
06-Abr	8	22	5	14	17

Fecha	Temperatura Observada	Temperatura máxima	Temperatura Mínima	Temperatura Media	Oscilación térmica
07-Abr	7	21	6	14	15
08-Abr	7	24	6	15	18
09-Abr	8	25	6	16	19
10-Abr	9	22	6	14	16
11-Abr	10	24	7	16	17
12-Abr	10	25	10	18	15
13-Abr	9	24	9	17	15
14-Abr	7	18	7	13	11
15-Abr	8	20	7	14	13
16-Abr	7	19	6	13	13
17-Abr	8	20	6	13	14
18-Abr	9	22	6	14	16
19-Abr	11	24	8	16	16
20-Abr	11	24	9	17	15
21-Abr	12	23	9	16	14
22-Abr	12	26	10	18	16
23-Abr	12	25	9	17	16
24-Abr	8	24	8	16	16
25-Abr	9	23	6	15	17
26-Abr	12	25	9	17	16
27-Abr	12	25	7	16	18
28-Abr	10	23	8	16	15
29-Abr	7	19	7	13	12
30-Abr	7	19	5	12	14
01-May	12	16	6	11	10
02-May	9	21	6	14	15
03-May	9	23	7	15	16
04-May	16	25	9	17	16
05-May	11	23	8	16	15
06-May	10	24	9	17	15
07-May	10	23	10	17	13
08-May	10	24	10	17	14
09-May	14	26	10	18	16
10-May	15	26	10	18	16
11-May	13	26	10	18	16
12-May	13	27	10	19	17
13-May	11	26	10	18	16
14-May	10	25	9	17	16
15-May	10	23	8	16	15
16-May	12	24	9	17	15
17-May	11	24	8	16	16
18-May	13	23	8	16	15
19-May	11	24	8	16	16
20-May	10	24	10	17	14
21-May	7	16	6	11	10
22-May	6	20	6	13	14
23-May	11	21	5	13	16
24-May	12	24	7	16	17
25-May	12	25	6	16	19

Fecha	Temperatura Observada	Temperatura máxima	Temperatura Mínima	Temperatura Media	Oscilación térmica
26-May	12	25	12	19	13
27-May	10	22	9	16	13
28-May	10	24	9	17	15
29-May	10	23	6	15	17
30-May	13	23	7	15	16
31-May	13	22	9	16	13
01-Jun	13	23	9	16	14
02-Jun	12	26	8	17	18
03-Jun	11	14	9	12	5
04-Jun	14	26	9	18	17
05-Jun	9	25	9	17	16
06-Jun	12	23	9	16	14
07-Jun	10	23	10	17	13
08-Jun	10	22	10	16	12
09-Jun	10	16	10	13	6
10-Jun	10	18	10	14	8
11-Jun	11	18	10	14	8
12-Jun	10	17	10	14	7
13-Jun	11	16	9	13	7
14-Jun	10	19	9	14	10
15-Jun	11	18	10	14	8
16-Jun	11	19	10	15	9
17-Jun	9	21	9	15	12
18-Jun	10	18	9	14	9
19-Jun	14	21	8	15	13
20-Jun	12	21	8	15	13
21-Jun	12	21	9	15	12
22-Jun	11	21	9	15	12
23-Jun	10	20	8	14	12
24-Jun	9	17	9	13	8
25-Jun	11	17	9	13	8
26-Jun	11	20	9	15	11
27-Jun	10	19	8	14	11
28-Jun	12	19	9	14	10
29-Jun	11	19	9	14	10
30-Jun	11	17	10	14	7
01-Jul	10	18	9	14	9
02-Jul	10	15	10	13	5
03-Jul	10	19	10	15	9
04-Jul	10	20	9	15	11
05-Jul	10	19	10	15	9
06-Jul	11	21	9	15	12
07-Jul	11	21	10	16	11
08-Jul	11	18	11	15	7
09-Jul	14	19	10	15	9
10-Jul	11	14	9	12	5
11-Jul	11	16	9	13	7
12-Jul	11	17	9	13	8
13-Jul	9	19	8	14	11
14-Jul	12	20	9	15	11

Fecha	Temperatura Observada	Temperatura máxima	Temperatura Mínima	Temperatura Media	Oscilación térmica
15-Jul	11	19	9	14	10
16-Jul	10	19	10	15	9
17-Jul	13	20	9	15	11
18-Jul	11	20	9	15	11
19-Jul	9	20	7	14	13
20-Jul	10	20	9	15	11
21-Jul	6	16	6	11	10
22-Jul	10	22	6	14	16
23-Jul	8	20	7	14	13
24-Jul	9	19	7	13	12
25-Jul	10	20	10	15	10
26-Jul	12	19	9	14	10
27-Jul	8	18	7	13	11
28-Jul	9	17	7	12	10
29-Jul	10	19	8	14	11
30-Jul	8	20	8	14	12
31-Jul	11	19	8	14	11
01-Ago	10	21	9	15	12
02-Ago	12	23	9	16	14
03-Ago	9	20	9	14	11
04-Ago	12	20	9	14	11
05-Ago	11	20	8	14	12
06-Ago	11	18	10	14	9
07-Ago	11	18	10	14	8
08-Ago	10	19	9	14	10
09-Ago	11	19	10	14	10
10-Ago	10	19	9	14	10
11-Ago	10	21	9	15	12
12-Ago	9	22	9	15	13
13-Ago	10	20	9	15	11
14-Ago	8	21	8	15	13
15-Ago	9	20	9	14	12
16-Ago	11	22	9	16	13
17-Ago	12	20	10	15	11
18-Ago	11	21	10	16	11
19-Ago	12	20	10	15	10
20-Ago	11	20	10	15	10
21-Ago	11	21	11	16	10
22-Ago	11	21	10	15	11
23-Ago	10	20	10	15	11
24-Ago	11	21	10	16	11
25-Ago	10	19	10	15	9
26-Ago	9	20	9	15	11
27-Ago	10	20	10	15	11
28-Ago	10	20	10	15	11
29-Ago	10	21	10	15	11
30-Ago	11	20	10	15	10
31-Ago	10.5	22	9.5	16	13
01-Sep	10	20	9	15	11

Fecha	Temperatura Observada	Temperatura máxima	Temperatura Mínima	Temperatura Media	Oscilación térmica
02-Sep	12	20	9	15	11
03-Sep	11	21	11	16	10
04-Sep	11	19	11	15	8
05-Sep	9	20	9	15	11
06-Sep	9	20	9	15	11
07-Sep	11	20	9	15	11
08-Sep					
09-Sep	10	17	10	14	7
10-Sep	11	19	10	15	9
11-Sep	10	22	10	16	12
12-Sep	11	22	10	16	12
13-Sep	12	22	10	16	12
14-Sep	10	22	10	16	12
15-Sep	10.5	16	10.5	13	6
16-Sep	9.5	16.5	9.5	13	7
17-Sep	10	16.5	9.5	13	7
18-Sep	10	19.5	9.5	15	10
19-Sep	10	18.5	10	14	9
20-Sep	11	19	10	15	9
21-Sep	10	18	10	14	8
22-Sep	10	16	10	13	6
23-Sep	11	18	11	15	7
24-Sep	10.5	20	10	15	10
25-Sep	10	17	10	14	7
26-Sep	8	15	8	12	7
27-Sep	8	16.5	7	12	10
28-Sep	7	18.5	7	13	12
29-Sep	5	18	5	12	13
30-Sep	4.5	19	4	12	15
01-Oct	4.5	17	4	11	13
02-Oct	4.5	18.5	4	11	15
03-Oct	6	18.5	4.5	12	14
04-Oct	6.5	18.5	5	12	14
05-Oct	9	19	6	13	13
06-Oct	8.5	19	8	14	11
07-Oct	8.5	20	8	14	12
08-Oct	10	18	8	13	10
09-Oct	10	17	9	13	8
10-Oct	10	21	10	16	11
11-Oct	10.5	19	9.5	14	10
12-Oct	9	18	9	14	9
13-Oct	10.5	21	9	15	12
14-Oct	5.5	19	5	12	14
15-Oct	5	17	5.5	11	12
16-Oct	8	18	6	12	12
17-Oct	10.5	18.5	8.5	14	10
18-Oct	9	16	8.5	12	8
19-Oct	8	15	6.5	11	9
20-Oct	7	16.5	7	12	10

Fecha	Temperatura Observada	Temperatura máxima	Temperatura Mínima	Temperatura Media	Oscilación térmica
21-Oct	6	18	6	12	12
22-Oct	5	19	5	12	14
23-Oct	7.5	18	6.5	12	12
24-Oct	9.5	19	7	13	12
25-Oct	6.5	19	6	13	13
26-Oct	6	19.5	6	13	14
27-Oct	8	19.5	6	13	14
28-Oct	4.5	13	4	9	9
29-Oct	4	13	2	8	11
30-Oct	5.5	17.5	3.5	11	14
31-Oct	3.5	19	3.5	11	16
01-Nov	6.5	18	3.5	11	15
02-Nov	6	15	6	11	9
03-Nov	5.5	15.5	5	10	11
04-Nov	5	16.5	5	11	12
05-Nov	4	12	4	8	8
06-Nov	4	16	5	11	11
07-Nov	3.5	17	3	10	14
08-Nov	5	17	5.5	11	12
09-Nov	5.5	18	5	12	13
10-Nov	4.5	17	4	11	13
11-Nov	3	15	4	10	11
12-Nov	5	17	4	11	13
13-Nov	2	16	3	10	13
14-Nov	2	17	1	9	16
15-Nov	7	16	2	9	14
16-Nov	3	14	3	9	11
17-Nov	4	16	2	9	14
18-Nov	5	17	4	11	13
19-Nov	3	17	2.5	10	15
20-Nov	1	16	1.5	9	15
21-Nov	2	17	1	9	16
22-Nov	4	13	2	8	11
23-Nov	3	15	2	9	13
24-Nov	4	16	3	10	13
25-Nov	4	17	4	11	13
26-Nov	3.5	15	3	9	12
27-Nov	4	17	3	10	14
28-Nov	4	17	4	11	13
29-Nov	5	18	4	11	14
30-Nov	5	15	4	10	11
01-Dic	0	14	0	7	14
02-Dic	1	14	0	7	14
03-Dic	1	15	1	8	14
04-Dic	2	14	1	8	13
05-Dic	2	17	3	10	14
06-Dic	4	13	3	8	10
07-Dic	5	16	3	10	13

Fecha	Temperatura Observada	Temperatura máxima	Temperatura Mínima	Temperatura Media	Oscilación térmica
08-Dic	4	17	3	10	14
09-Dic	4	15	4	10	11
10-Dic	2	15	1	8	14
11-Dic	1	14	2	8	12
12-Dic	5	16	1	9	15
13-Dic	4	16	3	10	13
14-Dic	3	15	2	9	13
15-Dic	3	16	4	10	12
16-Dic	5	18	4	11	14
17-Dic	2	19	3	11	16
18-Dic	3	16	4	10	12
19-Dic	9	17	5	11	12
20-Dic	3	18	4	11	14
21-Dic	4	18	4	11	14
22-Dic	3	16	2	9	14
23-Dic	1	15	1	8	14
24-Dic	4	13	1	7	12
25-Dic	5	15	3	9	12
26-Dic	4	15	3	9	12
27-Dic	3	15	2	9	13
28-Dic	5	16	2	9	14
29-Dic	6	16	4	10	12
30-Dic	4	16	4	10	12
31-Dic	4	15	4	10	11