UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

CENTRO DE AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ (*Coffea* spp.) BAJO SOMBRA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO MÉXICO

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

P R E S E N T A:

EDUARDO VALDÉS VELARDE

Chapingo, Estado de México, octubre de 2003

BIB 100002

APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ (*Coffea* spp.) BAJO SOMBRA

Tesis realizada por **Eduardo Valdés Velarde,** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

DIRECTOR: _____

DR. JOEL PÉREZ NIETO

ASESOR: _____

DR. VICTOR ORDAZ CHAPARRO

ASESOR: _____

DR. LAKSMI R. KRISHNAMURTHY

42038

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia, agradezco sobremanera el apoyo económico que me brindó el CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) para llevar a cabo la presente investigación.

A la UACh (Universidad Autónoma Chapingo), por permitirme hacer mis estudios de posgrado en sus instalaciones y por todos los recursos económicos, logísticos y humanos con los que me apoyó. Un agradecimiento especial a todos mis profesores del programa de maestría, así como a los del Departamento de Zootecnia (Dr. Carlos A. Markof Álvarez y Dr. Jorge Castrellón), por todos los conocimientos que me aportaron durante mi posgrado, así como su calidez humana y todo el apoyo brindado.

Igualmente, mi agradecimiento al Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible y los doctores y maestros que integran el comité del Programa de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible de la UACh, por el financiamiento otorgado para cubrir mis asignaturas, investigación y viajes de estudios, así como por las prórrogas que me concedieron para la presentación de mi examen de grado.

De manera muy especial y muy afectuosa quiero agradecer al Dr. Joel Pérez Nieto, por todo: desde los valiosos conocimientos que me transmitió desde su papel como profesor del programa de maestría en agroforestería para el desarrollo sostenible, hasta su constante apoyo, su extraordinaria paciencia para atenderme cada vez que lo requerí, y por su gran calidad y profesionalismo que siempre demostró como mi asesor y director de tesis.

Al Dr. Víctor Ordaz Chaparro, del Colegio de Postgraduados, por sus consejos y las valiosas aportaciones que otorgó a este trabajo.

Al Dr. Larksmi Reddiar Krishnamurthy, Director del Centro de Agroforestería para el desarrollo sostenible de la UACh, por todo su apoyo a lo largo de mis estudios y trabajo de tesis, así como sus apreciables aportaciones como asesor.

A la M.C. Elsa Cervera Backhauss, excoordinadora del Programa de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible y profesora del mismo, por su invaluable ayuda y consejo al inicio de esta investigación.

A los laboratoristas Víctor Sánchez García y Gumaro Meraz Urban, y a los choferes Mario Zarate Enciso y Juan Antonio Paoly Mendieta, por su gran ayuda en mi trabajo de laboratorio y de campo, respectivamente, muchas gracias.

A la UENOT (Unión de Ejidos Nahuatl-Otomí-Tepehua) por todos los apoyos recibidos.

A los habitantes de El Coyol que prestaron sus terrenos para la realización de esta investigación y a los que me brindaron sus atenciones y hospitalidad, así como sus muestras de amistad, muchas gracias.

Al M.C. Matías Edilberto Hernández San Román y al Ing. Juan Hernández García, ya que gracias a sus trabajos de tesis que antecedieron al mío, y sus valiosos y desinteresados consejos que me hicieron mas llevadera mi carga de trabajo, pude llegar finalmente a la consecución del mismo. Al M.C. Eduardo Salcedo Pérez y el Ing. Ciriaco Ayala Sánchez, por sus grandes e incondicionales muestras de amistad y por toda la ayuda que siempre me brindaron, de una u otra manera, durante todo mi trabajo.

Y mi más especial y afectuoso agradecimiento a mis grandes amigos: el M.C. Daniel Callo Concha, por su invaluable ayuda y todo el enorme apoyo que me brindó a lo largo de mi trabajo de tesis, tanto material como moral, especialmente en la última parte del mismo, y al Profr. Carlos Gil Rodríguez, por ser mi amigo desde siempre y hasta siempre, mi eterno agradecimiento por todo.

DEDICATORIAS

Con todo mi amor y enorme gratitud dedico a mi madre este trabajo, por el infinito apoyo y cariño que siempre me ha brindado, así como su incansable preocupación por mí persona...
¡Muchas gracias, mamá!

A mi querida esposa, por estar siempre conmigo, en las buenas y en las malas, por sus constantes muestras de cariño y toda su ayuda, paciencia y comprensión que siempre me brindó para lograr esta meta, a ella todo mi amor y una mención muy especial.

A mis queridos hermanos Jacqueline, Ulises e Israel, por todo lo que me han ayudado siempre y por el cariño que nos une.

A mis suegros, cuñados, cuñadas, concuño, concuñas y a todos mis sobrinos y sobrinas, y en general a todos mis amigos que siempre han estado conmigo, una dedicatoria y una agradecimiento muy generoso para todos ellos.

DATOS BIOGRÁFICOS

Eduardo Valdés Velarde nació en la Ciudad de México el 6 de marzo de 1964. Estudió la educación primaria de 1969 a 1975 en el "Centro Escolar Nezahualcóyotl" en la colonia Centro, municipio de Texcoco, Estado de México. Realizó la educación secundaria en la Escuela Secundaria Federal "Ignacio Ramírez" (ESFIR grupo"F"), en la colonia Santa Úrsula, en Texcoco, México, de 1975 a 1978. Continuó con sus estudios de bachillerato en la "Escuela Preparatoria Texcoco" (EPT) de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), en Texcoco, México, de 1978 a 1981. Estudio la licenciatura en Hidrobiología en la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa (UAM-I), en el Distrito Federal, de 1983 a 1989, obteniendo el título en 1990. Estudio la Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible en el Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, Estado de México, de 1999 a 2003.

Desde 1997 a la fecha se ha dedicado a la docencia y ha impartido clases en la ciudad de Texcoco en la Preparatoria Oficial No. 100, Preparatoria Oficial No. 79, Escuela Secundaria "Juan Ruíz de Alarcón", Centro Universitario de Educación Media Superior (C.U.E.M.S.), y actualmente labora en la Preparatoria Anexa a la Normal de Texcoco ("PAN Texcoco") y en la Escuela Normal de Texcoco, en Tulantongo, Texcoco, Estado de México.

En nivel secundaria ha impartido las asignaturas de Geografía I y II, y Educación Ambiental.

En nivel bachillerato ha impartido hasta el momento las asignaturas de Álgebra I y II, Química I y II, Educación para la Salud II y IV, Biología General, Geografía, Ecología y Taller de Lectura y Redacción I.

En nivel licenciatura ha impartido las asignaturas de Introducción a la Enseñanza de la Geografía, Diversidad Geográfica Mundial y de México II, El Espacio y su Enseñanza, El Pensamiento Geográfico del Adolescente, Interacción: Relieve, Agua, Clima I y II, Territorio, Población y Cultura, Espacio Rural y Espacio Urbano, Geografía y su Enseñanza I y II, Introducción a la Enseñanza de la Formación Cívica y Ética, Problemas y Políticas de la Educación Básica (nivel primaria), Problemas y Políticas de la Educación Básica (nivel secundaria), Seminario de Temas Selectos de la Historia de la Pedagogía y la Educación II, Opcional I y II (Historia) y Taller de Lectura y Redacción.

ÍNDICE GENERAL

		pág
	RESUMEN	xx
	ABSTRACT	xx
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	AGROFORESTERÍA	3
2.1.1.	Concepto, alcances y limitaciones	3
2.1.2.	Sistemas, prácticas y tecnologías agroforestales	4
2.1.3.	Agroforestería y conservación de suelos	4
2.2.	EL CAFÉ (*Coffea* spp)	6
2.2.1.	Características y requerimientos de cultivo	6
2.2.2.	Los sistemas agroforestales de café bajo sombra, características estructurales y funcionales	6
2.2.3.	El cultivo de café en México	10
2.2.4.	Los sistemas de producción de café en México	10
2.3.	EROSIÓN Y CONSERVACIÓN DE SUELOS	12
2.3.1.	Erosión, definiciones	14
2.4.	TOLERANCIA A LA PÉRDIDA DE SUELOS (*T*)	17
2.5.	ÁRBOLES Y CONSERVACIÓN DE SUELOS	18
2.6.	PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN	20
2.6.1.	Barreras vivas	21
2.6.2.	Terrazas	22
2.6.3.	Cultivos de cobertura	22
2.7.	VARIABLES EDÁFICAS	25
2.7.1.	Densidad aparente	25
2.7.2.	Contenido de humedad	25
2.7.3.	Infiltración	29
2.7.4.	Pérdida de nutrimentos	34

		pág
2.8.	ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (EUPS)	35
2.8.1.	Factor erosividad (R) de la lluvia	37
2.8.2.	Índices de erosividad de la lluvia	38
2.8.3.	Factor erosionabilidad (K) del suelo	41
2.8.4.	Factor longitud y grado (LS) de la pendiente	41
2.8.5.	Factor cobertura y manejo (C) del suelo	43
2.8.6.	Medición de la cobertura vegetal	48
2.8.7.	Factor prácticas de conservación (P)	50
2.9.	CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN DE LITERATURA	50
3.	OBJETIVOS E HIPÓTESIS	54
3.1.	OBJETIVO GENERAL	54
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	54
3.3.	HIPÓTESIS	54
3.4.	SUPUESTOS	54
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	55
4.1.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	55
4.1.1.	Localización del área de estudio	55
4.1.2.	Características del medio natural	55
4.1.3.	Características sociales	59
4.1.4.	Características económicas	59
4.2.	MANEJO DE LOS CAFETALES EN LA COMUNIDAD DE EL COYOL	60
4.3.	DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS Y TRATAMIENTOS ESTUDIADOS	62
4.3.1.	Características de las parcelas experimentales	62
4.4.	DETERMINACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN, EL ESCURRIMIENTO Y LA PÉRDIDA DE SUELO	65
4.4.1.	Precipitación	65
4.4.2.	Escurrimiento	66
4.4.3.	Pérdida de suelo	71

		pág
4.4.4.	Características físicas del suelo	72
4.4.5.	Predicción de la pérdida de suelo mediante la EUPS	77
4.5.	EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ	84
5.	RESULTADOS Y DISCUSION	85
5.1.	PRECIPITACIÓN	85
5.2.	ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL	87
5.3.	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	100
5.4.	PÉRDIDA DE NUTRIMENTOS EN EL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL	101
5.5.	PÉRDIDA DE SUELO	104
5.6.	PÉRDIDA DE SUELO ESTIMADA POR LA EUPS AJUSTADA	116
5.6.1.	Erosividad de la lluvia (R)	116
5.6.2.	Erosionabilidad del suelo (K), longitud (L) y grado de la pendiente (S)	122
5.6.3.	Factor manejo y cobertura vegetal (C)	122
5.6.4.	Prácticas de conservación (P)	128
5.6.5.	Pérdida de suelo estimada	128
5.7.	PRODUCCIÓN DE LOS CAFETALES	130
5.8.	TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA	134
6.	CONCLUSIONES	135
7.	LITERATURA CITADA	137
8.	ANEXOS	146
8.1.	TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA	250

ÍNDICE DE CUADROS EN EL TEXTO

		pág
Cuadro 1.	Labores culturales que se realizaron durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.	62
Cuadro 2.	Características de los tratamientos estudiados.	63
Cuadro 3.	Determinación de la cobertura por mantillo ajustada por tratamiento...	83
Cuadro 4.	Distribución de los eventos de lluvia registrados de enero a diciembre del año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.	87
Cuadro 5.	Coeficientes de correlación (r) y regresión lineal (R^2) entre precipitación e intensidades medias.	87
Cuadro 6.	Densidad aparente y contenido de humedad a 30 cm de profundidad e infiltración básica del suelo en El Coyol, Tlachichilco, Ver.....	97
Cuadro 7.	Lámina escurrida y coeficientes de escurrimiento por tratamiento de café bajo sombra durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.	101
Cuadro 8.	Coeficientes de correlación (r) y de regresión lineal (R^2) entre intensidades medias e índices de erosividad con pérdida de suelo.	112
Cuadro 9.	Distribución de los eventos de lluvias erosivas y EI_{30} de acuerdo a su magnitud para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.	117
Cuadro 10.	Coeficientes de correlación (r) y de regresión (R^2) entre la pérdida de suelo observada (AO) y los parámetros K, L, S y LS de la EUPS.....	122
Cuadro 11.	Cobertura (%) en los tratamientos de café bajo sombra en el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.	124
Cuadro 12.	Coeficientes de determinación (R^2) entre pérdida de suelo y cobertura vegetal con distintos modelos de regresión por fecha de muestreo para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.	125
Cuadro 13.	Factor C de la EUPS en sistemas agroforestales de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.	128
Cuadro 14.	Estimación de la pérdida de suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver., utilizando el índice de erosividad de Wishmeier (EI_{30}).	129
Cuadro 15.	Estimación de la pérdida de suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver., utilizando el índice de erosividad de Hudson (KE>25).	129
Cuadro 16.	Estimación de la pérdida de suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver., utilizando el índice de erosividad de Lal (AI_m).	130
Cuadro 17.	Características y producción de café por tratamiento en los sistemas agroforestales de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver.	131

ÍNDICE DE FIGURAS EN EL TEXTO

pág

Figura 1. Ubicación geográfica de la comunidad de El Coyol, Tlachichilco, Ver. (García, 1999) 56

Figura 2. Equipo de muestreo de escurrimiento y pérdida de sedimentos colocado en cada uno de los tratamientos en El Coyol, Tlachichilco, Ver 68

Figura 3. Croquis del equipo de muestreo de escurrimiento y pérdida de suelo colocado en los tratamientos en El Coyol, Tlachichilco, Ver 70

Figura 4. Instrumento y metodología de toma de muestras para la determinación de densidad aparente y contenido de humedad en El Coyol, Tlachichilco, Ver. A= muestreador de suelos (barrena); B= descripción de la barrena para muestras de suelo inalterado (Cavazos y Rodríguez, 1992) 73

Figura 5. Equipo utilizado para la medición de infiltración, densidad aparente y contenido de humedad en El Coyol, Tlachichilco, Ver 75

Figura 6. Precipitación observada por evento de lluvia durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver 85

Figura 7. Precipitación mensual observada durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver 86

Figura 8. Escurrimiento observado por evento de lluvia durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver 88

Figura 9. Escurrimiento mensual durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver 89

Figura 10. Escurrimiento anual por tratamiento durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver 90

Figura 11. Escurrimiento mensual por tratamiento durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver 93

Figura 12. Relación escurrimiento – precipitación durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver 94

Figura 13. Relación escurrimiento – intensidad durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver 95

Figura 14. Densidad aparente promedio del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver 96

Figura 15. Contenido de humedad promedio del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver 96

Figura 16. Infiltración promedio en sistemas agroforestales de café bajo sombra por tipo de suelo durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver 99

pág

Figura 17. Relación escurrimiento - precipitación bajo la condición de humedad antecedente (CHA) en el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver..... 100
Figura 18. Pérdida de nutrimentos, pH y conductividad en el escurrimiento superficial por tratamiento de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver..... 103
Figura 19. Relación pérdida de nutrimentos – escurrimiento superficial en sistemas agroforestales de café bajo sombra durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver..... 104
Figura 20. Pérdida de suelo observada por evento de lluvia durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver..... 106
Figura 21. Pérdida de suelo mensual en sistemas agroforestales de café bajo sombra durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver..... 106
Figura 22. Pérdida de suelo total observada por tratamiento en sistemas agroforestales de café bajo sombra durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver..... 107
Figura 23. Pérdida de suelo mensual por tratamiento durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver..... 111
Figura 24. Relación pérdida de suelo – precipitación en sistemas agroforestales de café bajo sombra durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver..... 111
Figura 25. Relación pérdida de suelo – escurrimiento (a = lineal, b = exponencial, c = potencial) en sistemas agroforestales de café bajo sombra durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver..... 114
Figura 26. Erosividad mensual de la lluvia durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver..... 116
Figura 27. Relación EI_{30} y precipitación durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver..... 117
Figura 28. Figura 28. Relación pérdida de suelo – índices de erosividad en sistemas agroforestales de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver. 121
Figura 29. Relación pérdida de suelo – coberturas vegetales en los tratamientos de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver..... 126
Figura 30. Relación escurrimiento – coberturas vegetales en los tratamientos de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver..... 127
Figura 31. Relación entre la pérdida de suelo estimada y la observada considerando el EI_{30} en sistemas agroforestales de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver..... 130

pág

Figura 32. Comparación de la producción de café cereza por tratamiento entre los ciclos 2000-2001 y 2001-2002 en El Coyol, Tlachichilco, Ver..... 131

Figura 33. Relación entre la producción de café cereza y la edad por tratamiento durante los ciclos 2000-2001 y 2001-2002 en El Coyol, Tlachichilco. .. 132

Figura 34. Relación entre la producción de café cereza y la cantidad de plantas de café por tratamiento durante los ciclos 2000-2001 y 2001-2002..... 133

ÍNDICE DE ANEXOS

CUADROS

		pág
Cuadro A1.	Precipitación observada de enero a diciembre en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001	146
Cuadro A2.	Valores de intensidad por evento de lluvia erosiva en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001	148
Cuadro A3.	Índice de erosividad de la lluvia EI_{30} para eventos mayores o iguales a 12.7 mm de precipitación en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001	149
Cuadro A4.	Ejemplo de cálculo de la erosividad de la lluvia utilizando el índice EI_{30} en El Coyol, Tlachichilco, Ver., para el 5 de febrero del 2001	150
Cuadro A5.	Índice de erosividad de la lluvia KE>25 para eventos con intensidades de lluvia mayores o iguales a 25 mm hr^{-1} en El Coyol, Tlachichilco, Ver	152
Cuadro A6.	Ejemplo de cálculo de la erosividad de la lluvia utilizando el índice KE>25 en El Coyol, Tlachichilco, Ver., para el 1 de enero del 2001	153
Cuadro A7.	Índice de erosividad de la lluvia AIm para todos los eventos erosivos en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001	155
Cuadro A8.	Ejemplo de cálculo de la erosividad de la lluvia utilizando el índice AI_m en El Coyol, Tlachichilco, Ver., para el 5 de febrero del 2001	156
Cuadro A9.	Volumen total de agua (l) escurrido por evento y tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001	157
Cuadro A10.	Volumen total de agua escurrida (m^3) por evento de lluvia por tratamiento en los sistemas de café bajo sombra estudiados en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001	158
Cuadro A11.	Volumen de agua escurrida (m^3 ha^{-1}) por evento de lluvia en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001	159
Cuadro A12.	Volumen de agua escurrida (mm) por evento de lluvia en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001	160
Cuadro A13.	Coeficientes de escurrimiento (%) por evento y tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001	164

pág

Cuadro A14. Conductividad eléctrica, pH y salida de nutrimentos (nitratos y potasio) en el escurrimiento superficial por tratamiento y fecha de muestreo en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver..... 165
Cuadro A15. Cálculo de la condición de humedad antecedente (CHA) para todos los días del año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver..... 168
Cuadro A16. Eventos con escurrimiento en condición de humedad antecedente I (seca) en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 172
Cuadro A17. Eventos con escurrimiento en condición de humedad antecedente II (intermedia) en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 172
Cuadro A18. Eventos con escurrimiento en condición de humedad antecedente III (húmeda) en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 173
Cuadro A19. Concentración de sedimentos (g) por cantidad de agua muestreada (l) por tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2000..... 177
Cuadro A20. Pérdida de suelo (kg) por evento de lluvia que provocó escurrimiento por tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 178
Cuadro A21. Pérdida de suelo (kg ha^{-1}) por evento de lluvia y tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 179
Cuadro A22. Densidad aparente y contenido de humedad del suelo por tratamiento de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Veracruz. Año 2001..... 183
Cuadro A23. Densidad aparente (Dap) y contenido de humedad (Hg) promedio por tipo de suelo, en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 184
Cuadro A24. Promedios de infiltración por tratamiento en el mes de julio en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 188
Cuadro A25. Promedios de infiltración por tratamiento en el mes de noviembre en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 189
Cuadro A26. Datos de infiltración por tratamiento en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 190
Cuadro A27. Valores de infiltración por tipo de suelo en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 190
Cuadro A28. Datos del muestreo de vegetación UNO (arbóreo, arbustivo y herbáceo). MAYO DEL 2001..... 193
Cuadro A29. Datos del muestreo de vegetación DOS (arbóreo, arbustivo y herbáceo). AGOSTO DEL 2001..... 207

pág

Cuadro A30. Datos del muestreo de vegetación TRES (arbóreo, arbustivo y herbáceo). SEPTIEMBRE DEL 2001 222

Cuadro A31. Datos del muestreo de vegetación CUATRO (arbóreo, arbustivo y herbáceo). NOVIEMBRE DEL 2001 235

FIGURAS

pág

Figura A1. Calibración de los tanques muestreadores en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Relación volumen – altura. El primer dígito del título corresponde al número de tratamiento, el segundo al número de tanque en orden progresivo..... 161

Figura A2. Relación de la pérdida de nitratos con el escurrimiento superficial en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. (a = 14 de agosto; b = 13 de septiembre; c = promedio). Año 2001..... 166

Figura A3. Relación de la pérdida de potasio con el escurrimiento superficial en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. (a = 14 de agosto; b = 13 de septiembre; c = promedio). Año 2001..... 167

Figura A4. Relación escurrimiento - precipitación bajo la condición de humedad antecedente I por tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 174

Figura A5. Relación escurrimiento - precipitación bajo la condición de humedad antecedente II por tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 175

Figura A6. Relación escurrimiento - precipitación bajo la condición de humedad antecedente III por tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 176

Figura A7. Relación entre pérdida de suelo y escurrimiento por tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 180

Figura A8. Relación entre pérdida de suelo acumulada y EI_{30} acumulado por mes por tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 181

Figura A9. Efecto de la cobertura arbórea (a) y herbácea (b) sobre la pérdida de suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001. Promedio de los muestreos de mayo, agosto, septiembre y noviembre..... 182

Figura A10. Densidad aparente y contenido de humedad por tratamiento en el mes de julio en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 185

Figura A11. Densidad aparente y contenido de humedad por tratamiento en el mes de noviembre en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 186

Figura A12. Densidad aparente y contenido de humedad por tratamiento promedio (julio y noviembre) en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001..... 187

pág

Figura A13. Relación velocidad de infiltración – tiempo por tratamiento en julio y noviembre en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001 191

Figura A14. Relación entre la pérdida de suelo observada y la erosionabilidad del suelo, longitud y grado de la pendiente en sistemas agroforestales de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001 192

APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ (*Coffea* spp.) BAJO SOMBRA

UNIVERSAL SOIL LOSS ECUATION APLICATION IN AGROFORESTRY SYSTEMS OF COFFEE (*Coffea* spp.) UNDER SHADE

Eduardo Valdés Velarde y Joel Pérez Nieto

RESUMEN

En las parcelas de los productores de la Unión de Ejidos Náhuatl-Otomí-Tepehua, en El Coyol, Tlachichilco, Ver., se evaluó por segundo año consecutivo (2001) la erosión hídrica y se validó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) en cinco sistemas agroforestales de café (*Coffea* spp.) bajo sombra: Sistema tradicional de café rusticano (T1), Policultivo tradicional mejorado con barreras vivas de palo de agua (*Eupatorium morifolium* Mill) y terrazas individuales (T2), Policultivo tradicional mejorado con cobertura de canavalia (*Canavalia ensiformis* L.) (T3), Policultivo tradicional mejorado con cobertura de cacahuatillo (*Arachis pintoi* Krap & Greg) (T4), y Policultivo tradicional mejorado con barreras vivas de palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.) y palo de agua (*Eupatorium morifolium* Mill) (T5); los dos primeros en Mollisol o Phaeozem gleyico y los demás en Inceptisol o Cambisol crómico. Se definieron parcelas de escurrimiento para cada tratamiento, cada una de las cuales desfogó en un vertedor tipo "H" y cuatro tanques muestreadores, los que captaron el escurrimiento y arrastre de sedimentos producidos por evento de lluvia. Se determinó el escurrimiento y la pérdida de suelo para evaluar la eficiencia de las prácticas de manejo empleadas. El escurrimiento tuvo el siguiente patrón de comportamiento: T4>T3>T2>T5>T1 con valores de 308, 201, 77, 45 y 16 mm año^{-1}, respectivamente, mientras que el de la pérdida de suelo fue T3>T4>T2>T1>T5 con valores de 4.56, 4.24, 1.05, 0.34 y 0.28 t ha^{-1} año^{-1}, respectivamente. Los coeficientes de escurrimiento variaron entre 0.75 y 14%. Los tratamientos T3 y T4 mostraron los mayores escurrimientos y pérdidas de suelo debido a su escasa cobertura arbustiva y de mantillo, poco contenido de materia orgánica, ausencia de barreras vivas y terrazas individuales, así como una pendiente muy pronunciada. Se comprobó la validez de la EUPS en los sistemas estudiados.

Palabras clave: escurrimiento, policultivo tradicional, cobertura vegetal, pérdida de suelo.

ABSTRACT

The present research was conducted under five different types of plots of agroforestry systems with coffee (*Coffea* spp.) under shade, in farmlands belonging to the "Unión de Ejidos Nahuatl-Otomí-Tepehua" in the community of El Coyol, Tlachichilco, Veracruz, with the objective of estimating the surface run-off and soil loss during the second consecutive year (2001) after the establishment present experiment. The following treatments evaluated: rustic coffee tradicional system (T1); traditional improved polyculture with hedgerows of "palo de agua" (*Eupatorium morifolium* Mill) and single terraces (T2), both in Mollisol and Phaeozem gleyico; traditional improved polyculture with cover of canavalia (*Canavalia ensiformis* L.) (T3); traditional improved polyculture with cover of "cacahuatillo forrajero" (*Arachis pintoi* Krap&Greg) (T4); and traditional improved polyculture with hedgerows of "palma camedor" (*Chamaedorea elegans* Mart) and "palo de agua" (*Eupatorium morifolium* Mill) (T5), these treatments in Inceptisol or Cambisol crómico. Each treatment employed a H-flume and four sampler tanks to measure the run-off and sediments produced by rain-fall events. The surface run-off had the following pattern: T4>T3>T2>T5>T1 with 307.92, 200.56, 77.48, 45.14 and 16.45 mm año^{-1}, respectively, and soils loss had the following pattern: T3>T4>>T2>T1>T5 with 4.56, 4.24, 1.05, 0.34 and 0.28 t ha^{-1} year^{-1}, respectively. The run-off coefficients were between 0.75 and 14%. The T3 y T4 treatments showed the higher surface run-offs and soil losses because of their small shrubby less mulch, low organic matter content, absence of hedgerows and single terraces, as well as high slope.

Key words: surface run-off, traditional polyculture, vegetal cover, soil loss.

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos son la base misma de nuestra existencia. Si hacemos un manejo apropiado del suelo se puede considerar un recurso renovable. Para tal fin se utilizan prácticas mecánicas, vegetativas y agronómicas, como las terrazas, los cultivos de cobertura y la incorporación de árboles y arbustos de uso múltiple.

El principal problema de utilizar prácticas de manejo inadecuadas o convencionales es la erosión y, principalmente en el caso de México, la erosión hídrica. Este tipo de erosión es particularmente dañino en regiones con alta intensidad de la precipitación y topografía muy irregular, como el caso del municipio de Tlachichilco, Veracruz.

Una de las mejores estrategias para conservar al suelo en regiones con dichas características es la implementación de sistemas agroforestales, que además contribuyen a la conservación de otros recursos como el agua y la biodiversidad, promueven el arraigo a la tierra evitando la migración y otorgan alternativas económicas a los productores diversificando su producción. Aunado al problema de la degradación del suelo por prácticas inadecuadas de cultivo, se agrega el de la baja en los precios de productos como los del café en los últimos años. Al respecto y considerando los beneficios de la agroforestería para abatir simultáneamente ambos problemas, la Unión de Ejidos Náhuatl-Otomí-Tepehua (UENOT), que incluye a gran parte de los cafeticultores indígenas de la Huasteca Alta de Veracruz, implementaron un programa de agroecología que implica la introducción de árboles y arbustos de uso múltiple en combinación con el café de sus parcelas, al igual que la introducción de terrazas individuales y de muro vivo, y coberturas para la conservación del suelo y agua.

El presente trabajo forma parte de una investigación de dos años que tuvo por objeto evaluar la erosión hídrica para constatar los beneficios de las prácticas de mejoramiento que han realizado los productores de la UENOT, y de esa manera contribuir al uso racional de los recursos naturales. Además, se validó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), que ya fue previamente calibrada en el primer año de investigación. Para tales fines, se escogieron cinco parcelas con cultivo de café bajo sombra, con diferentes prácticas de conservación, incluyendo una de ellas con manejo tradicional

como testigo. Estas prácticas incluyen cultivos de cobertura (*Canavalia ensiformis* L., *Arachis pintoi* Krap & Greg y *Chamaedorea elegans* Mart), barreras vivas (*Eupatorium morifolium* Mill) y terrazas individuales.

Se midieron el escurrimiento y la pérdida de suelo para probar la eficiencia de las prácticas mecánicas y de conservación en los sistemas agroforestales de café bajo sombra. Posteriormente se aplicó la EUPS, evaluando la erosividad de la lluvia con la utilización tres índices (EI_{30}, AIm y KE>25) y la influencia de la cobertura vegetal. Los demás factores de la EUPS ya fueron evaluados en la investigación del año anterior. Con la aplicación de esta metodología se determinó el efecto de cada uno de los factores que intervienen en la erosión hídrica así como la interrelación entre ellos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. AGROFORESTERÍA.

2.1.1. Concepto, alcances y limitaciones

Agroforestería es un nombre colectivo para los sistemas y tecnologías del uso de la tierra donde los árboles perennes leñosos son usados deliberadamente en las mismas unidades de manejo de la tierra junto con cultivos agrícolas y/o animales, en alguna forma de arreglo espacial o secuencia temporal. En los sistemas agroforestales hay interacciones ecológicas y económicas entre los diferentes componentes. (Lundgren y Raintree, 1982 citados por Nair, 1997).

Mediante estas combinaciones, la Agroforestería maximiza el uso de la energía radiante, minimiza las pérdidas de nutrimentos por las plantas, optimiza la eficiencia en el uso de agua y minimiza la escorrentía y pérdida del suelo. De esta manera se logran algunos beneficios que pueden ser proporcionados por los árboles perennes, en comparación con los cultivos agrícolas convencionales, maximizando el producto total de beneficios de la tierra, a la vez que se la conserva y se mejora (Huxley, 1999 citado por Krishnamurthy y Ávila, 1999).

La agroforestería es un sistema de uso de la tierra en la que las especies perennes y los cultivos herbáceos crecen juntos en forma mixta -espacial y/o secuencialmente- con o sin animales, y provee mayores beneficios en el uso de la tierra que la agricultura o silvicultura aisladas. Incluye uno o más de los siguientes aspectos positivos: mantenimiento de la fertilidad del suelo, conservación del suelo, incremento del rendimiento, disminución del riesgo de pérdidas de cosecha, facilidades para el control de pestes y plagas, y/o satisfacción de las necesidades socioeconómicas de la población local (Cannel y Ong, citados por Krishnamurthy y Ávila, 1999).

La Agroforestería es sólo un instrumento tan bueno o tan malo como cualquier otro, de acuerdo con la capacitación y la buena voluntad de quienes la utilizan: la Agroforestería

no es buena o mala en sí misma, pero podría ser la mejor respuesta para resolver problemas de desarrollo rural en determinados lugares o regiones. La responsabilidad de una elección adecuada requiere sopesar cuidadosamente diversos factores económicos y ecológicos (Krishnamurthy y Ávila, 1999).

2.1.2. Sistemas, prácticas y tecnologías agroforestales

Según Nair (1997) los términos "sistema" y "práctica" se usan frecuentemente como sinónimos dentro de la literatura agroforestal, sin embargo, se puede hacer alguna distinción entre ellos: un sistema agroforestal es un ejemplo local específico de una práctica, caracterizado por el ambiente, especies, arreglo, manejo y funcionamiento socioeconómico; una práctica agroforestal denota un arreglo característico de componentes en espacio y tiempo. Aunque se han registrado cientos de sistemas agroforestales, todos corresponden a solamente 20 prácticas agroforestales distintas, en otras palabras, las mismas o similares prácticas se encuentran en varios sistemas en diferentes situaciones.

Otro término usado frecuentemente es "tecnología agroforestal", éste se refiere a una innovación o mejoramiento, generalmente a través de una intervención científica, ya sea para modificar un sistema o práctica existente o para desarrollar una nueva. Tales tecnologías son a menudo diferentes a los sistemas y prácticas actuales, así que pueden distinguirse fácilmente y caracterizarse, sin embargo, la distinción entre sistemas y prácticas es vaga y aún no muy crítica (Nair, 1997).

2.1.3. Agroforestería y conservación de suelos

La corriente que asume que la agroforestería es superior a otros sistemas de uso de la tierra en la conservación del suelo, se sustenta en que mejora las propiedades físicas del suelo y mantiene la materia orgánica, provocando las consecuentes: reducción de la pérdida del suelo, y de la lixiviación de nutrimentos. Se preconcibe que estos procesos están relacionados a la mera presencia de los árboles, no obstante, ésta no es una correspondencia directa, sino más bien se debe a la interacción del complejo: árboles y cultivos, y fundamentalmente al manejo del sistema.

El control de la erosión en algunos sistemas agroforestales puede ser uno de sus principales objetivos, mientras que en otros sistemas es simplemente subsidiario de propósitos diferentes, pues su objetivo es la producción de bienes de subsistencia o comerciales. En el caso de los primeros –sistemas agroforestales que se enfocan en el control de la erosión principalmente- pueden incorporar prácticas como la construcción de terrazas.

Aunque se asume que los sistemas agroforestales tienen un gran potencial en el control de la erosión, existen pocos datos disponibles que validen cuantitativamente esta afirmación. Los siguientes casos enriquecen esta discusión:

En los Andes Venezolanos se compararon plantaciones de café bajo sombra de 7, 8, 9, 10, 16 y 17 años, contra sistemas a pleno sol de 1 y 2 años. Las mayores pérdidas de suelo con partículas menores a 4 mm se dieron en las plantaciones a pleno sol en una proporción de cuatro veces más que en los sistemas bajo sombra (Ataroff y Monasterio, 1997).

Ensayos para determinar el factor cobertura (C) de la EUPS bajo diferentes prácticas de conservación del suelo en Táchira, Venezuela, dieron los siguientes valores: con cobertura de añil rastrero C = 0.219 y 9% de escorrentía; café con barrera de pasto imperial C = 0.226 y escorrentía de 9.4% (Useche y Méndez, 1987).

En Kerala, India, se evaluó un sistema agroforestal sucesional iniciado con la remoción de la floresta natural seguida por la instalación de casava y otras especies anuales (1-5 años), luego pimienta negra (5 a 15 años) y finalmente enriquecida con otras especies: T1 = cardamomo, T2 = pimiento y T3 = cultivos mixtos (15 a 20 años) formando un huerto casero. Se comparó la erosión en un desmonte de uno a tres años que alcanzó 120 t ha^{-1} $año^{-1}$ contra las de 0.65, 3.5 y 1.45 t ha^{-1} $año^{-1}$ para T1, T2 y T3, respectivamente. Estos niveles están relacionados a la cobertura a nivel del suelo e intermedia a 1- 4 metros (Moench 1991).

El efecto en el control de la escorrentía por añadidura de mantillo proveniente de *Grevillea robusta, Cassia siamea y Gliricidia sepium*, en dosis de 2.24 y 4.48 t ha^{-1} en

condiciones de Machakos, Kenia, en Lixisoles (FAO-UNESCO), Alfisoles (USDA Soil Taxonomy) o Luvisoles crómicos (FAO-UNESCO), resultaron en pérdidas de suelo significativamente menores ($p = 0.1$) en *Grevillea* 81%, *Cassia* 11% y *Gliricidia* 57%; con respecto al testigo (tratamiento sin mantillo); en lo que se refiere a la escorrentía las pérdidas de *Cassia*, *Gliricidia* y *Grevillea* fueron 28%, 48% y 58%, respectivamente, menores a las del testigo (Omoro y Nair, 1993).

2.2. El café (*Coffea* spp.)

2.2.1. Características y requerimientos del cultivo

Originario de Etiopía, el café es un arbusto que crece bajo el dosel de árboles mayores en las selvas tropicales; de las 6 000 especies del género *Coffea*, se consumen dos tipos: *Coffea arabica* o café del tipo arábiga, que representa el 70% de la producción mundial, y *Coffea canephora,* conocido comúnmente como "robusta". En el trópico húmedo y en condiciones de sombra crecen las variedades tradicionales del tipo arábiga: "typica" y "bourbon" (CCA, 1999).

Las condiciones óptimas para el café requieren de temperaturas promedio de 18 a 22 °C, sin riesgo de heladas en invierno; temperaturas máximas en primavera-verano por abajo de los 30 °C; precipitaciones de 1 400 a 2 000 mm $año^{-1}$ bien distribuidas; suelos con más de un metro de profundidad, de textura franca a migajón-arcilloso, pH de 5 a 6 y contenidos de materia orgánica por arriba del 7%. Las altitudes en donde el rendimiento en beneficio y calidad en taza son mejores se ubican a más de 700 m; las variedades cultivadas a mayor altitud suelen desarrollar más acidez y aroma, lo que mejora su sabor y su valor en el mercado (Barrientos, 1990; Santoyo *et al.*, 1996).

2.2.2. Los sistemas agroforestales de café bajo sombra, características estructurales y funcionales

Las plantaciones de café con sombra son agroecosistemas que imitan la estructura de un bosque natural; aunque los componentes florísticos no son comparables, lo son desde un punto de vista funcional ya que los árboles mantienen el equilibrio entre nutrimentos y

microorganismos, a través de la recirculación de la materia orgánica (Jiménez, 1982; Escamilla, 1993).

Aún en condiciones de buen manejo, la productividad de los sistemas bajo sombra es menor que la que se obtiene en los de pleno sol. No obstante que la razón para cultivar café bajo sombra es propiciar un microclima con la cantidad y calidad adecuada de luz solar, así como condiciones adecuadas de temperatura y humedad ambiental óptimas para la fotosíntesis, su exceso reduce la capacidad fotosintética de los cafetos y propicia el desarrollo de enfermedades fungosas (Ramírez y González, 1990; ANACAFE, 1999).

Respecto al tipo de sombra, se señala que en los cafetales se debe sustituir la sombra de la montaña por la plantada *exprofeso*, preferentemente una mezcla de diferentes especies del genero *Inga* (Villaseñor,1987). Se cree que un tipo de sombra especializada es mejor funcionalmente, dado que la evapotranspiración es menor en cafetales con estructuras "mixtas", mientras que los valores más altos se registran en cafetales a pleno sol (Jiménez y Golberg, 1982).

La densidad de árboles de sombra depende de varios factores: diámetro de la copa del árbol, clima y fertilidad del suelo (en zonas bajas se recomienda hasta 100 árboles de *Inga* spp. por hectárea, sembrados entre las hileras a distancias de 10 x 10 m.). La densidad debe disminuir paulatinamente a medida que los cafetales se localicen a mayor altitud (Ramírez y González, 1990). El Instituto Mexicano del Café (INMECAFE) recomendaba las siguientes densidades de sombra: en zonas bajas de 75 a 100 árboles por hectárea y en altas de 50 a 75 (Díaz *et al.*, 1991).

Los árboles para sombra en plantaciones de café deben reunir las siguientes características (ANACAFE, 1987, Beer, 1996 y Monroigi, 1997):

- Compatibilidad con el cultivo, competencia mínima por agua, nutrimentos y espacio.
- Caducifolios, que regeneren rápidamente hojas nuevas para establecer las condiciones originales de sombra.
- Hojas pequeñas, para evitar el efecto de unión de gotas de lluvia que causan erosión por golpeteo.

- No hospedero de insectos patógenos.
- Crecimiento rápido y de larga duración.
- Resistencia al viento, ramas y tallos no quebradizos.
- Sistema radical profundo.
- Fuste mediano y de ramas extendidas, que permitan una adecuada filtración de los rayos solares.
- Fijación de nitrógeno.
- Buena respuesta a la poda.
- Fácil propagación, pero no hábitos invasores.
- Adaptación a los climas cafetaleros.
- Aporte suficiente de materia orgánica al suelo.
- En caso de especies con fines maderables, deben elegirse las de diámetros de copa pequeños y rápido crecimiento apical.

Los beneficios o daños que el café pueda recibir de los árboles de sombra, dependen de las especies utilizadas en su manejo: la sombra tiene un efecto regulador en las condiciones ambientales para el desarrollo del café; reduce la actividad fisiológica del cafeto; sus residuos además de contribuir a mejorar la estructura del suelo, forman una barrera contra la erosión pluvial; ante una baja de temperatura, la sombra amortigua su impacto al cafeto, ya que la diferencia por la cubierta alcanza de 4 a 50 ^{o}C; disminuye el crecimiento de malas hierbas y prolonga la vida del cafetal (Hearer, 1956 citado por Goicoechea, 1971; Moguel y Toledo, 1996).

Algunas otras características de la sombra en el cafetal son: enriquecimiento de la biodiversidad del agroecosistema, disminución de la evaporación y transpiración, fijación de carbono (los árboles de sombra fijan 15.82 t ha^{-1}, lo que equivale al 17.26% del total fijado por un agroecosistema cafetalero), regulación de los cambios bruscos de temperatura, reducción de daños por las heladas y contribución al mejoramiento de la calidad del café gracias a la maduración lenta del grano (ANACAFE, 1999). Además,

cuando el valor económico del café es bajo, los árboles de sombra resultan una fuente adicional de ingresos para los productores, que empleen especies con fines comerciales (Ramírez y González, 1990; Escamilla, 1993).

Algunas desventajas de los árboles de sombra son: la competencia que generan por agua, luz y nutrimentos con el cafeto; el goteo producido por las hojas grandes en árboles altos puede causar el desprendimiento de flores y frutos, incidiendo en la baja de la producción; promueven al desarrollo de algunas enfermedades; se convierten en hospederos de plagas (ICAFE, 1989 citado por Beer, 1996; Monroigi, 1997).

Los árboles de sombra favorecen el desarrollo de frutos de mayor tamaño y evitan la sobreproducción de arbustos jóvenes (Monroigi, 1997). La mayor intensidad de luz origina una mayor transpiración en las plantas cultivadas a pleno sol dejando una menor disponibilidad de agua, esto provoca la disminución de su masa fresca. En torno al crecimiento del fruto, se obtiene un mayor tamaño (largo y ancho) en las plantas cultivadas bajo sombra permanente (Alarcón *et al.*, 1996).

Muschler (1997) por su parte, menciona que en suelos sin limitaciones de nutrimentos, humedad ni barreras para el enraizamiento, la producción de café es mayor en plantaciones sin sombra que en las de bajo sombra. A elevaciones menores, la producción de café a pleno sol baja fuertemente debido al estrés por temperatura; a elevaciones mayores la producción sin sombra baja debido a temperaturas mínimas y posibles daños por viento. En estas condiciones, la asociación con árboles para proyectar una sombra intermedia y moderar los extremos microclimáticos puede aumentar la producción con respecto al cafetal sin sombra, siempre y cuando la competencia por nutrimentos o agua no sea importante. En contraste, la sombra en ambientes óptimos reduce la producción. con respecto a cafetales a pleno sol.

La producción de ambos sistemas se reduce en suelos con limitaciones de fertilidad, sin embargo, los beneficios ecológicos provistos por los árboles asociados, sobre todo a través del reciclaje de nutrimentos y adición de materia orgánica, disminuyen su efecto en comparación a un cafetal sin sombra. Así, el aporte ecológico de los árboles aumenta en suelos con limitaciones (Muschler, 1997).

2.2.3. El cultivo de café en México

De las áreas cafeticultoras de México el 40% de la superficie corresponde a selvas altas y medianas (zona tropical húmeda), 23% a bosques de pino y encino, 21% a selvas bajas caducifolias y 15% a bosques mesófilos de montaña. En general, las regiones cafetaleras coinciden con las regiones de mayor diversidad de flora y fauna (Moguel y Toledo, 1996).

La distribución del cultivo de café es muy amplia con altitudes que van desde 300 hasta 2000 m, una gran diversidad de climas, suelos y vegetación, se encuentra fundamentalmente en las zonas montañosas de las dos vertientes: Golfo de México y el Pacífico. Los principales estados productores son Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla, Guerrero e Hidalgo (CCA, 1999).

En México, principalmente se produce café a pequeña escala por familias campesinas e indígenas, el 92% de la superficie cultivada corresponde a propietarios con predios menores a cinco hectáreas y el 60% de los productores pertenecen a ejidos y comunidades indígenas (Moguel y Toledo, 1996). La producción cafetalera es la principal actividad económica para alrededor de 3 millones de personas que viven en más de 4,500 comunidades indígenas (CCA, 1999).

De acuerdo a la Organización Internacional del Café (OIC), el café mexicano esta clasificado en la categoría de "otros suaves", grupo del tipo arábiga calificado por debajo de la categoría de "suaves colombianos" en calidad y precio, pero por encima de la categoría de las variedades brasileñas y otras de tipo arábiga (CCA, 1999). Así pues, el 81% de los cafeticultores mexicanos utilizan la variedad Typica, la que recibe diferentes nombres como arábigo, criollo, corriente y nacional (Escamilla, 1993).

2.2.4. Los sistemas de producción de café en México

En México, predomina el sistema de producción bajo sombra. Dadas las características de composición vegetal y diversidad de especies es posible determinar distintas variantes. Atendiendo a la clasificación de Nolasco (1985), modificada por Escamilla (1993) y Santoyo *et al.* (1994) se han especificado algunas:

Sistema rusticano o de montaña. Es muy similar a las condiciones en que se encuentra el café en su estado silvestre, aprovecha la sombra de una amplia diversidad de especies de la vegetación natural, principalmente bosque mesófilo, selvas medianas y encinares. Este sistema ya casi no se practica en México, debido a la ausencia de masas grandes de vegetación natural y a su poca producción.

Sistema de policultivo tradicional. Adaptado por grupos de productores que utilizan tecnologías tradicionales bajo una estrategia de subsistencia, predomina en áreas indígenas con superficies menores de dos hectáreas. En este esquema de plantación no existe una arquitectura bien definida, el productor se guía por criterios empíricos para plantar el café y seleccionar las especies a asociar; la composición de los árboles de sombra presenta una alta variabilidad (natural y cultivada, tanto nativa como introducida).

Sistema de policultivo comercial. Dirigido a obtener dos o más productos en una misma parcela, las especies se preconciben para ocupar sitios determinados en la estructura del cafetal, con el propósito de proporcionar sombra y generar al mismo tiempo productos extra; estos se destinan principalmente al mercado, lo que ha propiciado la consolidación de modelos de policultivo con especificaciones particulares de acuerdo a las condiciones agroecológicas de cada región.

Sistema especializado. Diseñado con el propósito exclusivo de obtener altos rendimientos. Difundido desde los años setenta con la aplicación de paquetes tecnológicos promovidos por el desaparecido INMECAFE, a través de programas de renovación y rehabilitación de cafetales; éstos consistían en la introducción de variedades mejoradas a densidades mayores a 1 208 plantas por hectárea en arreglos topológicos específicos, sombra especializada, dos o tres fertilizaciones por año y podas sistemáticas. La especie empleada es principalmente *Inga* spp.

Sistema a sol o cielo abierto. Es la modalidad más intensiva. Puede obtenerse rendimientos de entre 60 y 80 Qq ha^{-1}. Se caracteriza por la ausencia de sombra, es un monocultivo a plena exposición solar, utiliza variedades mejoradas de porte bajo, en densidades de hasta 5 000 plantas por hectárea, elevada e imprescindible aplicación de

agroquímicos, alta inversión financiera y uso intensivo de mano de obra. Este modelo está restringido a los grandes productores generalmente con superficies mayores a 20 hectáreas en zonas óptimas (entre los 1,000 y 1,500 msnm).

2.3. EROSIÓN Y CONSERVACIÓN DE SUELOS

Anaya (1989) citado por Ramírez-Cruz y Oropeza-Mota (2001), señala que México es un país con graves problemas de erosión, que el 80% del territorio nacional muestran algún grado de erosión y que 42% de los suelos han perdido del 25 al 75% de su capa superficial arable. Las características topográficas y la intensidad de las lluvias que predominan en el país caracterizan un alto riesgo de erosión (Zúñiga *et al.*, 1993), especialmente en terrenos de ladera donde se pierden 2.87 t ha^{-1} $año^{-1}$. Turrent (1986), citado por Ramírez-Cruz y Oropeza-Mota (2001), estimó que 61% del área dedicada a cultivos anuales en el país se encuentra en pendientes mayores a 4%.

La SEMARNAP (1996), señala por su parte que las condiciones socioeconómicas de la mayoría de los agricultores y las políticas agrícolas de desarrollo, además de las ya mencionadas, favorecen la siembra de cultivos en terrenos con pendiente pronunciada; lo que implica alto riesgo de erosión. También coincide esta dependencia en que la erosión es el principal problema edáfico de México, con 32 millones de hectáreas con grados de erosión severa a muy severa y una producción anual de 535 millones de toneladas de sedimentos; de estos 69% descargan al mar y 31% se depositan en obras de almacenamiento. Aunado a ello, desde 1983 se estimaba que la productividad de los suelos arables había disminuido en 33% (García, 1983; Vázquez, 1986; citados por Uribe-Gómez *et al.*, 2002).

Por su parte, Uresti (1992) menciona que en el estado de Veracruz, aproximadamente el 34% de su superficie presenta alto riesgo de erosión, con tasas potenciales de pérdida de suelo mayores a 300 t ha^{-1} $año^{-1}$, como consecuencia de la gran capacidad erosiva de las lluvias y del escurrimiento superficial. Las áreas del estado de Veracruz con pendientes mayores a 15% cubren 1.44 millones de hectáreas, y si sólo 12% fuera tierra laborable, como sucede en el país, habría 173,000 hectáreas en el estado expuestas a un grave problema de degradación del suelo.

Otro factor que favorece la degradación del suelo por erosión es el manejo inadecuado de los recursos naturales, fomentado por factores sociales y económicos, entre los que destaca la pobreza y la alta densidad de población (Lal y Stewart, 1990, citados por Uribe-Gómez *et al.*, 2002).

Ramírez-Cruz y Oropeza-Mota (2001), dieron a conocer que estudios sobre la mecánica del proceso erosivo, indican que la erosión del suelo es mayor en terrenos con pendientes fuertes y grandes longitudes, donde la cubierta vegetal es insuficiente para disminuir el impacto de las lluvias de alta intensidad, que incrementan el escurrimiento en laderas. Estos mismos autores afirman que los suelos de las regiones tropicales tienen alta susceptibilidad a la erosión, y además en ellos se presenta una presión alta de la población sobre la tierra y un constante cambio en el uso del suelo.

Por su parte, Bermúdez (1980) menciona que los bosques son la manera natural más eficaz de reducir la erosión al mínimo. El efecto de los bosques se debe principalmente a los diferentes estratos de vegetación que interceptan la lluvia reduciendo su energía, y a la presencia de una mantillo. En los bosques tropicales las pérdidas de suelo por erosión hídrica son muy bajas. El autor agrega que, en general, la infiltración en terrenos boscosos es mucho mayor que en terrenos agrícolas, por lo que son menores la escorrentía y la erosión.

Asimismo, Bermúdez (1980) añade que los daños causados por la erosión pueden ser de dos tipos:

1. **Daños directos:** cuando la pérdida de suelo fértil afecta el rendimiento del cultivo. Al erosionarse los suelos disminuye su contenido de materia orgánica. En terrenos de alta pendiente la erosión puede ocasionar la pérdida de plantas recién sembradas. La formación de surcos, cárcavas o derrumbes impiden en muchos casos el laboreo del terreno (Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia (FNCC), citada por Bermúdez, 1980).

2. **Daños indirectos:** Kunkle, citado por Bermúdez (1980), asegura que el sedimento es la forma más común de contaminación de aguas, y causa daños a la vida silvestre,

daña los canales de riego, puentes y otras obras, favorece las inundaciones y afecta el valor estético y biológico de los lagos. El suelo erosionado al entrar en suspensión en las aguas de los ríos reduce su calidad, tanto para consumo humano como para irrigación (Matute, citado por Bermúdez, 1980). La magnitud de los daños indirectos se manifiesta en los desórdenes ecológicos e hidrológicos, entre los cuales tenemos la sedimentación de embalses y lagos, las sequías y las inundaciones (FNCC, FAO, Orientación Agroindustrial (Colombia), citadas por Bermúdez, 1980).

2.3.1. Erosión, definiciones

El término erosión proviene del verbo latino *erodere* que significa roer y se refiere al desgaste de la superficie terrestre bajo la acción de agentes físicos (Fournier 1972).

La erosión es el proceso o grupo de procesos por los que materiales sólidos componentes de la tierra, sueltos o consolidados, son disueltos, aflojados o desgastados y removidos de un lugar, para depositarlos en otro (Miller, 1994).

Fases. Comprende dos: a) el desprendimiento de partículas individuales de la masa del suelo y b) su transporte por agentes erosivos (corrientes de agua y viento); cuando la energía no basta para transportar éstas partículas, se produce una tercera fase: su depositación (Morgan, 1997).

Factores. Pueden agruparse en: climáticos, hidrológicos, topográficos, del suelo, geológicos y de condiciones de vegetación, así como también técnicos y socioeconómicos. Ninguno de los factores actúa aisladamente, sino que se combinan e interactúan influenciados por los mecanismos de los procesos erosivos (Dvorak y Novak, 1994). La mayoría éstos son provocados por el hombre, esencialmente en la descomposición de agregados del suelo y eliminación acelerada de partículas minerales y orgánicas, consecuencia de técnicas de labranza inadecuadas y eliminación de la vegetación natural (Glen et al., 1993).

Erosión hídrica. Es el proceso físico de desprendimiento, transporte y depositación de las partículas del suelo por el agua (Hudson, 1981). El procedimiento es el siguiente: las gotas de lluvia golpetean el suelo desnudo, desprendiendo y salpicando en todas

direcciones del suelo partículas de suelo, algunas van a dar cerca de la vegetación donde permanecen indefinidamente, otras son lavadas para nuevamente ser salpicadas, mientras que algunas son transportadas por escurrimiento superficial. Después de su depositación, estas partículas pueden permanecer en reposo *in situ* hasta que el escurrimiento aumente, ya sea por incremento de la lluvia, por el siguiente evento, o por el contrario, pueden quedarse por años, hasta nuevamente ser movidas pendiente abajo (Foster et al., 1985).

Los factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica caben en dos grupos (Suárez y Morgan, 1979, citados por Ríos, 1987): a) factores acelerantes o de energía, compuestos por la precipitación, el escurrimiento y la pendiente, y b) factores atenuantes o de resistencia, determinados por la erosionabilidad del suelo, su manejo y la cobertura vegetal.

En las regiones tropicales los factores físicos que inducen altas tasas de erosión hídrica según El-Swaify y Fownes (1988) son:

a) Precipitaciones de larga duración y/o alta intensidad.
b) Altos gastos de escurrimientos superficial de las áreas de aporte.
c) Suelos con pobre estructura, poca agregación, baja infiltración y mal drenaje.
d) Suelos poco profundos.
e) Pendientes escarpadas, continuas y/o de gran longitud.
f) Prácticas de labranza en sentido de la pendiente.
g) Terrenos desprovistos de cobertura de residuos de cosecha.
h) Prácticas agrícolas destructivas.

La forma de erosión hídrica más insidiosa es la erosión laminar, producto del lavado gradual y más o menos uniforme de la superficie del terreno, y se dice insidiosa porque no se advierte la pérdida de suelo inmediatamente, sino cuando el agricultor se da cuenta que las raíces de árboles, piedras y otros componentes del terreno van quedando al descubierto. Cuando el agricultor se percata de esto, es probable que ya halla perdido cantidades considerables de toneladas de tierra cultivable por hectárea. Se considera que

si un agricultor, por ejemplo, advierte que ha perdido 1.5 cm de la capa arable, se puede estimar esto en una 190 toneladas por hectárea (FAO, 1984, citada por León, 1990).

Para corroborar lo anterior, León (1990), determinó la hidroerosión laminar utilizando el método de varillas metálicas ("varillas de erosión"), asociadas a parcelas de escorrentía recomendadas por Wischmeier, en La Suiza, cuenca del río Tuis, en Costa Rica, con una precipitación media anual de 3,160 mm. Trabajó con ocho parcelas de escorrentía de 24 m^2 y con tres parcelas de 40 m^2, donde instaló 94 "varillas o pones de erosión" en las 11 parcelas, de las cuales cuatro estuvieron ubicadas en café asociado con prácticas conservacionistas, tres con frijol, dos con cero cobertura (desnudas), una con "charral" (abundante mantillo y una gran cantidad de materia orgánica), y una con café sembrado a favor de la pendiente con cero cobertura herbácea al suelo; las pendientes oscilaron entre 42 y 82%; el experimento duró siete meses que correspondieron a la temporada de lluvias. Los tratamientos fueron: 1) frijol con labranza tradicional; 2) café sembrado en sentido de la pendiente, suelo descubierto y sin ninguna práctica conservacionista; 3) suelo completamente desnudo; 4) café sembrado al contorno con una barrera viva de zacate limón (*Cymbopogon citratus*), sombra de poró (*Erythrina poeppigiana*) y cobertura herbácea; 5) mismo sistema de café que el anterior pero eliminando la barrera viva y la cobertura herbácea; 6) mismo sistema de café que el tratamiento 4, pero solamente eliminando la sombra de poró y conservando la barrera viva y la cobertura herbácea; 7) terreno antes cultivado con café y sombra de poró, pero abandonado un promedio de 12 años, conservando los siguientes estratos: el primer estrato formado por poró, laurel (*Cordia alliodora*), hule (*Ficus* sp.) y otras especies de porte alto; un segundo estrato formado por especies semileñosas como la ortiga (*Urticaceae*), anís (*Piper* sp.), oreja de burro (*Elephantopus* sp), café, limón mandarina (*Citrus* spp.) y otras; un tercer estrato compuesto de herbáceas como el comalillo (*Umbeliferae*), santa lucía (*Commelina difusa*), algunas Rubiaceaes y Euphorbiaceaes; y un último estrato con gran cantidad de mantillo y ramas, dando una cobertura casi completa (98%); 8) café sembrado bajo el mismo sistema que el no. 7, pero se eliminó la barrera viva y se mantuvo la sombra de poró; en esta parcela se eliminó la cobertura herbácea del suelo, dejando únicamente cobertura con café; 9) sembrado con café igual que los tratamientos anteriores, conservando la barrera viva y la cobertura herbácea sobre el suelo, y

eliminando la sombra de poró; 10) sembrado bajo las mismas condiciones que los anteriores, pero eliminando la barrera viva y la cobertura herbácea sobre el suelo, así como la sombra de poró; y 11) charral: terreno antes cultivado con café y sombra de poró, pero abandonado por un periodo de 12 años, y eliminándosele el café, conservando solamente los estratos de poró, especies semileñosas, herbáceas y mantillo. En el caso de los tratamientos con café, León (1990) encontró pérdidas de suelo entre 0.0 y 4.2 t ha^{-1}; y escurrimientos de 4.22 a 34.4 mm; los valores más altos de pérdida de suelo y escurrimiento en los tratamientos con café se dieron en la parcela con prácticas conservacionistas (sembrado al contorno, barreras vivas y cobertura herbácea) y una pendiente de 82%, mientras que los menores se dieron en café con prácticas de conservación (barreras vivas y coberturas herbáceas) y 43% de pendiente. Este autor encontró que a mayor pendiente mayor pérdida de suelo, pero conforme aumenta la longitud, el agua de lluvia escurrida tiene mayor facilidad de infiltrarse, disminuyendo el escurrimiento y la pérdida de suelo. Considerando los 11 tratamientos, la mayor pérdida de suelo y el mayor escurrimiento se dieron en la parcela completamente desnuda y con 61% de pendiente, con valores de 197 t ha^{-1} y 78.7 mm, respectivamente.

2.4. TOLERANCIA A LA PÉRDIDA DE SUELOS (*T*)

El suelo es un recurso de formación lenta, se genera por la acción conjunta del agua, viento, material parental, biota y tiempo. En áreas tropicales y templadas, la renovación de una pulgada de suelo toma de 100 a 200 años de acuerdo al clima y tipo de suelo, si su tasa media de erosión supera a la de la formación, éste se convierte en un recurso no renovable por agotamiento (Miller, 1994).

La tolerancia (*T*) a la pérdida del suelo es el límite máximo de erosión, que le permite mantener un alto nivel de productividad en forma sostenida indefinidamente (Wischmeier y Smith, 1978); este concepto está basado en las tasas de desarrollo del horizonte superficial del suelo y los procesos de intemperismo (Johnson, 1987).

La productividad agrícola de un suelo es función de las relaciones entre sus componentes físicos, químicos y biológicos con los procesos de desarrollo vegetal. En la práctica, el concepto *T* se aplica y enfoca al mantenimiento de la productividad agrícola

in situ del suelo; es el caso para la prevención de una reducción excesiva de la profundidad del horizonte superficial, como un criterio de la eficiencia de las prácticas de control (Johnson, 1987).

Se necesita conocer las tasas de formación de las zonas favorables para el desarrollo de raíces en varios materiales parentales, los métodos de labranza que pueden reducir la erosión a niveles mínimos y la recuperación de la productividad de suelos severamente erosionados. Algunos suelos pueden recuperarla si son suficientemente profundos, mas la factibilidad de la recuperación depende de los costos de corrección, o bien, de las deficiencias en la capacidad productiva resultado de la erosión excesiva (McCormack y Larson, 1981 citado por Johnson 1987).

Para las condiciones de los terrenos agrícolas se considera los valores de T entre un rango de 5 a 11 t ha^{-1} $año^{-1}$ (Meyer, 1984); para el caso de México, según las variaciones del clima y suelo se da como promedio permisible una pérdida máxima de 5 t ha^{-1} $año^{-1}$ (Figueroa, 1991).

2.5. ÁRBOLES Y CONSERVACIÓN DE SUELOS

El objetivo fundamental de la conservación de suelos es el mantenimiento de su fertilidad para sostener una producción de cultivos indefinidamente (Smith y Whitt, 1948, citados por Johnson, 1987). Así, los sistemas agroforestales, por su multiplicidad de componentes, pueden además cumplir con funciones de conservación, incluyendo el control de la erosión y el mantenimiento de la fertilidad (Young, 1989).

Las pérdidas de suelo son más bajas en plantaciones bajo sombra que en las que no cuentan con esta (Beer *et al.*1998), sin embargo, pueden obtenerse beneficios similares mediante residuos de hojarasca y poda, que generen una capa de mantillo durante la estación lluviosa, fenómeno que puede optimizarse gracias a la descomposición lenta del material (Beer *et al.* 1998). Aun cuando se da por hecho que una alta densidad de sombra de dosel provee mejor protección que un dosel abierto durante lluvia intensas, los árboles pueden redistribuir adversamente la precipitación, por lo que se debe tener cuidado de seleccionar tanto las especies a introducir como su arreglo topológico.

La mayoría de los efectos negativos provocados por los árboles, como dificultades para el establecimiento de terrazas y desagües para control de la erosión, se pueden evitar con una selección juiciosa y manejo apropiados de las especies (Beer, 1996).

Efectos benéficos de los árboles sobre el suelo:

- Mantenimiento o aumento de la materia orgánica, que contribuye a conservar y mejorar la fertilidad de los suelos.
- Fijación de nitrógeno a través de especies leguminosas.
- Reducción de la velocidad del viento.
- Reducción de la erosión.
- Recuperación de nutrimentos. Los sistemas radiculares de los árboles interceptan, absorben y reciclan nutrimentos de los horizontes más profundos del suelo, que de otra forma se perderían por lixiviación.
- Mantenimiento o mejoramiento de la estructura del suelo y en consecuencia de la porosidad y retención de humedad.
- Reducción de la acidez: los árboles tienden a moderar los efectos de la lixiviación mediante la adición de bases a la superficie del suelo.
- La sombra que proporcionan los árboles disminuye el efecto de la irradiación solar sobre el suelo, contribuyendo así a la reducción de la pérdida de materia orgánica por oxidación, lo que aumenta la actividad biológica del suelo. Asimismo, la cubierta de hojarasca y otros desechos reducen la temperatura de la superficie del suelo.

Efectos adversos de los árboles sobre el suelo:

- Pérdida de materia orgánica y nutrimentos en la cosecha de árboles, principalmente cuando esta es completa.
- Competencia por nutrimentos y agua entre árboles y cultivos.
- Producción de sustancias que inhiben la germinación o el crecimiento.

Algunos de los aspectos mencionados requieren mayor estudio, dado que el conocimiento científico sobre desarrollo radicular y competencia por nutrimentos es escaso cuando dos o más cultivos crecen juntos.

Bermúdez (1980) realizó una investigación en Turrialba, Costa Rica, para determinar la función de los árboles de uso múltiple en la conservación del suelo. Los tratamientos, con 30% de pendiente, fueron los siguientes:

1. Cafetal con sombra manejada con poró (*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. F. Cook).
2. Cafetal con sombra manejada con poró y asocio de árboles maderables de laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Cham.).
3. Cafetal al cual se le eliminaron los árboles de sombra.

Para tal efecto, instaló parcelas de 4 x 10 m, con una densidad promedio de 2,500 cafetos por hectárea. Este autor encontró valores muy bajos de escorrentía superficial, debido principalmente a la alta permeabilidad y buen drenaje de los suelos. En cuanto a pérdidas de suelo, en los sistemas con árboles la reducción de la erosión fue de 70 a 85% con respecto a la producida en el cafetal sin sombra. En vista de esto, Bermúdez consideró a los sistemas agroforestales una efectiva práctica de conservación del suelo. Además, evaluó la biomasa de hojarasca y malezas cada tres meses y encontró que en los sistemas agroforestales había una menor incidencia de malas hierbas y una biomasa elevada de hojarasca cubriendo el suelo.

2.6. PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN

Las prácticas de conservación tienen como finalidad primordial proteger al suelo contra la erosión. Fundamentalmente su función consiste en disminuir la velocidad del escurrimiento y retener la mayor cantidad de agua posible, evitar el desprendimiento y la pérdida de suelo, y frenar la salida de nutrimentos del sistema.

Bermúdez (1980) refiere que en Costa Rica, un país netamente agrícola, el café se cultiva tanto en terrenos planos como inclinados. En estos cafetales cultivados en laderas se deben realizar prácticas de conservación de suelos para reducir la escorrentía superficial y proteger el suelo. Sin embargo, este autor agrega que frecuentemente estas

prácticas representan un gasto adicional, no reportan beneficios económicos directos y causan una reducción en la productividad del cultivo. Por ello recomienda la utilización de sistemas agroforestales, como la combinación de café con sombra manejada y árboles maderables, los cuales pueden ser una alternativa de manejo que disminuya las pérdidas de suelo y agua, además de brindar otros beneficios económicos y ecológicos.

Por su parte, León (1990) trabajando con diferentes tipos de sistemas, con y sin prácticas conservacionistas, en la cuenca del Río Tuis, en Costa Rica, encontró que cualquier obstáculo que contenga una parcela, incluyendo las piedras, pude disminuir la pérdida de suelo en comparación con un terreno completamente limpio y llano.

Entre las prácticas de conservación más ampliamente utilizadas por los productores de la región estudiada en la presente investigación están las barreras vivas, las terrazas y los cultivos de cobertura.

2.6.1. Barreras vivas

Son hileras de plantas perennes y de crecimiento denso, se construyen con plantas situadas transversalmente a la pendiente; su objetivo principal es reducir la velocidad del agua que corre sobre la superficie del terreno y retener el suelo. Las plantas que se usen deben ser de fácil propagación, crecimiento rápido y formar amacollamiento. El establecimiento de la barrera se hace siguiendo las curvas a nivel, alejadas lo más posible de las hileras del cultivo; la separación entre barreras depende de la pendiente del terreno. Su mantenimiento se hace reponiendo en sitios que lo requieran y podas periódicas (Suárez de Castro, 1979; Villaseñor, 1987; ANACAFE, 1999).

Barreras vivas de palma camedor. La palma camedor *(Chamaedorea elegans* Mart.*)* mide hasta 2 m de alto, su tallo varía de 0.8 a 1.5 cm de diámetro, hojas pinnadas ligeramente acanaladas, peciolo de 10 a 30 cm y largo total de hasta 80 cm; se localiza principalmente en climas cálido subhúmedos Aw2(w) en los que las temperaturas fluctúan entre 21 y 29 °C y semicálidos húmedos (A)C(fm) con variaciones entre 15 y 24 °C (Inchaustegui, 1977 citado por Castro 1992). Es una planta unbrófila, por lo que se adapta bien a los sistemas de café bajo sombra (Licona *et al.*, 1995).

Barreras vivas de palo de agua. El palo de agua *(Eupatorium morifolium* Mill*)* crece en las áreas húmedas como son las orillas de los arroyos y las barrancas. Es un arbusto de 6 a 7 m de altura y 10 cm de diámetro basal; sus ramas alcanzan de 5 a 7 m de longitud (McVaugh, 1984). En las plantaciones de café del municipio de Tlachichilco, Veracruz, se han utilizado con éxito por su fácil propagación vegetativa, especialmente en las áreas más escarpadas.

2.6.2. Terrazas

Terrazas individuales. Las terrazas individuales son estructuras realizadas con el fin de proporcionar condiciones apropiadas de humedad, aislando las plantas de la pendiente general del terreno donde estarían expuestas a la acción de los escurrimientos superficiales. Esta práctica consiste en la formación de un terraplén de forma semicircular sensiblemente inclinado de adelante hacia atrás, a fin de acumular el agua de escurrimiento y aprovecharla para el desarrollo de las plantas (SAG, 1975).

Terrazas continuas. Estas se adaptan mejor a plantaciones trazadas en curvas a nivel; se construyen a lo largo de las líneas de café. Su costo de construcción es mayor que las terrazas individuales, pero su función es más eficiente (SAG, 1975). Con las terrazas individuales y continuas se logra aumentar la absorción del agua por la reducción de la velocidad de escorrentía, además de contribuir en gran medida a la acumulación de materia orgánica.

2.6.3. Cultivos de cobertura

Los cultivos de cobertura cumplen la función de proteger al suelo contra la erosión durante la época del año en que no hay otros cultivos; de preferencia deben ser de establecimiento rápido y hábitos agresivos para eliminar las hierbas no deseadas. También se siembran bajo cultivos arbóreos para proteger el suelo del impacto de las gotas de lluvia que caen desde la copa, principalmente donde hay árboles de gran porte (Morgan, 1997).

Los cultivos de cobertura proveen los siguientes beneficios (CIDICCO, 1997):

- Reducción de la erosión: la cobertura protege el suelo del golpe de las gotas de lluvia y reduce la escorrentía, incrementando la filtración del agua en el suelo.
- Incremento en la fertilidad del suelo: el cultivo de cobertura contiene nutrimentos que son liberados al suelo conforme se van descomponiendo.
- Reducción de malezas y costos de limpieza: con la sombra proporcionada, los cultivos de cobertura pueden reducir la germinación de semillas de malezas y su crecimiento, aunque también el cultivo de cobertura puede actuar como maleza si no se maneja adecuadamente.
- Incremento de la disponibilidad de agua: la cobertura favorece la infiltración, además reduce la cantidad de agua perdida por evaporación, sin embargo, en lugares secos, los cultivos de cobertura pueden competir por agua con el cultivo principal si crecen al mismo tiempo.
- Enfermedades y plagas: los cultivos de cobertura funcionan como cultivos de rotación, y pueden reducir o incrementar el riesgo de ataque de plagas circunstancialmente –hospedándolas o no-.
- Provisión de ingresos suplementarios: tratándose de especies que puedan tener otro modo de aprovechamiento.

Cobertura con canavalia. La canavalia (*Canavalia ensiformis* (Linneo) De Candolle) pertenece a la familia Fabaceae, es una especie nativa de Centroamérica y las Antillas (Mckee, 1930; Binder, 1997), pero se da principalmente en México, el sur de Brasil y Perú (Duke, 1981). Tolera un amplio rango de textura y fertilidad de suelos, crece bien en suelos de tierras bajas tropicales altamente lixiviadas, pobres en nutrimentos y pedregosos, así como en suelos ácidos y salinos con un rango de pH entre 4.3 a 7.5; al igual que en suelos arcillosos y húmedos (SECAB, 1990). El rango óptimo de crecimiento de la Canavalia oscila entre 0 y 900 msnm (Binder, 1997).

Es una especie de día corto, anual, pero se vuelve perenne en zonas de abundante humedad; puede sobrevivir de 2 a 4 años; posee capacidad de rebrote después del corte, que le permite producir más de una cosecha; el crecimiento inicial es rápido y su

productividad alta; el sistema radical presenta una gran capacidad para reciclar nutrimentos; su proceso de germinación es muy rápido: de 2 a 3 días; y su ciclo vegetativo de 170 a 240 días (Binder, 1997) que implica uno de sus inconvenientes agronómicos: maduración no uniforme (SECAB,1990). En América Central se utilizan densidades de siembra de 39.2 kg ha^{-1} para obtener semilla y 67 kg ha^{-1} para abono verde (SECAB,1990).

Cobertura con cacahuatillo forrajero. El cacahuatillo forrajero *(Arachis pintoi Krap & Greg nom. Nud.* (Cook)) es una planta leguminosa de cobertura perenne, con hábito de crecimiento rastrero bajo, se reproduce por semilla y estolones –una alta densidad de siembra es beneficiosa para el control de malezas-, le favorecen los altos niveles de sombra para su emergencia, mas perjudican su crecimiento. Debe controlársele alrededor de las bases los árboles, pues en condiciones de humedad escasa pueden competir por agua con el cultivo, afectando su producción (Staver, 1997).

El cacahuatillo forrajero se defolia durante el estío, pero siempre mantiene protegido al suelo con su masa de estolones, rebrotando rápidamente con las primeras lluvias. Otro efecto importante es que evita la proliferación de malezas. Se recomienda sembrarlo en zonas con mucha lluvia y nubosidad, en cafetales con poca sombra (Staver, 1997).

Las tecnologías de conservación del suelo descritas son soluciones técnicas al problema edáfico más importante de México, porque disminuyen la pérdida de suelo a valores permisibles. Sin embargo, la adopción de estas prácticas por los productores es aún baja, por la ausencia de programas oficiales que induzcan su uso masivo (Uribe-Gómez *et al.*, 2002).

Ramírez-Cruz y Oropeza-Mota (2001), encontraron que el tratamiento donde aplicaron labranza de conservación con maíz, siembra en hileras, sin escarda, labranza y fertilización, pero con una cobertura de 3 t ha^{-1} de residuos sobre la superficie, presentó menores pérdidas de suelo debido a la presencia de los residuos, lo que proporcionó protección a los agregados del suelo contra la fuerza de las gotas de lluvia y, por tanto, disminuyó la separación de partículas de los agregados (Lal, 1989; Barber, 1997; citados por Ramírez-Cruz y Oropeza-Mota, 2001).

2.7. VARIABLES EDÁFICAS

2.7.1. Densidad aparente

La densidad es un término que expresa la masa por unidad de volumen de una sustancia. También se sabe que cuando se aplica a los suelos se le denomina densidad aparente (dap o da) porque se incluye el espacio poroso.

En general, la densidad aparente tiene un valor máximo en suelos de textura gruesa porque tienden a la menor porosidad, aún cuando el tamaño de sus poros es grande. Por el contrario, el espacio poroso total de un suelo con textura fina tiende a ser mayor y por tanto su densidad aparente baja. (Cavazos y Rodríguez, 1992).

La densidad aparente se refiere a la cantidad de masa sólida por unidad de volumen de suelo, es decir, considerando el volumen ocupado y los poros. Es la relación entre el peso del suelo seco a 110^0C y el volumen total (incluyendo poros), y se expresa en Mg m^{-3}. La densidad aparente, la humedad gravimétrica y el nivel de oxígeno en el suelo, intervienen en la resistencia del suelo al crecimiento de las raíces; cuanto más seco está el suelo y cuanto menos oxígeno contiene se necesitan índices de densidad aparente más bajos para mantener un cierto nivel de crecimiento radical (Bernasconi, 1991; Coras, 1987).

La densidad aparente de los suelos no cultivados varía entre 1.0 y 1.6; las capas compactas pueden tener una densidad aparente de hasta 1.7 a 1.8; cuanto más fina sea la textura y mayor sea el contenido en materia orgánica, menor será la densidad aparente (Coras, 1987).

2.7.2. Contenido de humedad

El agua del suelo generalmente se encuentra alojada en poros cuyo diámetro es menor de 10 micras, puesto que los poros de mayor tamaño drenan fácilmente el agua y permanecen ocupados por aire, excepto cuando las condiciones del suelo impiden el libre drenaje. La absorción del agua del suelo por las raíces de las plantas se lleva a cabo sólo cuando existe un gradiente favorable de potencial hídrico y cuando las membranas

celulares de las raíces son permeables. Estas condiciones favorables se presentan dentro de un rango favorable de humedad del suelo. En condiciones de campo, el exceso de humedad afecta negativamente la permeabilidad de las membranas por la deficiencia de aireación, y el contenido insuficiente de humedad casi siempre se asocia con bajos potenciales hídricos que restringen o inhiben la absorción del agua por las raíces. Uno de los conocimientos empíricos más antiguos del hombre es la influencia del suelo en el desarrollo de las plantas (Narro, 1994).

El agua y el aire ocupan el espacio de poros del suelo. Todos los poros están llenos de agua líquida en el estado de saturación, y en el concepto de agua deben incluirse las sustancias (sales y gases) disueltas en ella. Si estas sustancias no participan directamente en un proceso no se mencionan explícitamente al tratar el agua. El agua se halla también en la estructura de los cristales, pero tan fuertemente ligada que se requieren de altas temperaturas para eliminarla. La mayor parte de esta agua es un componente del cristal y no es considerada como agua del suelo. Sin embargo, no siempre es posible distinguir con precisión esta agua líquida firmemente unida al suelo Baver, *et al.,* (1991).

Para la mayoría de los fines prácticos, se entiende por agua del suelo la que puede ser extraída por desecación hasta peso constante en estufa a 110° C. Pero no existe una temperatura determinada a la que diferentes minerales del suelo puedan ser calentados para expulsar toda el agua absorbida y dejar sólo el agua de cristalización. El intervalo de temperaturas para este secamiento es de 100 a más de 400° C., según los minerales componentes del suelo. Además, las materias orgánicas se oxidan a baja temperatura, algunas a 50° C. Por eso no es posible definir el estado de absoluta sequedad de un suelo que conste de uno o más minerales y alguna materia orgánica. Sin embargo, en la mayoría de los casos la cantidad relativa de agua entre dos estados de energía es más importante que los valores absolutos (Baver *et al.,* 1991).

El contenido de humedad de los suelos de campos con cultivos en desarrollo es función del tiempo y la posición en cambio constante. Las plantas que transpiran toman agua de la zona radicular con mayor rapidez de las capas superficiales, y luego, conforme el potencial de agua es más difícil de obtener, de las partes más secas del suelo. Las raíces

de las plantas extraen agua con menor rapidez de las capas más profundas. Es difícil evaluar la cantidad de agua en una cantidad dada del suelo, entre otras por las siguientes razones (Gavande, 1972):

a) El crecimiento disparejo de las plantas y la distribución no uniforme de las raíces producen variaciones en el contenido de humedad del suelo.
b) Las diferencias de características de infiltración ocasionan variaciones de campo después de una lluvia o irrigación.
c) Las variaciones de campo en cuanto a estructura del suelo, estratificación y textura, son causas de diferencia en la cantidad de agua retenida por el suelo.
d) Las alteraciones y cambios de densidad aparente, variación en volumen poroso y distribución de tamaños de los poros, son causa de que la condición de humedad del campo varíe considerablemente.
e) La irregularidad en la topografía de la superficie da por resultado una mojadura dispareja del suelo.
f) La humedad del suelo está cambiando constantemente.

Prácticamente, en todos los tipos de estudios de suelos se requieren mediciones directas o indirectas del contenido de humedad. En las directas el agua se elimina por evaporación, percolación o reacción química; infiriéndose por la diferencia la cantidad de agua removida; como ejemplos de ellos tenemos el método de la estufa, el del horno de microondas, el de los rayos infrarrojos y el de la combustión por alcohol o gasolina. El contenido de humedad en el suelo se expresa en forma de relaciones adimensionales entre unidades de masa por unidades de volumen, al multiplicar éstos valores por 100, se expresan en forma porcentual, debiendo indicarse si se trata de valores volumétricos o gravimétricos. La determinación del contenido de humedad volumétrico requiere de una precisa determinación de la densidad aparente; considerando la variabilidad del suelo, aún en áreas muy pequeñas, casi siempre se produce un cierto error (Bernasconi, 1991).

La decisión de cuál método de medición debemos emplear dependerá de las siguientes condiciones (Narro, 1994):

a) Equipo y materiales disponibles para la medición, o capacidad económica para adquirirlos.
b) Uso que se dará a la información por recabar y grado de precisión requerido.
c) Extensión del área que se va a muestrear.
d) Cantidad y calidad del personal que realizará las mediciones.
e) Costo de la información por obtener y su utilidad.

El método más simple y de uso más rápido para medir la cantidad de agua que contiene un suelo consiste en tomar muestras de suelo con el contenido de humedad del momento (método gravimétrico). Las muestras se pesan húmedas, luego se secan en un horno a una temperatura de 105 a 110° C hasta que alcancen peso constante, y se vuelven a pesar. Cuando se usa este método, se toman muestras de varios sitios del campo y se mezclan unas con otras para hacer una muestra compuesta, o se usan separadamente, para calcular la humedad del suelo. El muestreo puede hacerse empleando cilindros de volumen conocido, o simplemente usando un barreno que permita tomar muestras a diferentes profundidades. Las muestras húmedas deben ponerse en tarros de aluminio y sellarse inmediatamente para evitar que se pierda humedad mientras se llevan al laboratorio (Gavande, 1972; Bernasconi, 1991; Narro, 1994).

El porcentaje gravimétrico de agua indica los gramos de masa de agua que existen en un suelo por cada 100 g de masa de sólidos. Las principales ventajas del método gravimétrico son las siguientes (Narro, 1994):

a) Es un método directo para determinar el contenido de humedad del suelo y se utiliza como estándar o método de referencia.
b) El equipo requerido se encuentra disponible en muchos lugares o se puede improvisar satisfactoriamente.
c) El único costo importante es el de la mano de obra, la cual es abundante en México.

Las principales desventajas son las siguientes (Narro, 1994):

a) El método es lento; normalmente se requieren más de 24 horas para obtener la información.

b) Los valores de porcentaje gravimétrico obtenidos para un mismo suelo y profundidad pueden mostrar notoria variación; por lo tanto, es necesario tomar varias muestras por punto de observación y promediar los valores después de descartar las observaciones que se consideren erróneas.

c) Se requiere transportar los materiales (barrena, latas, y otros materiales necesarios) al campo y del campo al laboratorio; además, se invierte un elevado número de horas de trabajo.

d) En los suelos cultivados, los hoyos que se hacen pueden dañar algunas plantas o tubérculos. Además, después de los riegos no se debe muestrear cerca de los hoyos anteriores, los cuales se deben tapar, una vez extraída la muestra.

e) Las muestras obtenidas y usadas son muy pequeñas.

2.7.3. Infiltración

Se refiere a la entrada del agua en el suelo (Narro, 1994). Esta entrada depende de muchos factores, entre ellos: la lámina de riego o de lluvia; la temperatura del agua, la del suelo; la estructura, la compactación, el contenido de humedad del suelo, las actividades microbianas (Ojeda, 1984; Bernal, 1989), y otras que se mencionarán más adelante.

Por su parte, Hillel (1980), citado por Rivas *et al.* (1990), menciona que la infiltración es una proceso por el cual el agua se mueve en la interfase suelo-atmósfera hacia el interior del perfil del suelo y que es importante en la relación suelo-vegetación, porque la velocidad de este movimiento determina qué tanta agua puede entrar al suelo y qué tanta va a escurrir superficialmente. De ahí que este fenómeno esté relacionado no sólo con la disponibilidad de agua para las plantas y a la recarga de los acuíferos, sino también a la erosión (Narro, 1994).

Rivas *et al.* (1990) agregan al respecto que la máxima velocidad a la cual un suelo, en una condición dada, puede absorber agua, se denomina infiltrabilidad. Se presenta cuando el agua a la presión atmosférica se encuentra disponible en la superficie del suelo. La infiltrabilidad del suelo depende de la humedad de la humedad inicial y la

succión de la humedad del suelo (potencial mátrico) como también de la textura, estructura y uniformidad o secuencia de los estratos dentro del perfil. Tiene una relación decreciente con el tiempo, llegando a ser asintótica al aproximarse a la infiltración básica, cuando se reduce el gradiente de succión mátrico, como consecuencia del proceso de humedecimiento.

La importancia agrícola de la infiltración y de la velocidad con que ésta se efectúa, es muy grande. Todas las funciones que el suelo desempeña en beneficio de las plantas son afectadas directa o indirectamente por la velocidad de infiltración y un buen número de prácticas culturales que los agricultores realizan se definen o se ajustan de acuerdo con esta característica (Narro, 1994).

Factores que afectan la infiltración. La velocidad con que el agua penetra en los suelos y el avance del frente de mojadura son procesos que dependen de la conductividad hidráulica del suelo y del gradiente del potencial hídrico. Por su parte, la conductividad hidráulica, también llamada capilar, depende de la fluidez del agua, determinada por su viscosidad y densidad, y de las características del suelo como medio poroso, en cuanto a su porosidad total, tamaño y geometría de los poros (forma, continuidad y distribución). El contenido de humedad del suelo y la condición de la superficie de éste son muy importantes en la determinación del valor de la conductividad hidráulica. Las características de los poros del suelo y la condición de la superficie son determinadas en gran cantidad por la textura, contenido y tipo de coloides orgánicos y minerales, por el contenido de materia orgánica y de sales solubles, y por la homogeneidad o heterogeneidad del perfil del suelo. También la labranza puede modificar de manera significativa la condición de la superficie (Narro, 1994).

Entre los factores que afectan la velocidad de infiltración, y que son fácilmente observables o medibles, están (Narro, 1994):

a) El contenido inicial de humedad del suelo, el cual se relaciona en forma inversa con la infiltración; es decir, a mayor contenido de humedad, menor velocidad de infiltración.

b) La textura del suelo. En general, se puede afirmar que a mayor contenido de arena, mayor velocidad de infiltración.
c) Condición de la superficie del suelo. La presencia de costras disminuye la velocidad de infiltración; en cambio, la existencia de grietas aumenta, al menos temporalmente.
d) La estratificación del suelo, la cual retrasa el avance del frente de mojadura y hace necesario mayor tiempo a fin de alcanzar la velocidad de infiltración básica.
e) La calidad del agua aplicada al suelo; cuando es muy pura o contiene cantidades importantes de sodio, genera diflaculación y dispersión de los coloides del suelo, y reduce la velocidad de infiltración.

Descripción del proceso de infiltración. La velocidad de infiltración en un suelo inicialmente seco es variable y disminuye a medida que se incrementa el contenido de humedad, hasta alcanzar un valor final constante y relativamente pequeño, al que se le denomina "velocidad de infiltración básica". Al inicio del proceso de infiltración, el flujo de agua se efectúa en condiciones transitorias, con un gradiente hidráulico muy elevado y baja conductividad hidráulica, lo cual genera un flujo de agua relativamente alto en el suelo. A medida que el contenido de humedad del suelo aumenta, el gradiente de potencial hídrico disminuye y la conductividad hidráulica aumenta; en consecuencia, el flujo de agua, aun en condiciones transitorias, disminuye constantemente hasta alcanzar un valor constante (infiltración básica IB o Ib). En este punto, el flujo alcanza condiciones estables, el potencial mátrico del suelo adquiere un mismo valor en todo el perfil, y el valor de la infiltración básica es igual al de la conductividad hidráulica del perfil del suelo (Narro, 1994). La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, expresada generalmente en cm h^{-1} o cm min^{-1} (Ojeda, 1984; Bernal, 1989).

Métodos de medición de la infiltración. Existen muchos métodos de campo y de laboratorio para medir la velocidad de entrada de agua a un suelo, en condiciones controladas y reproducibles. Dentro de estos métodos, que esencialmente consisten en relacionar el volumen de agua que penetra en una superficie conocida de suelo, por unidad de tiempo, se pueden considerar los tres tipos de movimiento de agua en el suelo: uni, di o tridimensional. La aplicación de agua al suelo en estudios de infiltración puede

ser mediante un simulador de lluvia, con lluvia natural o por inundación de una superficie de terreno. Musgrave (citado por Narro, 1994), propuso el método del doble cilindro para medir la velocidad de entrada vertical a un suelo. Este método consiste en colocar dos cilindros concéntricos y medir en el cilindro central la velocidad con que el agua penetra al suelo. La función del cilindro exterior consiste en evitar o disminuir el movimiento lateral del agua del cilindro central en el suelo. Por su simplicidad, este método se utiliza ampliamente; la información que se obtiene es la lámina de agua que se infiltra del cilindro central, a intervalos de tiempo seleccionados y medidos, hasta alcanzar un valor constante en la velocidad de infiltración (Bernasconi, 1991; Narro, 1994;).

Los infiltrómetros de doble cilindro se usan para determinar velocidades de infiltración en suelos inundados en conección con a) sistemas de riego superficial o de inundación, b) cuencas de infiltración para recarga de acuíferos, c) percolación de corrientes, canales, almacenamiento o lagos de aguas residuales, d) movimiento del percolado dentro del terreno debajo de tierras de relleno sanitario o de disposición de basura, y e) efectividad de cubiertas de arcilla, compactación de suelos u otro tratamiento para reducir la infiltración o percolación. Las condiciones de la superficie del terreno son muy importantes por lo que debe haber representatividad del lugar elegido para hacer la determinación. El concepto de infiltración también es importante en los estudios de erosión hídrica. De allí el concepto de "humedad antecedente" que se aplica en esta rama del conocimiento. En el caso hipotético de que se den dos lluvias idénticas en volumen, duración, intensidad, tamaño de gota, etc., tendrán diferente efecto sobre el mismo suelo si cambia la humedad del suelo antecedente en cada una de ellas (Bernasconi, 1991).

En la actualidad existe un gran número de modelos matemáticos para describir la infiltración y cada uno de ellos presenta ciertas ventajas para casos particulares. Entre los principales, están el modelo de Kostiakov modificado, el modelo de Horton, y el de Philip (Narro, 1994).

Larson (1983), citado por Rivas *et al.* (1990), indica que los modelos de infiltración pueden ser clasificados en dos grandes categorías: los de naturaleza empírica y los derivados de la teoría de flujo en medios porosos.

Las ecuaciones empíricas consideran que la velocidad de infiltración (i), o el volumen acumulado de infiltración (I), sea expresada algebraicamente como una función de tiempo (t) y constantes empíricas o parámetros del suelo. Una de las más simples en esta categoría es la propuesta por Kostiakov (1932) y Lewis (1938):

Ecuación de Kostiakov-Lewis. Para ajustar la velocidad de infiltración se usó la siguiente ecuación:

$I = Kt^n$ .....(1)

Donde:

I = Velocidad de infiltración (cm h^{-1})

T = Tiempo (min)

K = Parámetro que representa la velocidad de infiltración durante el intervalo inicial (cuando t = 1)

n = Parámetro que representa la reducción de la velocidad de infiltración con el tiempo

Con los datos de velocidad de infiltración: I y T se obtienen los parámetros n y K, generados por regresiones lineales.

El método se basa en un ajuste de los datos de campo de la curva de infiltración al modelo $I = Kt^n$. Si esta ecuación se expresa logarítmicamente, con el objeto de linealizarla, se obtiene la ecuación (a):

$\text{Log } I = \text{Log } K + n \text{ Log } t$ ..... (2)

La que tiene la misma forma que el modelo:

$y = b_0 + b_1 x_i$ ..... (3)

Que es un modelo de regresión lineal simple, para expresar (2) en términos de (3). Luego:

$\text{Log } I = Yi$

$\text{Log } K = b_0$

$n = b_1$

$\text{Log } t = Xi$

2.7.4. Pérdida de nutrimentos

Lal (1976c) evaluó la pérdida de cinco nutrimentos en Alfisoles (USDA Soil Taxonomy) de Nigeria en 1972, en cuatro pendientes naturales (1, 5, 10 y 15%); los experimentos fueron conducidos en lotes de escurrimiento de 25 x 4 m; los tratamientos de manejo de cultivos consistieron en las siguientes combinaciones: barbecho con suelo desnudo, maíz-maíz (con mantillo y con suelo labrado), y caupi-maíz (en suelo labrado y con labranza cero). Para los tratamientos con suelo labrado las pérdidas más grandes fueron las de materia orgánica y de nitrógeno total. En estas condiciones Lal encontró una pérdida de nitratos de 0.6 kg ha^{-1} $año^{-1}$, mientras que de potasio obtuvo una pérdida de 3.5 kg ha^{-1} $año^{-1}$ en el tratamiento de maíz-caupi con labranza cero y pendiente de 15%. Por otro lado, Lal también encontró que la suma de las pérdidas totales de todos los nutrimentos que midió (N, P, K, Ca y Mg) en sedimentos erosionados fue significativamente influenciada por la pendiente y el manejo de los tratamientos.

Lal (1976c), encontró en 1972 que el pH de los escurrimientos que registró fue significativamente afectado por las diferencias en tipos de suelos y de manejo en los tratamientos.

Figueroa (1975) estudió la pérdida de nutrimentos en la cuenca del Río Texcoco en ocho tipos de ecosistemas, incluyendo tres tipos de bosques (los sistemas más semejantes a los estudiados en este trabajo), encontrando las siguientes pérdidas durante el año de 1974:

Nitratos:

Bosque de pino: 0.032 kg ha^{-1} $año^{-1}$, bosque de oyamel: 0.0011 kg ha^{-1} $año^{-1}$ y bosque de encino: 0.004 kg ha^{-1} $año^{-1}$.

Potasio:

Bosque de pino: 0.56 kg ha^{-1} $año^{-1}$, bosque de oyamel: 0.07 kg ha^{-1} $año^{-1}$ y bosque de encino: 0.54 kg ha^{-1} $año^{-1}$.

2.8. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS)

Actualmente, la estimación de pérdida de suelo debida a erosión laminar y en canalillos puede ser calculada utilizando modelos matemáticos, entre éstos, la Ecuación Universal de Pérdida de suelo (EUPS) es el modelo matemático más utilizado para esta predicción. Especialmente en los Estados Unidos, la ecuación ha sido utilizada extensivamente en terrenos agrícolas desde 1957, en sitios para construcción desde 1971, y en terrenos forestales y pastizales desde 1972 (Figueroa *et al.*, 1991).

Debido a que la EUPS ha sido desarrollada en los EU mediante el análisis estadístico de las pérdidas de suelo por erosión en lotes experimentales, las correlaciones son muy buenas en ese país. No obstante, es necesario utilizar la ecuación con precaución cuando se quiere aplicar fuera de los EU porque algunas de las relaciones utilizadas en la EUPS no siempre se pueden extrapolar a ambientes diferentes (Figueroa *et al.*, 1991).

La EUPS es un modelo empírico y lineal simple de multiplicación de factores, aceptado para estimar la erosión del suelo (Wischmeier y Smith, 1978). Estima principalmente el promedio anual de erosión laminar y en canalillos de la lluvia, excluyendo la erosión en cárcavas o en márgenes de los ríos (Meyer, 1984).

La utilidad y ventajas de la EUPS son las siguientes (Figueroa *et al.*, 1991).

- Predice la pérdida anual de suelo promedio de un terreno con pendiente bajo un uso específico de suelo.
- Permite seleccionar sistemas de manejo y cultivos, y prácticas de conservación para pendientes y suelos específicos.

- Predice los cambios en pérdida de suelo que ocurrirían al darse un cambio en prácticas de cultivo o conservación para un terreno dado.
- Permite determinar cómo se pueden aplicar o modificar prácticas de conservación para que se tenga un uso más intensivo del terreno.
- Estima las pérdidas de suelo para terrenos diferentes a los agrícolas.
- Proporciona estimaciones de pérdida de suelo a los conservacionistas para determinar necesidades de conservación.

La inutilidad y desventajas de la EUPS son las siguientes (Pérez, 1999):

- No sirve para estimar la producción de sedimentos en una cuenca porque fue diseñada para parcelas pequeñas.
- No predice las pérdidas de suelo en eventos específicos de lluvia.
- El uso indiscriminado de sus factores (R, LS, C y P) puede conducir a sesgos importantes.
- Se puede llegar a hacer una consideración indiscriminada de los valores de C y P.
- Puede generar errores al intentar extrapolar factores lejos del área donde fueron generados.
- Se puede obtener una definición incorrecta de la longitud de la pendiente.
- Se pueden llegar a considerar iguales las pendientes irregulares.
- No siempre se puede considerar que el EI_{30} refleja el potencial erosivo del escurrimiento.

La EUPS se expresa como sigue:

$$A = RKLSCP \quad \text{..... (4)}$$

Donde:

A = Tasa de pérdida promedio anual de suelo (t ha^{-1})

R = Factor erosividad de la lluvia (MJ mm ha^{-1} h^{-1} $año^{-1}$)

K = Factor erosionabilidad del suelo (t ha h MJ^{-1} mm^{-1} ha^{-1})

LS = Factor longitud y grado de la pendiente (adimensional)

C = Factor manejo y cobertura (adimensional)

P = Factor prácticas mecánicas de control de la erosión (adimensional)

2.8.1. Factor erosividad (*R*) de la lluvia

La erosividad es la capacidad de la lluvia para causar erosión, ésta depende de sus características físicas, como intensidad, duración y frecuencia (Hudson, 1977; 1980).

En las regiones tropicales, los eventos de lluvia son más erosivos que los de las zonas templadas, debido principalmente a la mayor frecuencia de lluvias de alta intensidad, mayor velocidad del viento y distribución del tamaño de gotas (Lal, 1976b; 1977; 1979; Lal *et al.*, 1980; Hudson, 1977; El-Swaify y Dangler, 1982). La mayor parte de las lluvias tropicales caen en la categoría de tormentas "erosivas", mientras que en climas templados, sólo 5 al 10% se les consideran como tales.

Las interacciones de tamaño, velocidad de caída y forma de las gotas de lluvia; la cantidad, intensidad y duración de la tormenta, así como la velocidad del viento, controlan el poder erosivo de la lluvia (Wischmeier, 1959; Hudson, 1981). Mientras que los factores que afectan la energía cinética de una tormenta son: la intensidad de la precipitación, la distribución del tamaño de las gotas, la velocidad terminal, la velocidad del viento y la dirección de la pendiente (Lal, 1979).

Intensidad de la lluvia. Definida como la tasa de cambio de una cantidad de lluvia P, en un tiempo t, se expresa generalmente en mm h^{-1}. Diversos estudios han mostrado la relación estrecha entre la intensidad de la lluvia y la erosión del suelo (Wischmeier y Smith, 1958). En el control de la erosión por lluvia, más que conocer la cantidad precipitada, es necesario el de la erosividad, las intensidades máximas y la relación intensidad-duración-frecuencia (Hudson, 1981).

Se han encontrado correlaciones entre las intensidades de la lluvia y suelo erosionado (Hays *et al.*, 1948; Mookerjee, 1950 citados por Amezquita y Forsythe, 1985; Wischmeier y Smith 1958; Meyer, 1981), que son mayores todavía, cuando se relaciona

el suelo erosionado con la energía cinética o el momento de la lluvia (Wischmeier, 1959; Lal, 1979; Hudson, 1981).

El tamaño, distribución y forma de la gota influencian por completo la energía, fuerza y erosividad de la tormenta. Se reportó un incremento proporcional entre el tamaño medio de la gota con el de la intensidad de la lluvia (Laws y Parsons citados por Lal, 1979). Complementariamente, la energía cinética de una tormenta se relaciona con la velocidad de las gotas y el tiempo de impacto con el suelo.

La dirección de la pendiente. En relación a la dirección de la tormenta, puede alterar significativamente la energía cinética del impacto, debido al ángulo en el que ésta golpea a la partícula del suelo, el impacto máximo se da en el ángulo de 90° (Lal, 1979).

2.8.2. Índices de erosividad de la lluvia

Los índices de erosividad más importantes y de más amplia aplicación geográfica son: índice de Wischmeier (EI_{30}), índice de Hudson (KE>25), índice de Lal (AI_m), índice de Roose-Delwaulle (Ram) (Wischmeier, 1959; Lal, 1979; Roose, 1979; Arnoldus, 1980; Hudson, 1981), y también existen otros de aplicación local.

Índice de Wischmeier (EI_{30}). El EI_{30} ha demostrado ser un índice de erosividad de la lluvia eficiente para la estimación de pérdidas de suelo en diversas partes del mundo, no obstante que originalmente fue desarrollado para la región al este de las Montañas Rocallosas en Estados Unidos. En otros casos, sin embargo (Lal, 1979; Roose, 1979; Hudson, 1981), las correlaciones entre EI_{30} y las pérdidas de suelo han sido bajas y se han encontrado mejores resultados al hacer otras consideraciones, obteniéndose así otros índices de erosividad.

El EI_{30} se define como el producto de la energía cinética total de la lluvia (E) por la intensidad máxima en 30 minutos (I_{30}). Mide el efecto en que la erosión por salpicamiento y la turbulencia del flujo, se combinan con el escurrimiento para remover del terreno las partículas del suelo. Su cálculo toma en cuenta únicamente las lluvias con láminas de precipitación mayores o iguales a 12.7 mm en 30 minutos ó 6 mm en 15 minutos, para que un evento se considere independiente de otro, debe existir una

separación mínima entre ambos de al menos 6 horas (Wischmeier y Smith, 1978). Aunque la energía cinética de la lluvia es aceptada como la fuerza conductora de la erosión, Wischmeier (entre otros investigadores) indica que la cantidad y la intensidad de lluvia no están altamente correlacionadas con la pérdida de suelo; basándose en un análisis que efectuó durante 1958, mostró que la correlación de pérdida de suelo con la cantidad de lluvia en tormentas individuales, y la máxima cantidad en intervalos de 5, 15 ó 30 minutos es pobre; sin embargo, el producto de la energía cinética de la tormenta y la intensidad máxima de la lluvia durante los primeros 30 minutos de una tormenta (EI_{30}) se correlaciona más significativamente con la pérdida de suelo en parcelas estándares (Lal, 1979).

Índice de Hudson (KE>25 mm). Su cálculo considera solo la energía cinética total de la lluvia, a intensidades mayores a 25 mm h^{-1}. Hudson afirma que las lluvias de menores intensidades no son erosivas. El cálculo de la energía cinética es esencialmente igual al EI_{30}, salvo la restricción del valor umbral de la intensidad. A diferencia del EI_{30}, no requiere multiplicarse por la intensidad máxima en 30 minutos. Considera las siguientes condiciones: 1) tormentas con intensidades menores a 25 mm h^{-1} no son erosivas 2) tiene mayor correlación con las pérdidas de suelo en zonas tropicales que otros índices de erosividad.

Índice de Lal (AI_m). Desarrollado en Nigeria; reporta que el producto de la cantidad total de lluvia y la intensidad máxima de la misma (AI_m) proporciona mejores resultados como índice de erosividad que el EI_{30} y el $KE>25$ para regiones de lluvias tropicales con alta intensidad. La expresión algebraica de este índice es (Lal, 1979):

$$AIm = \sum_{1}^{12} \sum_{1}^{n} (ai_m) \quad \text{.....(5)}$$

Donde:

AI_m = Índice de erosividad de Lal

a = Lámina total de cualquier tormenta registrada por mes (cm)

i_m = Máxima intensidad de la tormenta (cm h^{-1})

n = Número de días lluviosos en el mes

Índice de Roose-Delwaulle (Ram). Existen diversas aproximaciones al índice de Wischmeier, así Delwaulle encontró que para el Oeste de África puede utilizarse como aproximación a (R) la ecuación:

$$Ram = (0.0158)\,(H)\,(I_{30}) - 1.2 \quad \text{.....(6)}$$

Donde:

Ram = Índice de erosividad de Roose-Delwaulle para un evento de lluvia

H = Precipitación total en el evento (mm)

I_{30} = Intensidad máxima en 30 minutos (mm h^{-1})

Índice de Fournier modificado (Fm). Arnoldus (1980) tratando de correlacionar el índice original de Fournier con el de Wischmeier (EI_{30}), encontró que haciéndole una modificación lograba buenos resultados para algunas estaciones de Estados Unidos y el oeste de África. El índice propuesto es:

$$Fm = \sum_{i=1}^{12} (p_i^2 / P) \quad \text{.....(7)}$$

Donde:

Fm = Índice de erosividad de Fournier modificado

p_i = Precipitación total en el mes i (mm)

P = Precipitación total en el año (mm)

Rodríguez *et al.* (1994), evaluaron los índices de erosividad EI_{30}, KE>25 y AI_m; para tal fin establecieron una parcela sin cobertura de 10 x 2 m en un Aquic paleudults con 15% de pendiente, ubicado en una cuenca alta de la cordillera central de Venezuela. Estos tres índices se correlacionaron altamente con las pérdidas de suelo y en menor proporción con las pérdidas de agua por escorrentía; por tal motivo los autores recomendaron utilizar el EI_{30} por ser el índice más señalado en la literatura.

2.8.3. Factor erosionabilidad (*K*) del suelo

El término erosionabilidad del suelo, indica la susceptibilidad de un suelo particular a ser erosionado (Cook, citado por Figueroa *et al.,* 1991). En la EUPS la tasa de erosión del suelo (A) es altamente influenciable por la pendiente del terreno, las características de la precipitación y la cobertura y manejo, sin embargo, algunos suelos son más erosionables que otros aún cuando éstos factores son iguales. Esta diferencia que es función de las propiedades inherentes del suelo mismo, se denomina erosionabilidad del suelo (Wischmeier y Smith, 1978).

Estas diferencias son difíciles de cuantificar a partir de observaciones de campo, un suelo con valores del factor erosionabilidad relativamente bajos, puede mostrar signos de erosión seria cuando se encuentran en pendientes muy pronunciadas o en regiones con lluvias de alta intensidad, mientras que un suelo con alta erosionabilidad puede mostrar poca evidencia de erosión bajo pendiente e intensidad de lluvia moderadas.

2.8.4. Factor longitud y grado (*LS*) de la pendiente

El efecto de la topografía en la erosión se representa como el factor (LS) en la EUPS. La erosión aumenta conforme se incrementan la longitud (L) y la inclinación (S) del terreno.

El tamaño de las partículas, así como la cantidad del material que el agua puede arrastrar o llevar en suspensión, depende de la velocidad de flujo superficial; la velocidad, por su parte, es una función del grado y longitud de la pendiente (Ríos, 1987).

La cantidad o volumen de la escorrentía desempeña también un importante papel en la erosión, y viene determinada por condiciones como la extensión del terreno que contribuye a la aportación de aguas, la forma de las vertientes que afectan a la cantidad de escorrentía en un punto dado y en laderas, y que la longitud de la pendiente es más importante que la anchura (Ayres, 1960).

Longitud (L) de la pendiente. Definida como la distancia comprendida desde el punto donde se origina el escurrimiento a cualquiera de los siguientes puntos: a) punto donde

la pendiente decrece y se presenta depositación; b) punto donde el agua de escorrentía entra en un canal bien definido que puede ser parte de una red de drenaje o un canal construido, por ejemplo una terraza o zanja de desvío (Wischmeier y Smith, 1978; Figueroa *et al.,* 1991).

La acumulación del volumen escurrido a lo largo de la pendiente incrementa la capacidad de desprendimiento y transporte del escurrimiento, a mayor longitud de la pendiente mayor erosión por unidad de superficie (Hudson, 1971; Ríos, 1987). Sin embargo, la inclinación de la pendiente afecta mucho más a la erosión que la longitud de la misma (Djrovic, citado por Perles, 1997).

Los problemas más intensos de erosión en los trópicos, se dan en pendientes de entre 50 y 100%, con longitudes superiores a 100 m, condiciones en las que no existen suficientes estudios, pues los factores de longitud y grado de pendiente de la EUPS, se obtuvieron en condiciones con un máximo de 18% de pendiente (Hudson, 1981).

Grado (S) de la pendiente. En condiciones ambientales uniformes, conforme aumenta el grado de la pendiente, el agua fluye con mayor velocidad y en consecuencia el tiempo de oportunidad para la infiltración del agua es menor. La pérdida de suelo aumenta más rápidamente con la inclinación de la pendiente, que con la longitud (Ríos, 1987; Figueroa *et al.*, 1991).

La escorrentía aumenta rápidamente de pendientes de 0 a 3%, luego el crecimiento por cada 1% adicional es relativamente pequeño. Este aumento es uniforme hasta el 4% de pendiente, luego aumenta más rápidamente hasta 7 y 8%, y en pendientes mayores el ritmo del aumento es todavía más rápido. (Duley y Hays, s/f citados por Ayres, 1960; Hudson, 1981). La longitud puede tener un efecto similar, dependiendo si la pendiente es cóncava o convexa (Howeler, 1984):

$$E = S^a \quad \text{.....(8)}$$

Donde:

E = Pérdida de suelo

S = Grado de pendiente

a = Variable de 0.8 a 1.5 de acuerdo a la región.

2.8.5. Factor cobertura y manejo (*C*) del suelo

Las cantidades de suelo erosionado no se relacionan tanto con la escorrentía como con las proporciones de suelo desnudo, esto se debe a que el suelo arrastrado frecuentemente no llega a la corriente sino que es atrapado cuesta abajo por la vegetación o es redepositado en los fondos de los valles o en las grietas cóncavas en la pendiente (Evans, 1994).

El factor *C*, es la relación de pérdidas de suelo de un terreno cultivado bajo condiciones específicas, con las de uno desnudo y en barbecho continuo en las mismas condiciones de suelo, pendiente y precipitación (Wischmeier, 1960 y Wischmeier y Smith, 1978). Este factor estima el efecto combinado de todas las variables interrelacionadas de cobertura y manejo, su valor varía de 0 a 1; es 1 cuando no existe vegetación y el suelo permanece en barbecho continuo, y conforme se incrementa la cobertura vegetal su valor tiende a cero.

No es posible evaluar independientemente a los factores de manejo y cobertura debido a que sus efectos están influenciados por muchas correlaciones importantes, entre ellas (Figueroa *et al.*, 1991):

- La eficiencia de los residuos vegetales depende de la cantidad disponible de los mismos.
- La protección de la cobertura aérea de los cultivos depende del tipo de vegetación, su densidad y la calidad del crecimiento vegetal. Estos factores varían mucho durante el año.
- La eficiencia de un cultivo para evitar la erosión depende de cuánta lluvia erosiva ocurre durante los distintos periodos de crecimiento del cultivo.

La sobreposición de periodos con una probabilidad de lluvias erosivas alta y condiciones de crecimiento de cultivo buenas o malas es diferente para cada región. Por esto, el valor de C no es el mismo en todos los lugares. A fin de obtener el valor C para una zona en

particular es necesario conocer cómo se distribuye la lluvia erosiva a través del año y cuánta protección a la erosión ofrecen los cultivos, los residuos de cultivo y las prácticas de manejo seleccionadas cuando se presenten las lluvias erosivas (Figueroa *et al.*, 1991).

Para determinar el valor numérico del factor *C*, es importante conocer el grado de protección que las plantas brindan al suelo y la distribución de la fuerza erosiva de la lluvia durante todo el año en un suelo, sin protección y condiciones estándares de longitud, pendiente y manejo, para conocer las pérdidas relativas. Se entiende como pérdidas relativas, al cociente que resulta de dividir las pérdidas de suelo de un terreno bajo cultivo y manejo específicos, entre las obtenidas en un suelo desnudo y en barbecho continuo. Según Wischmeier y Smith (1978), el factor manejo y cobertura del suelo (C) se estima con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\text{(pérdida de suelo en un terreno cultivado) } (EI_{30})}{\text{Pérdida de suelo en un terreno sin vegetación y en barbecho continuo}}$$

Bajo las mismas condiciones de K, LS y P.
Terreno sin vegetación y en barbecho continuo.
El valor tiende a 0 a mayor cobertura del suelo.

Cobertura del suelo. Se considera que tanto la hojarasca como las coberturas vegetales, constituyen la mejor defensa natural del suelo contra la erosión, lo protegen del impacto de las lluvias, reduciendo el desprendimiento de las partículas, obturación de los poros y separación de agregados; además de beneficios indirectos como la formación de agregados a través de la incorporación de materia orgánica (Suárez de Castro, 1952 y 1979).

Cobertura vegetal. Constituye el primer obstáculo contra el impacto directo de las gotas de lluvia en el suelo, la protección incluye la intercepción, dispersión y evaporación de las gotas de lluvia que no alcanzan a llegar al suelo; el sistema radicular de las plantas ejerce un efecto de sujeción sobre las partículas del suelo produciendo mejoras en su estructura, que también se favorece al descomponerse las raíces, incrementando el contenido de materia orgánica y dejando cavidades tubulares que

mejoran la circulación de aire y agua; incremento de la rugosidad hidráulica del escurrimiento superficial, que aumenta la fricción y disminuye la velocidad del flujo, incremento en el tiempo de oportunidad para la infiltración, y por último, mejora la calidad del volumen escurrido al llevar pocos sedimentos en suspensión (Ayres, 1960; Wischmeier y Smith, 1965; Figueroa, 1975; Hudson, 1977; Holy, 1980; y Brenneman y Laflen, 1982).

La cobertura vegetal en cualquier cultivo reduce la erosión y los escurrimientos superficiales (Gumbs y Lindsay, 1982); en áreas agrícolas recientemente recuperadas, se reduce en un 51% cuando la cobertura alcanza un 54% y, en 92% cuando la cobertura es del 72% (Hofmann, Ries y Gilley, 1983).

Análisis de la pérdida de suelo en terrenos de pastoreo con diferentes porcentajes de cobertura durante 10 años de observación, encontraron que con una cobertura del 100% las pérdidas de suelo fueron de 10 kg ha^{-1} $año^{-1}$ y con una cobertura del 20% de 4000 kg ha^{-1} $año^{-1}$, un balance entre el suelo formado y el suelo erosionado requiere de una cobertura entre 50 y 75% (Lang y McCaffrey, 1984).

Por su parte, Beer *et al.* (1998) también sugieren que los árboles pueden redistribuir adversamente la precipitación porque durante una baja a moderada intensidad de la lluvia ocurre la formación de gotas grandes a partir de la unión de gotas pequeñas, y su caída desde las partes altas de los árboles puede incrementar la erosión por salpicado, sobre todo cuando no se cuenta con un estrato intermedio y suficiente mantillo.

Apoyando las tesis anteriores, Bermúdez (1980) encontró que en el sistema de café con sombra de Erythrina poeppigiana asociada con árboles maderables de *Cordia alliodora*, el efecto negativo del goteo de agua desde las copas altas de este árbol fue minimizado por la presencia de un segundo estrato vegetal de árboles de *Erythrina* y por el abundante mantillo que cubre casi completamente el suelo; también menciona como ventaja la reducción de malezas, concluyendo que en los sistemas agroforestales la estratificación de la vegetación y la hojarasca producida por los árboles son una práctica efectiva de conservación de suelos.

La distribución de la erosión por tormentas durante el año, cambia de una localidad a otra y el efecto de un cultivo o práctica de éste sobre la erosión, varía de acuerdo al estado de desarrollo del cultivo; consecuentemente, el efecto de una práctica anual de cultivo para controlar la erosión, esta en función de la distribución de las lluvias erosivas durante el año (Wischmeier, 1960).

De acuerdo al grado de protección del suelo durante el año, las coberturas vegetales vivas se agrupan en permanentes y temporales, las primeras consideran los usos del suelo forestal y de pastizal, también puede incluirse otros tipos de vegetación. La eficiencia de protección depende del porcentaje y tipo de vegetación existente, de acuerdo a su eficiencia para aminorar la erosión: pastizales permanentes, pastizales en rotación con cultivos agrícolas y finalmente cultivos anuales (Holy, 1980).

Coberturas vegetales permanentes. Los bosques son las coberturas vegetales permanentes más eficientes para la reducción de la erosión. Un follaje denso, buen estrato secundario de arbustos y hierbas, y una capa de mantillo imperturbado, reducen de manera importante los escurrimientos superficiales, lo que disminuye la intensidad y grado de la erosión; el escurrimiento superficial en suelos forestales, como regla general, no excede el 10% de la precipitación total anual, sin embargo, los efectos de cobertura de buenos pastizales, sobre los escurrimientos superficiales y pérdidas de suelo, pueden ser similares a los que se presentan en condiciones de bosque (Holy, 1980).

Los escurrimientos superficiales y de pérdidas de suelo procedentes de buenos pastizales o de bosques con frecuencia representan del 1 al 55% de las pérdidas generadas en suelo sin protección (Kirkby y Morgan, 1984); Elwell y Stocking, 1976, y Lang y McCaffrey, 1984, sugieren para una adecuada y eficiente protección contra la erosión una cobertura de al menos 70% de la superficie; tales coberturas se alcanzan bajo condiciones de bosque, pastizal y algunos cultivos forrajeros (Hudson, 1977).

En condiciones naturales y dependiendo de las características de los suelos, la cubierta vegetal puede influir de dos maneras: 1) favoreciendo la infiltración y propiciando la inestabilidad de las laderas y taludes, que pueden ponerse en movimiento por la incorporación del agua y el consiguiente aumento de peso y/o la disminución de la

resistencia al corte, y 2) estabilizándola, gracias al drenaje que promueve la evapotranspiración y al efecto mecánico de unión entre las partículas del suelo que ejercen los sistemas radicales (Baver *et al.*, 1991).

Coberturas vegetales temporales. Aquellas que protegen al suelo durante una o dos épocas del año (consideradas las áreas agrícolas), son menos eficientes en el control de la erosión, en comparación con áreas de bosque y pastizal (Figueroa, 1975; Suárez de Castro, 1979).

Independientemente de las variaciones asociadas a la frecuencia e intensidad de tormentas aisladas, las tasas de erosión siguen un patrón estacional; al que se amolda el crecimiento de la vegetación, pero levemente más tarde. La época más vulnerable para la erosión hídrica, entonces, corresponde a la primera etapa de la estación húmeda, cuando la lluvia es importante pero aún no se ha desarrollado suficiente vegetación para proteger al suelo, en consecuencia, el máximo de erosión precede al máximo de lluvia (Kirkby y Morgan, 1984).

La cantidad de suelo erosionado depende no del porcentaje de la superficie del suelo protegida del impacto directo de la lluvia, sino del porcentaje de suelo sin protección; para el rango de cobertura por follaje en cultivos, la variación en la densidad de cobertura puede tener más influencia sobre la erosión, que cualquier otro factor de manejo (Hudson, 1977).

Al evaluar el factor *C* en la EUPS, se incluyen condiciones de manejo del suelo y la vegetación y distribución de la erosividad de la lluvia durante el ciclo, algunas de las variables incluidas son: tipo y rotación de cultivo, manejo y cantidad de residuos de cosecha, sistemas de labranza y labores de cultivo, fertilización y productividad, y grado de cobertura por follaje y altura del mismo. (Wischmeier y Smith, 1965). Estas variables alteran la cantidad de cobertura sobre el suelo y sus propiedades físicas y químicas, modificando su erosionabilidad (Elwell y Stocking, 1976).

En coberturas permanentes, no es necesaria la división en etapas de crecimiento, ni la distribución de la erosividad para determinar el valor del factor *C*; en áreas con

vegetación permanente no existe ninguna alteración física periódica, como sucede en áreas de cultivo. Para calcular el factor *C* en coberturas permanentes debe considerarse la altura efectiva del follaje, el porcentaje de cobertura por follaje y la cobertura por residuos y vegetación en contacto directo con el suelo (Wischmeier y Smith, 1978).

Se debe tener especial cuidado en el uso de la ecuación en los siguientes aspectos: a) las condiciones a evaluar deben definirse claramente, para que los valores seleccionados representen las condiciones estudiadas, y b) si la ecuación se usa para generar datos de pérdida de suelo y correlacionarlos con otros parámetros como la deposición o sedimentación, la precisión en la evaluación del factor es fundamental, por lo tanto debe ejercitarse un mayor juicio en la selección de los valores del factor, considerando las diferencias de promedios y condiciones de las operaciones normales de campo; reconvertir una práctica de manejo no desaparece los efectos residuales en forma inmediata, la influencia del sistema precedente puede permanecer por varios años (Hernández, 2001).

2.8.6. Medición de la cobertura vegetal

Coberturas arbórea y arbustiva. En algunos tipos de vegetación muchas de las especies presentan una forma de crecimiento que hace más difícil distinguir los límites entre plantas individuales; esta característica hace inadecuada la aplicación de los métodos del cuadrado o de puntos en cuadrante en tales comunidades (Hernández, 2002). Para solventar este inconveniente se creó el "método de intercepción en línea". Este método fue propuesto por primera vez por Canfield (1941), presentándolo como un método adecuado y comparativamente rápido para obtener estimaciones relativas de cobertura y frecuencia en comunidades de poca altura en las que las plantas presentan follajes más o menos compactos (Flores, 1980 y Franco *et al.*, 1995). Este autor se basó en sus experiencias en pastizales de climas áridos y semiáridos, para los cuales fue creado su método, el cual se define como "el procedimiento para muestrear vegetación basándose en la medida de intersección de cada una de las plantas que ocurren sobre cursos de línea de igual longitud localizadas al azar dentro de la totalidad del pastizal". Para este tipo de ecosistemas de vegetación rala R. H. Canfield propuso líneas con un

largo promedio de 40 metros, y que debían agregarse tantas líneas secuenciales de la misma dimensión como fuera necesario hasta cubrir el área estudiada. Sin embargo, Martínez (1960) expuso que la escasez o abundancia de plantas y el grado de heterogeneidad en su distribución influencian la longitud requerida de la línea, y que es el número de líneas el que varía según lo hace la vegetación y el tamaño del área.

Coberturas herbácea y de mantillo. Para las comunidades vegetales herbáceas se acostumbra obtener el área mínima de muestreo antes de realizar cualquier estudio ecológico. El área mínima de una comunidad se define como el área más pequeña que representa adecuadamente la composición de especies de la comunidad. El tamaño depende de la comunidad que se estudie y varía entre amplios límites. Preferentemente, el área mínima debe establecerse para una comunidad tipo y solamente para una comunidad perteneciente a ese tipo; esto significa que el área mínima debe determinarse en varias comunidades similares. Ya que se ha determinado el área mínima de la comunidad, pueden efectuarse los estudios que conduzcan a la caracterización de la comunidad bajo estudio (Hernández, 2002).

Franco *et al.* (1995) mencionan que existen dos escuelas ecológicas en cuanto a la forma de colectar los datos en campo. Una de ellas denominada "semicuantitativa" surgió en Europa Central y estima los parámetros comunitarios de acuerdo a una escala arbitraria de números ascendentes. La otra tendencia que es la Escuela Americana que trata de asignar un valor preciso y dimensional a cada uno de los parámetros cuantitativos de la comunidad.

Uno de los métodos más utilizados en la escuela cuantitativa es el "método del cuadrado" o "método del cuadrante", el cual permite determinar con precisión la densidad, la cobertura y frecuencia de las especies dentro de la comunidad, y con base en esos datos destaca la importancia relativa de cada una de ellas (Hernández, 2002; Weaver y Clements, 1944; Williams, citado por Tothill, 1977). El método del cuadrante no necesita forzosamente de áreas en forma cuadrada o rectangular, sino que pueden emplearse áreas con otras formas geométricas que delimiten una superficie constante y conocida (Hernández, 2002).

2.8.7. Factor prácticas de conservación (*P*)

Cuando se introduce el cultivo en un suelo con pendiente, en ocasiones se utilizan prácticas mecánicas que reducen el agua de escurrimiento y por consecuencia la cantidad de suelo que puede transportar. Las más importantes de estas prácticas son el surcado al contorno, el cultivo en fajas al contorno y los sistemas de terrazas (Figueroa *et al.*, 1991).

Por definición, el factor P de la ecuación universal es la relación entre la pérdida de suelo con una práctica de conservación a la pérdida correspondiente en un terreno bajo cultivo en el sentido de la pendiente (Figueroa *et al.*, 1991).

Factor P por terrazas. Las terrazas reducen la erosión laminar y canalillos en el intervalo de la terraza al dividir la pendiente en longitudes menores. Además, la disposición del sedimento a lo largo de la terraza remueve mucho del sedimento erosionado en el intervalo, en particular si la terraza es a nivel con los extremos cerrados. De esta manera, las terrazas preservan el suelo y permiten conducir el escurrimiento a velocidades no erosivas fuera del terreno (Figueroa *et al.*, 1991).

Dentro de los diferentes tipos de terrazas que existen, las más conocidas son las terrazas individuales y las terrazas continuas.

2.9. CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN DE LA LITERATURA

Se asume por numerosos autores que la agroforestería es superior a otros sistemas de uso de la tierra en cuanto a la conservación del suelo porque se ha demostrado que mejora las propiedades físicas del suelo y mantiene la materia orgánica, reduciendo con ello la pérdida de suelo y la lixiviación de nutrimentos o pérdida de los mismos en el escurrimiento. No obstante, aun existen pocos datos disponibles que validen cuantitativamente estas afirmaciones.

Las plantaciones de café bajo sombra son sistemas agroforestales que imitan la estructura de un bosque natural, con las consiguientes ventajas ecológicas. La productividad de los cafetales bajo sombra es siempre menor a la que se obtiene en los

cultivos de café a pleno sol, sin embargo, los primeros presentan mayor sustentabilidad, ya que se mantienen productivos por más tiempo y conservan mejor los recursos (agua, suelo, planta). Las especies utilizadas como árboles de sombra para el café deben cumplir ciertos requerimientos para ser compatibles con el cultivo desde el punto de vista económico y ecológico. Los beneficios o daños que el café pueda recibir de los árboles de sombra, dependen de las especies utilizadas en su manejo. Son más los efectos benéficos que los adversos proporcionados por los árboles de sombra en los cafetales, pero de ambos tipos de efectos hacen falta más estudios antes de que sean completamente aceptados.

La mayor parte del café que se produce en México se da en pequeña escala, dado que la mayor parte de sus productores son familias campesinas pobres e indígenas, que poseen predios con menos de cinco hectáreas en promedio. La producción de café es la principal actividad económica de este tipo de productores. En la República Mexicana predomina el sistema de producción de café bajo sombra, donde resaltan el "sistema rusticano o de montaña" y el "policultivo tradicional". El primero es el más parecido a las condiciones del café en estado silvestre; este sistema ya casi no se practica en México debido a la ausencia de masas grandes de vegetación natural y a su poca producción. El segundo ha sido adaptado por grupos de productores indígenas que utilizan tecnologías tradicionales y que desean mejorar la producción de sus parcelas diversificando sus productos y conservando mejor el suelo y agua.

La erosión hídrica de tipo pluvial es la principal forma de degradación del suelo en México. Esta forma de erosión es particularmente agresiva en zonas tropicales y en terrenos con pendientes pronunciadas, debido al régimen climático de esas regiones y a la topografía que contribuyen a acelerar el proceso. El efecto social negativo que se produce como consecuencia de ello se acentúa por el hecho de que precisamente en estas zonas marginadas es donde cultivan los productores de café más pobres de nuestro país.

Técnicamente, el suelo es un recurso renovable, pero puede convertirse en no renovable por agotamiento. La importancia de su conservación radica principalmente en que su renovación es muy lenta mientras su degradación puede ser mucho más rápida. La razón

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH.

principal de la conservación de suelos es el mantenimiento de su fertilidad para sostener una producción de cultivos indefinidamente.

Entre las principales variables edáficas o características físicas del suelo que ayudan a explicar el escurrimiento, y que están relacionadas entre ellas, figuran: la densidad aparente, el contenido de humedad y la infiltración.

En cuanto a la pérdida de nutrimentos, los trabajos reportados en esta revisión de la literatura respectiva demuestran que los sistemas agroforestales (o los que se parecen a ellos), son más eficientes para evitar la salida de sustancias nutritivas del ecosistema que los sistemas de cultivo convencionales. No obstante, hacen falta más trabajos que aporten datos cuantitativos para validar esta premisa.

En las regiones tropicales, los eventos de lluvia son más erosivos que los de las zonas templadas, debido principalmente a la mayor frecuencia de lluvias de alta intensidad, mayor velocidad del viento y más amplia distribución de las gotas de lluvia. La mayor parte de las lluvias tropicales caen en la categoría de tormentas "erosivas", mientras que en climas templados, sólo del 5 al 10% lo son.

Para evaluar el factor "R" de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) se utilizan diversos índices de erosividad. Los más importantes son: Índice de Wischmeier (EI_{30}), Índice de Hudson (KE>25) e Índice de Lal (AI_m); el primero es el más conocido y el precursor de los demás índices de erosividad conocidos y utilizados en todo el mundo. El EI_{30} fue creado para las condiciones climáticas de Estados Unidos y suelos de pendientes suaves. La mayoría de los demás índices han sido modificaciones del índice de Wischmeier sólo que adaptados a regiones tropicales, donde las lluvias erosivas son mucho más abundantes. El factor "C" está determinado por la cobertura vegetal presente sobre el suelo. La literatura reporta que tanto la hojarasca como las coberturas vegetales vivas constituyen la mejor defensa contra la erosión, aunque los árboles pueden redistribuir adversamente la precipitación. La cantidad de suelo erosionado depende del porcentaje de suelo sin protección; la variación en la densidad de cobertura puede tener más influencia sobre la erosión que cualquier otro factor de manejo. Las labores realizadas en el cultivo así como el tipo y cantidad de la cobertura son determinantes

porque alteran las propiedades físicas y químicas del suelo, y modifican su erosionabilidad. Cuando se estudia la erosión del suelo en terrenos con pendiente debe considerarse la presencia o ausencia de prácticas de conservación para calcular el factor "P".

Con base en lo anterior se puede concluir lo siguiente:

a) Aún no se cuentan con suficientes datos cuantitativos sobre la pérdida de suelo en las condiciones físicas específicas.

b) En sistemas agroforestales de café bajo sombra no se tienen suficientes datos cuantitativos para validar sus ventajas sobre los sistemas convencionales en el control de la erosión.

c) El sistema agroforestal de café bajo sombra es uno de los más practicados por la mayoría de los productores de café, que también corresponden a los más pobres, y que laboran en el 92% de la superficie total del país dedicada a este cultivo.

3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1. Objetivo General

Evaluar la erosión hídrica y validar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) en sistemas agroforestales de café bajo sombra, para contribuir al uso racional de los recursos naturales.

3.2. Objetivos específicos

1) Determinar el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra para evaluar la eficiencia de las prácticas de manejo.
2) Aplicar la EUPS y comprobar su utilidad en sistemas agroforestales de café bajo sombra.

3.3. Hipótesis

1) En sistemas agroforestales de café bajo sombra no son necesarias las prácticas de conservación de suelos.
2) La EUPS no se puede aplicar en sistemas agroforestales de café bajo sombra.

3.4. Supuestos

1) El muestreo de la lluvia y volumen de escurrimiento con el pluviómetro automático y los tanques muestreadores, respectivamente, es adecuado y confiable para estimar la relación precipitación-escorrentía.
2) La instrumentación y metodología de muestreo que se utilizó a lo largo del año de experimentación fueron suficientes y adecuados para medir la cobertura vegetal, algunas características físicas del suelo, los escurrimientos superficiales y la pérdida de suelo, así como la relación entre estas variables, en El Coyol, Tlachichilco, Veracruz.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1.1. Localización del área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la comunidad de El Coyol, municipio de Tlachichilco, Ver. (Figura 1). Sus coordenadas geográficas son 20° 40' 32'' LN y 98° 10' 12'' LW (SPP, 1983a). El municipio se localiza en el norte del estado, en la región Huasteca Alta; limita al norte con el municipio de Zontecomatlán, al sur con el estado de Hidalgo, al este con el municipio de Ixhuatlán de Madero, al oeste con los municipios de Zacualpan y Texcatepec. El municipio tiene una extensión territorial de 291.18 km^2; está conformado por dos comunidades agrarias y seis ejidos, que abarcan un total de 67 localidades. La altitud promedio es de 861 m (SEGOB, 1988 y 2001; INEGI, 2000).

4.1.2. Características del medio natural

La región de la Huasteca Alta forma parte de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, la cual se caracteriza por presentar una topografía abrupta, siendo mayor hacia el este que hacia el oeste (SPP, 1983a).

La precipitación media anual es de 2000 mm y la isoterma media anual es de 22° C, por lo que el clima es semicálido húmedo entre los 500 y 1000 msnm (SPP, 1983b), que es el intervalo en el que se ubica el área de estudio.

Por el municipio pasan ríos de caudal corto que vierten sus aguas al río Viñasco que cruza al municipio de Tlachichilco de poniente a norte (SEGOB, 1988).

Los suelos de la zona de influencia de la comunidad de El Coyol, por lo general tienen un estrato superficial muy rico en materia orgánica. En las áreas donde predominan las lutitas en la parte superior, se tienen suelos más arcillosos y con mal drenaje interno, lo que genera condiciones de saturación en buena parte del año, desde los 50 cm a más profundidad, así como una permeabilidad muy lenta con altos escurrimientos.

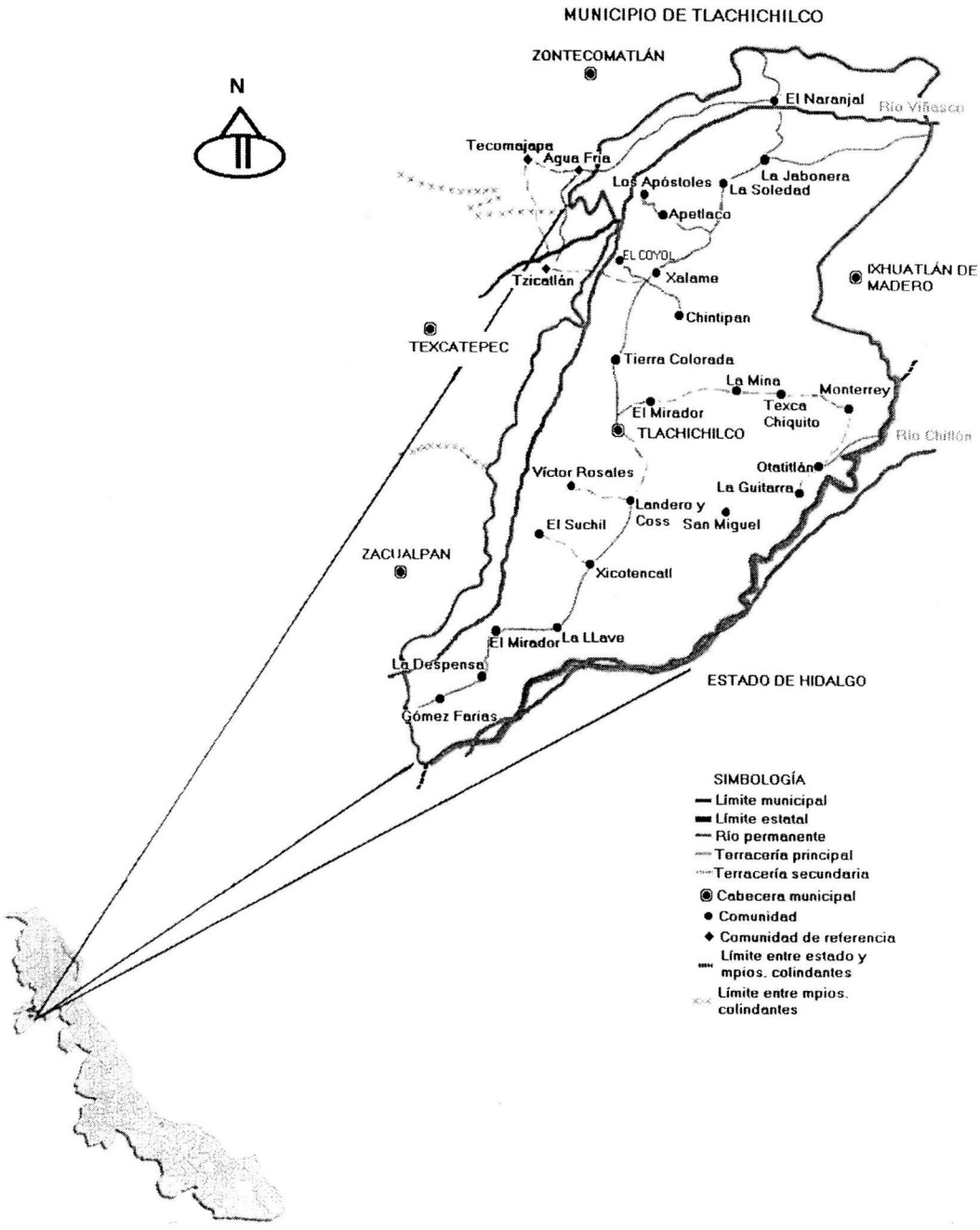


Figura 1. Ubicación geográfica de la comunidad de El Coyol, Tlachichilco, Ver. (García, 1999).

En investigación precedente Hernández (2001) reportó la clasificación edafológica específica en dos sitios representativos de la zona de estudio, que corresponden a los tratamientos que se estudiaron en este experimento como se indica más adelante.

Mayores detalles de este estudio edafológico se encuentran en la tesis de Hernández (2001).

Sitio I. De acuerdo con el sistema del USDA (Soil Survey Staff, 1998), el suelo del sitio 1 se clasifica en el orden Mollisol, como consecuencia de que su capa superficial y la subyacente son muy ricas en materia orgánica y de colores oscuros; además, a pesar de que el pH del suelo a lo largo del perfil es ácido a moderadamente ácido, la saturación de bases es alta y no presenta problemas con la acidez intercambiable. Se cuenta con humedad aprovechable en la zona de influencia al perfil del suelo la mayor parte del año, siendo el déficit de la misma menor de 90 días acumulativos, por lo que su régimen de humedad es Údico siendo el suborden Udoll. A nivel de subgrupo se indica que se tienen condiciones de saturación del suelo a una profundidad mayor de los 40 centímetros, en buena parte del año lo que se aprecia por los colores de la matriz del suelo en estas capas, sobre todo a profundidades mayores de los 63 cm, resultando un Oxiacuic haludoll.

De acuerdo con el sistema FAO (1998) y considerando las características descritas con anterioridad, en las que se denota la capa superficial rica en materia orgánica, colores oscuros y la condición de mal drenaje a partir de los 43 cm, el suelo corresponde a la unidad Phaeozem subunidad gleyico.

Sitio II. De acuerdo con el sistema USDA (Soil Survey Staff, 1998), el suelo del sitio 2 se clasifica en el orden Inceptisol, dado que la capa superficial rica en materia orgánica sólo tiene 15 cm de espesor y la capa subyacente a pesar de que también es rica en materia orgánica sus colores son menos oscuros que los que se requieren para que el horizonte sea Mólico. El segundo y tercer horizonte se consideran como Cámbicos debido a la acumulación de arcilla y los colores rojizos (del tercer horizonte). A nivel de suborden el régimen de humedad Údico es característico de estos suelos, aunque con tendencia a que sea mayor el número de días en que la sección control del suelo presente mayor déficit de humedad que los anteriormente descritos. A nivel de gran grupo se refleja que a pesar de que el pH del suelo sea moderadamente ácido, la saturación de bases es alta y no se tienen problemas de acidez intercambiable, por lo que se denota como un Eutroudepts, que señala la buena fertilidad del mismo. A nivel de subgrupo es

el típico de estos suelos por lo que en el nombre de la taxa resulta como Typic eutroudepts.

De acuerdo al sistema FAO (1998) y considerando las características descritas con anterioridad, el suelo del sitio 2 pertenece a la unidad de los Cambisoles como consecuencia de la presencia del horizonte cámbico y a la unidad de los crómicos por el color del tercer horizonte cuyas características son de un alto grado de oxidación debido al flujo lateral del agua a través de él, tomando en cuenta también el buen nivel de fertilidad del suelo cuya capa superior es muy rica en materia orgánica y alta saturación de bases. Así, el suelo corresponde a la unidad Cambisol subunidad crómico (ortieutrico) (CMx).

La vegetación predominante del municipio de Tlachichilco corresponde a la región biogeográfica del "bosque tropical perenne" (Bassols, 1987). Actualmente la vegetación natural en la zona se encuentra muy perturbada, por la actividad agrícola y ganadera. Las características climáticas locales son favorables para la agricultura que se puede llevar a cabo casi ininterrumpidamente por la abundancia de agua y los fotoperiodos largos. Una de las principales limitantes de la región para las actividades productivas es el relieve accidentado del terreno y las propiedades del suelo que a menudo no son las adecuadas para una agricultura intensiva; el único tipo de agricultura que puede practicarse con cierto éxito es el cultivo intermitente que afecta fuertemente a la vegetación, el cual es un sistema de agricultura seminómada, característico de muchas áreas del este y sureste de México. Este consiste en la secuencia de desmonte, incendio, siembra de maíz durante una o algunas temporadas sucesivas y abandono por unos años, al cabo de los cuales se repite el mismo proceso. El resultado de esta práctica es la afectación de enormes extensiones de terreno de los cuales desaparece el bosque original y el área se convierte en un mosaico formado por una serie de comunidades vegetales secundarias de tipo herbáceo, arbustivo y arbóreo, conocidos comúnmente como "acahuales" (Rzedowski, 1988).

4.1.3. Características sociales

El municipio de Tlachichilco de acuerdo a la SEGOB (2001), se considera de alta marginación. Debido a ello, el índice de población analfabeta es alto, ya que por problemas económicos la gente en edad de estudiar no lo hace por contribuir a temprana edad al ingreso familiar (INEGI, 1991; INEGI, 1997b).

El municipio de Tlachichilco es principalmente rural, con una importante composición étnica integrada en orden de importancia por las culturas Tepehua, Otomí y Náhuatl. Aunque la población de la región posee un amplio conocimiento tradicional del manejo integrado de los recursos naturales, que emplea métodos menos intensivos en favor de la regeneración de los ecosistemas y del reciclaje de nutrimentos, en los últimos años se ha empezado a sentir una fuerte y negativa influencia de procesos de transculturización, como la emigración de la población joven que se dirige en busca de trabajo a centros urbanos de desarrollo, como Monterrey, Reynosa, Ciudad Victoria y el Distrito Federal, o a ciudades importantes del noreste de los Estados Unidos, como Nueva York, Chicago y algunas del estado de Carolina del Sur. Cuando estos trabajadores regresan eventualmente a su lugar de origen llegan con nuevos elementos culturales que transmiten a sus familias y en general a toda la comunidad (INEGI, 1996; INEGI, 1997a). En cuanto a la religión, la comunidad de El Coyol, donde se establecieron los experimentos, practica la religión protestante conformando una pequeña secta evangélica, mientras que todas las comunidades a su alrededor son católicas. Para mayor información sobre las características sociales del municipio de Tlachichilco, consultar la tesis de Hernández (2001).

4.1.4. Características económicas

La economía de Tlachichilco de acuerdo a (SEGOB, 2001) se basa en el sector primario (87.5%), principalmente en el cultivo de maíz y café. Actualmente el bajo precio del café afecta significativamente la economía de los productores, lo que promueve la emigración.

De la población ocupada, la mayor parte se canaliza hacia el sector primario con un 90.7%, el sector secundario y terciario, se integra por el restante 9.3%. De esta población

el 84.5% percibe menos de un salario mínimo, situación que refleja la pobreza del campo en el municipio (INEGI, 1997b; SEGOB, 2001).

La actividad agrícola es de temporal y la producción se destina principalmente al autoconsumo. El principal cultivo con fines comerciales para la población indígena de la región es la cafeticultura. Los principales cultivos restantes son el maíz, el frijol, el chile, la naranja, la mandarina y otros que forman parte de la dieta local; en el caso de la naranja se tiene una producción importante pero no existen los canales de comercialización. El tipo de manejo de la tierra en Tlachichilco es rústico, con un uso muy reducido de agroquímicos y apoyada con las herramientas de trabajo básicas, debido a los bajos ingresos de los productores facilita, no obstante, la sustentabilidad ecológica del recurso suelo. La actividad ganadera ha adquirido importancia en el municipio durante los últimos años. La ganadería de bovinos que se práctica es de doble propósito y de tipo extensivo. La actividad forestal es escasa, debido a que se producen pocas especies de importancia comercial. En la región, el aprovechamiento forestal se orienta básicamente a la satisfacción de necesidades locales: construcción, producción de muebles y obtención de leña (Hernández, 2001).

4.2. MANEJO DE LOS CAFETALES EN LA COMUNIDAD DE EL COYOL

El manejo de las parcelas de café en la comunidad de El Coyol obedece principalmente a dos aspectos desde el punto de vista técnico: 1) las labores que tradicionalmente han manejado una gran parte de los productores desde hace muchos años (sistema rusticano), y 2) la inclusión en sus parcelas de técnicas de cultivo mejoradas y la utilización de prácticas de conservación del suelo (policultivo tradicional mejorado), que han sido aprendidas a través cursos de capacitación y talleres impartidos a los agremiados de la UENOT (Unión de Ejidos Náhuatl-Otomí-Tepehua), así como la labor desempeñada por los promotores de agroecología y los técnicos provenientes de diferentes instituciones de educación y de gobierno.

En otro sentido, los aspectos naturales de la región también han determinado el tipo de manejo que actualmente se le da a los cafetales. La geografía física (con una topografía muy irregular) una precipitación muy alta y erosiva en buena parte del año, y la geografía biológica (la distribución natural de especies nativas de árboles y arbustos de

uso múltiple, además de los introducidos), han sido determinantes para que halla tenido buena aceptación hasta el momento la combinación de métodos tradicionales de cultivo y las nuevas tecnologías mejoradas. Entre las especies de árboles y arbustos, tanto nativas como introducidas asociadas al café en la región, figuran el chalahuite chico y de bejuco, el zapote amarillo, el palo de agua, el jobo, el ramón, el cedro rojo, la naranja, el quebrache, la guásima, el plátano, el pioche, el rabo de cojolite, el cafecillo, el palo blanco, el curtidor, la chaca, el palo de olí, la tesgua, el guaxem, el capulincillo, el huevo de gallo, el tronador, la macadamia, el aguacate, el jobo prieto, la pimienta, el xalame y xochitlcahuitl, entre otras. De todas estas especies, el chalahuite (*Inga spp*) es el más utilizado como árbol de sombra debido a la mayor densidad de su copa; otras especies mencionadas también se utilizan para dar sombra, aunque por el menor tamaño de su copa revisten menos importancia para ese fin. Sin embargo, dado que todas son especies de uso múltiple, algunos tienen mayor importancia para otros fines, como es el de producir madera para construcción, cercos vivos y muertos, uso medicinal, producción de fruto comestible, tutores para la vainilla, producción de especias, etc.

En cuanto a las variedades de café utilizadas se encuentran las de porte alto como la Typica, Bourbon y Mundo Novo, y los de porte bajo como la Catuaí, Caturra y Oro Azteca. En los tratamientos estudiados, con la variedad Typica utilizada en el sistema rusticano, se registró una densidad de alrededor de 1800 plantas por hectárea, mientras que con las demás variedades utilizadas en policultivo tradicional mejorado, el reporte fue de hasta más de 2200 plantas por hectárea (Hernández, 2002), con lo que se confirma lo reportado en la literatura por Arellano (1990), quien afirma que las variedades de porte bajo se pueden utilizar con densidades más altas. En general, el distanciamiento entre cafetos más utilizado en El Coyol es el de 2.5 x 2.5 m (1600 plantas por hectárea en promedio). El arreglo topológico utilizado es el de tres bolillo, marco real o curva a nivel.

Por lo que se refiere a los árboles de sombra, el distanciamiento encontrado es más bien irregular, por lo que suelen encontrarse altas densidades, lo que muchas veces produce un exceso de sombra para el café.

Las labores culturales en los cafetales de El Coyol se realizan completamente en forma manual, utilizando herramientas como el machete, la lima, la pala, el talacho, el cavahoyos y la barreta (Cuadro 1).

4.3. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS Y TRATAMIENTOS ESTUDIADOS

El estudio se realizó en dos sistemas de producción de café bajo sombra, característicos del municipio de Tlachichilco. Los sistemas son: el Sistema Rusticano que utiliza como árboles de sombra especies nativas y de gran tamaño, el cual se consideró como sistema testigo y el Policultivo Tradicional Mejorado que es un sistema bajo sombra con un estrato arbóreo y arbustivo compuesto por diversas especies de usos múltiples con una arquitectura irregular, donde la especie que domina es el café, los productos de las especies asociadas con el café se destinan al autoconsumo.

Cuadro 1. Labores culturales que se realizaron durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Actividad	Descripción	Mes (es) en que se realizó la práctica
Control de hierbas	Se realizó dos veces durante el año; consistió en la eliminación de la maleza en la plantación de café ("chaponeo").	Julio y octubre
Poda y deshije del café	Esta práctica se realizó cuando terminó la cosecha del ciclo 2000, antes de la floración. Con la poda se eliminaron las ramas maltratadas y muertas. El deshije consistió en la eliminación de chupones (brotes) que no produjeron.	Marzo y abril
Regulación de la sombra	Se eliminaron las ramas que producían demasiada sombra al café.	Marzo y abril

4.3.1. Características de las parcelas experimentales

Los aspectos más representativos de cada uno de los tratamientos estudiados se muestran en el Cuadro 2. El área de cada una de las parcelas fue determinada por Hernández (2001).

Cuadro 2. Características de los tratamientos estudiados.

PARÁMETRO	TRATAMIENTO				
	T1	T2	T3	T4	T4
Tipo de sistema agroforestal de café	Sistema rusticano	Policultivo tradicional mejorado con barreras vivas de palo de agua (*Eupatorium morifolium* Mill) y terrazas individuales.	Policultivo tradicional mejorado con cobertura de canavalia (*Canavalia ensiformis* (L.) De Candolle).	Policultivo tradicional mejorado con cobertura de cacahuatillo (*Arachis pintoi* Krap & Greg nom. nud. (Cook)).	Policultivo tradicional mejorado con barreras vivas de palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart), y palo de agua (*Eupatorium morifolium* Mill).
Productor cooperante	Rosendo Rivera Cruz	Clemente Rivera Rufino	Francisco Senobio Montes de Oca	Silvano Rivera Galván	Fernando Rivera Vicente
Tipo de suelo	Mollisol (USDA 1998) o Phaeozem gleyico (FAO-UNESCO 1998)	Mollisol (USDA 1998) o Phaeozem gleyico (FAO-UNESCO 1998)	Inceptisol (USDA 1998) o Cambisol crómico (FAO-UNESCO 1998)	Inceptisol (USDA 1998) o Cambisol crómico (FAO-UNESCO 1998)	Inceptisol (USDA 1998) o Cambisol crómico (FAO-UNESCO 1998)
Área (m^2)	723	373	293	267	515
Perímetro (m)	114.5	85.8	77	70	89
Desnivel (m)	10	8	12	6	5
Longitud (m)	42.5	34	33	18	27
Pendiente (%)	28	38	42	37	30
Altitud (m)	569	570	600	595	545
Edad del cafetal (años)	60	15	5	14	13
Variedad de café cultivada	Criolla (Typica)	Garnica, Catuaí, Bourbon y Oro Azteca	Oro azteca, Bourbon y Garnica	Catuaí y Garnica	Catuaí, Garnica y Mundo Novo

Cuadro 2. Continuación.

PARÁMETRO	TRATAMIENTO				
	T1	T2	T3	T4	T4
Árboles de sombra	chalahuite de vaina grande (*Inga jinicuil* G. Don), chalahuite negro (*Inga sp.*), zapote amarillo (*Pouteria campechiana* Kunth), naranja criolla (*Citrus* sp.), cedro rojo (*Cedrela odorata*), tempesquite, palo de agua (*Dendropanax arboreus* (L) Planch et Decne).	chalahuite de vaina grande (*Inga jinicuil* G. Don), pioche (*Melia azedarach* L) y jobo (*Spondias mombin* L), además existen otros cultivos en la parcela: plátano (*Musa* sp.), macadamia (*Macadamia sp.*) y cedro rojo (*Cedrela odorata*).	tesgua (*Miconia argentea* (Sw) Dc), ramón (*Brosimum alicastrum* Sw), guazima (*Guazuma ulmifolia* Lam), guaxem, jonote (*Heliocarpus donell-smithii* Rose), rabo de cojolite y chaca (*Bursera simaruba* (L) Sarg). chalahuite chino (*Inga* sp.), chalahuite negro (*Inga* sp.) y chalahuite de vaina grande (*Inga jinicuil* G. Don)	chalahuite de vaina grande (*Inga jinicuil* G. Don), huevo de gallo o chaca (*Bursera simaruba* (L) Sarg) y naranja tardía (*Citrus* sp.)	xochitlcauhitl (*Cordia alliodora*), chalahuite de vaina grande (*Inga jinicuil* G. Don), cedro rojo (*Cedrela odorata*), aguacate criollo (*Persea* sp.), pioche (*Melia azedarach* L), candalilla.
Trazo de la plantación	Marco real	Curvas a nivel y tres bolillo	Marco real	Marco real	Curvas a nivel
Distancia de trasplante (m)	2.0 – 2.5	2.5	2.5 x 2.0	2.5 x 2.0	2.0

La cosecha del café se lleva a cabo cuando el fruto está maduro. Durante el ciclo se realizaron dos cortes en los tratamientos T1, T2 y T3, y tres cortes en los tratamientos T4 y T5. En los primeros cortes (llamados "de selección") se escogieron solo los frutos más maduros, mientras que en el último (llamado "de arrastre") se terminó de cosechar el resto de la cereza que quedó en la planta. La cosecha se realizó de noviembre a enero, como tradicionalmente se hace.

Por otra parte, es importante mencionar que ante la baja en los precios del café, los miembros de la UENOT decidieron en los últimos años darle a sus cafetales un manejo completamente orgánico, libre de fertilizantes y plaguicidas químicos. Este es otro de los aspectos importantes que caracteriza el tipo de manejo que se le da al café en El Coyol. De hecho, la categoría de café totalmente orgánico, fue reconocida recientemente por la OCIA (*Organic Crop Improvements Association*). La razón de esta medida por parte de los ejidatarios de la región fue la de impulsar más fuertemente la aceptación de su producto en el mercado, además de obtener un mejor precio por el mismo. A la par, también disminuyeron los costos de los insumos.

4.4. DETERMINACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN, EL ESCURRIMIENTO Y LA PÉRDIDA DE SUELO

4.4.1. Precipitación

Para el registro de la precipitación pluvial se utilizó un pluviómetro electrónico marca *Davis* previamente calibrado por Hernández (2001) . Este pluviómetro consistió en un sistema de balancín conectado a un contador digital que registró la acumulación sucesiva de 0.2 mm de precipitación en un sistema de memoria computarizado, registrando además el tiempo transcurrido entre una acumulación de lluvia y otra. Los datos de este pluviómetro fueron bajados periódicamente en una computadora portátil ("lap top"), y mediante un "software" especial se pasaron en gabinete directamente al programa Excel de Windows®. Mayores detalles sobre el mecanismo de este aparato se reportan por Hernández (2001). La precipitación se registró de enero a diciembre de 2001.

El análisis de la lluvia se realizó determinando algunos parámetros de su intensidad.

Intensidad media aritmética (mm/h). Este parámetro se obtuvo por evento de lluvia, sumando los valores de intensidad (mm/h) de todos los intervalos de lluvia y dividiendo la suma entre el número total de intervalos.

Intensidad media total (mm/h). Este parámetro se obtuvo por evento de lluvia, sumando los valores de lámina precipitada (mm) de todos los intervalos de lluvia y dividiendo la suma entre el tiempo total acumulado (min) considerando todos los intervalos y multiplicando el resultado por 60 para expresarlo en horas.

Intensidad mediana (mm/h). Este parámetro se obtuvo por evento de lluvia, obteniendo la mediana entre los valores de intensidad (mm/h) de todos los intervalos del evento de lluvia.

Intensidad media podada al 50% (mm/h). Este parámetro se obtuvo por evento de lluvia, sumando los valores de intensidad (mm/h) ordenados de mayor a menor, de los intervalos de lluvia que quedaron después de eliminar el 25% de intervalos de cada extremo de la distribución de los mismos, y dividiendo la suma entre el número de intervalos considerados.

Intensidad media podada al 40% (mm/h). Este parámetro se obtuvo por evento de lluvia, sumando los valores de intensidad (mm/h) ordenados de mayor a menor, de los intervalos de lluvia que quedaron después de eliminar el 20% de intervalos de cada extremo de la distribución de los mismos y dividiendo la suma entre el número de intervalos considerados.

Estos parámetros fueron correlacionados y regresionados con la precipitación y con la pérdida de suelo mediante el programa Excel de Windows®, y usados para calcular el índice de erosividad AI_m de Lal (1979).

4.4.2. Escurrimiento

Para medir el escurrimiento se colocó en cada parcela un vertedor tipo "H" con capacidad de 12 L s^{-1} y cuatro tanques colectores escalonados (Figuras 2 y 3) en el siguiente orden:

Tanque 1 con 20 ventanas. Este tanque condujo la vigésima parte del escurrimiento al tanque 2 a través de una de sus ventanas que estaba conectada a una canaleta (Figuras 2 y 3), cuando el volumen de agua colectado en este tanque sobrepasó los 120 litros, el resto se derramó a través de las demás ventanas.

Tanque 2 con 10 ventanas. Este tanque captó la vigésima parte del escurrimiento derramado del tanque 1. Cuando el volumen de agua colectado en este tanque sobrepasó los 120 litros, se envió la décima parte al tanque 3 y el resto se derramó a través de las ventanas adyacentes.

Tanques 3 y 4 sin ventanas. Su capacidad fue de 100 y 110 litros, respectivamente. El tercer tanque captó la vigésima parte del volumen derramado del tanque 2, y a su vez dejó pasar todo el volumen excedente al tanque 4, ya que estos tanques tenían una única salida. La idea de colocar los tanques 3 y 4 fue una medida de prevención en caso de que el volumen de agua escurrida sobrepasara los tanques 1 y 2, lo cual sólo sucedió en el tratamiento T4 en 13 fechas (día/mes): 27/06, 03/07, 09/07, 10/09, 11/09, 12/09, 15/09, 22/09, 24/09, 25/09, 28/10, 17/11 y 18/11.

El diseño de los tanques 1 y 2 fue hecho exprofeso para este experimento. El número de ventanas se calculó en función del volumen de agua esperado.

Diariamente alrededor de las 8:00 horas después de un día lluvioso, se acudió a las parcelas y en caso de haber escurrimiento, se midió con una regla la lámina de agua captada en los tanques, anotándolo en la libreta de campo. Una vez medida la lámina de agua escurrida, se tomó una muestra de escurrimiento para determinar la concentración de sedimentos (Rodríguez *et al.,* 1994). Posteriormente se tiró el agua de los tinacos, dejándolos vacíos y limpios para captar el siguiente escurrimiento.

Para obtener los volúmenes colectados por los tanques, éstos se calibraron previamente midiendo sus alturas con volúmenes conocidos cada 20 litros hasta completar el máximo de 120 litros en los tanques 1 y 2, y de 100 y 110 litros en los tanques 3 y 4, respectivamente. Con estos datos se calculó una ecuación de regresión para cada uno de los 4 tanques en cada uno de los tratamientos. Las variables regresionadas fueron la altura conocida (variable independiente en centímetros) y el volumen correspondiente (variable dependiente en litros) (Figura A1 de Anexos).

El volumen de agua escurrida por tratamiento captada por los tanques y expresada en litros (L) se presenta en el Cuadro A9 de Anexos. Este volumen expresado en lámina (m) se multiplicó por el área (m^2) de la parcela experimental obteniendo el volumen escurrido en m^3 (Cuadro A10 de Anexos). Finalmente, el escurrimiento se expresó en volumen por hectárea y lámina en mm (Cuadros A11 y A12, de Anexos).

Figura 2. Equipo de muestreo de escurrimiento y pérdida de sedimentos colocado en cada uno de los tratamientos en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Coeficiente de escurrimiento. El coeficiente de escurrimiento (Cuadro A13 de Anexos) se determinó en función de la relación entre el volumen escurrido y el volumen llovido, utilizando la siguiente relación:

$$Ce = \frac{Q}{P} 100 \quad \ldots\ldots (9)$$

Donde:

Ce = Coeficiente de escurrimiento (%)

P = Precipitación total (mm)

Q = Volumen total escurrido (mm)

Pérdida de nutrimentos por escurrimiento. Con el propósito de determinar la pérdida de nutrimentos por escurrimiento (Cuadro A14 de Anexos) se analizaron en el laboratorio de física de suelos del Colegio de Postgraduados cinco muestras de agua escurrida correspondientes a cada uno de los cinco tratamientos, con fechas 14 de agosto

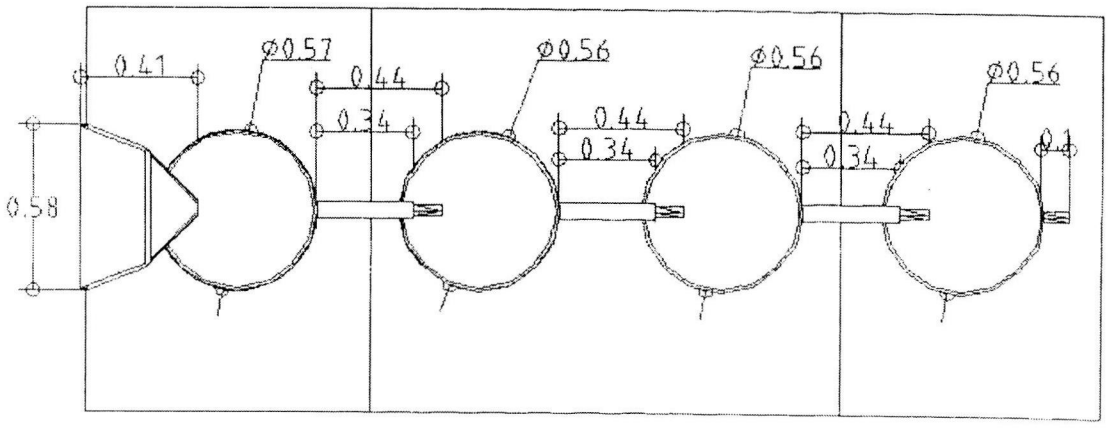
y 13 de septiembre del 2001. Se determinaron el pH, conductividad eléctrica, nitratos (NO^-_3) y potasio soluble (K^+), mediante los métodos del potenciómetro, potencial de conductividad, por nitración del ácido salicílico (Cataldo *et al.*, citados por Uribe-Gómez *et al.*, 2002) y de la flama, respectivamente. La conversión de unidades proporcionadas por el laboratorio a las unidades mostradas en la presente tesis se realizaron según Benson (1981). El procedimiento para realizar la conversión de unidades fue el siguiente:

Nitratos: El laboratorio proporcionó los valores del análisis en partes por millón (ppm), lo cual equivale a miligramos por litro o a kilogramos por metro cúbico, por lo que sencillamente se extrapolaron los datos a gramos por metro cúbico (g m^{-3}) y luego a kg ha^{-1} $año^{-1}$, considerando el volumen escurrido por tratamiento durante todo el año 2001 y el área de cada uno de ellos (Cuadro A14 de Anexos).

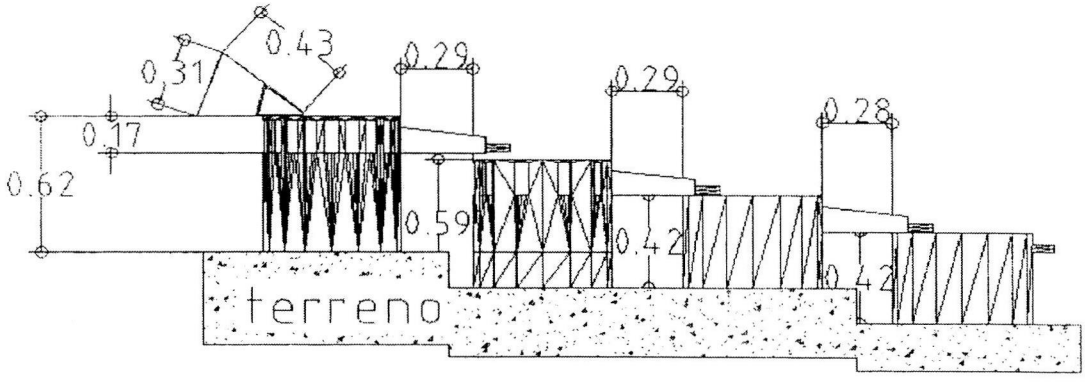
Potasio: El laboratorio proporcionó los datos en miliequivalentes por litro (meq L^{-1}); con estos valores se hizo la conversión a equivalentes por litro considerando el peso molecular del potasio, después se hizo la conversión a gramos por litro (g L^{-1}), de ahí a g m^{-3} y luego a kg ha^{-1} $año^{-1}$, considerando el volumen escurrido durante todo el año así como el área de cada tratamiento, como aparece en el Cuadro A14 de Anexos.

La pérdida de nutrimentos por tratamiento se analizó gráficamente y se relacionó con el escurrimiento mediante regresión con el programa Excel de Windows®.

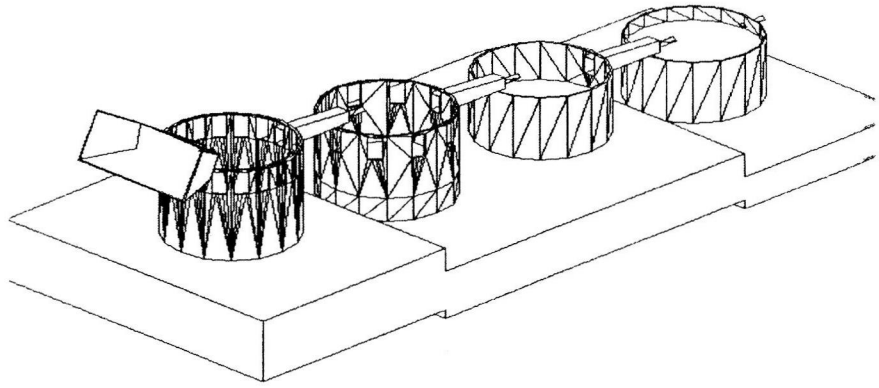
Condición de humedad antecedente. Para determinar la condición de humedad antecedente se acumuló la lámina precipitada de cinco días previos a partir de enero del 2001 (Cuadro A15 de Anexos); por ejemplo, para el cálculo de la condición de humedad antecedente (CHA) del día 1 de enero de 2001, se sumó la lámina de precipitación acumulada del 27 al 31 de diciembre del 2000, hubiera o no llovido. La lámina acumulada cada cinco días se ordenó según fuera el caso: CHA seca (0 - 12.7 mm), CHA intermedia (12.8 - 38.1 mm) y CHA húmeda (> 38.1 mm) (Cuadros A16, A17 y A18 de Anexos). Posteriormente, se relacionaron con la pérdida de suelo ocurrida bajo esa situación mediante la técnica de regresión en el programa Excel de Windows®.



Vista de planta



Alzado



Isométrico

Figura 3. Croquis del equipo de muestreo de escurrimiento y pérdida de suelo colocado en los tratamientos en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001. Todas las medidas se dan en metros.

4.4.3. Pérdida de suelo

La pérdida de suelo se determinó a partir de la concentración de sedimentos que presentaron las muestras de escurrimiento tomadas por tratamiento, siempre del tanque 1 (Cuadro A19 de Anexos). Para tomar las muestras de escurrimiento, igual que para el registro del escurrimiento, alrededor de las 8:00 horas después de un día lluvioso, se visitaron todas las parcelas. Después de medir la lámina de agua, se removió vigorosamente el agua dentro del tanque para uniformizar la cantidad de sedimento en toda la columna de agua, inmediatamente después se procedió a tomar una muestra de aproximadamente un litro.

Las fechas registradas en los botes con las muestras fueron las mismas que las consideradas para el escurrimiento y correspondieron al día en que fueron tomadas las muestras, es decir, el día siguiente a la precipitación correspondiente.

Una vez en el laboratorio, a los frascos que contenían las muestras se les aplicó una solución de sulfato de aluminio (alumbre) al 1% para decantar los sedimentos. Se agregaron 10 gramos de alumbre sólido por cada 1000 mL de agua. El alumbre se puso a calentar en agua en un vaso de precipitados de 1000 mL, utilizando una parrilla eléctrica, por un espacio aproximado de 5 minutos; se agitó periódicamente hasta que se disolvió por completo. Esta solución a su vez se aplicó también en proporción 1:100 a la muestra, es decir, aproximadamente 10 mL de solución a cada 1000 mL de muestra. Después de 24 horas se vació la mayor cantidad de agua posible de los frascos y el excedente con todo y sedimentos se colocó en frascos de vidrio de capacidad semejante (aproximadamente 1 litro), los cuales fueron previamente pesados y rotulados con los mismos datos, para ser secados en la estufa a 105 °C de 24 a 48 horas (Uribe Gómez *et al.*, 2002). Después de pesar los frascos de vidrio con el sedimento seco, el peso de este último se obtuvo por diferencia (Cuadro A19 de Anexos). Finalmente, se obtuvo el peso de los sedimentos en una balanza digital para calcular, con base al escurrimiento registrado en cada parcela, la pérdida total de suelo por evento. La salida de sedimentos por tratamiento fue expresada en gramos por litro de muestra, en kilogramos por evento de lluvia y en kilogramos por hectárea (Cuadros A19, A20 y A21 de Anexos, respectivamente).

La pérdida de suelo se analizó gráficamente y se relacionó mediante análisis de correlación y regresión con la precipitación, la intensidad de la lluvia, el EI_{30}, el KE>25, el AI_m, el escurrimiento, la velocidad de infiltración, la densidad aparente, el contenido de humedad, la erosionabilidad del suelo, la longitud y grado de la pendiente, y la cobertura arbórea, arbustiva, herbácea y superficial, con el fin de obtener parámetros que contribuyeran a explicar su comportamiento.

4.4.4. Características físicas del suelo

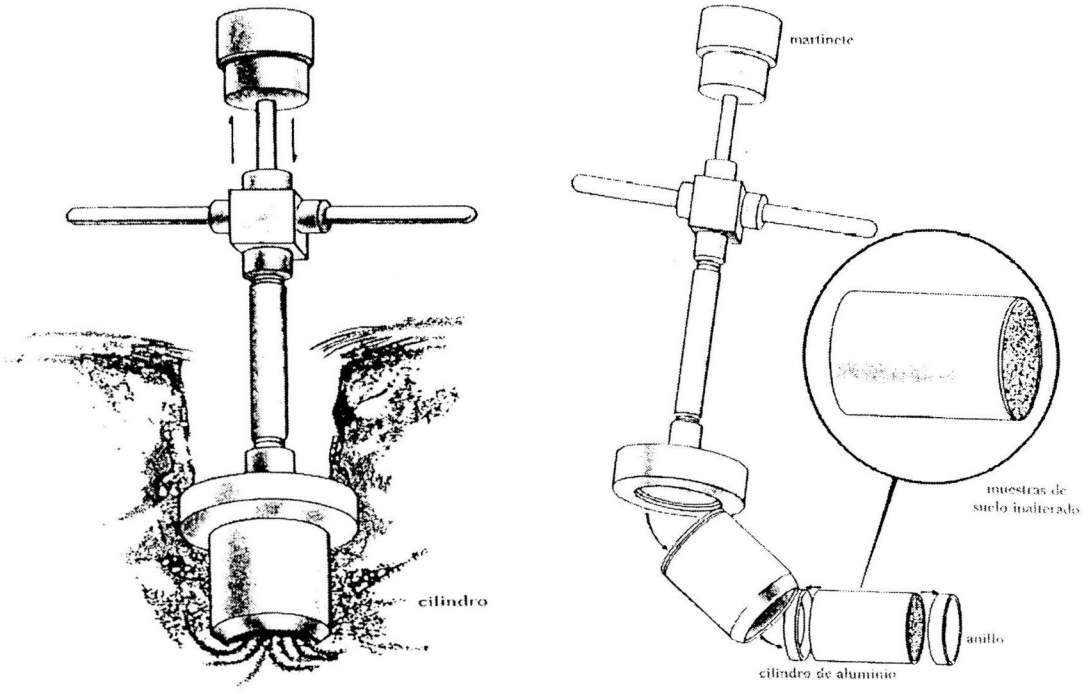
a) Densidad aparente

La densidad aparente (Dap) se determinó mediante el método de la barrena (Figuras 4 y 5, Cavazos y Rodríguez, 1992), a las profundidades de 0, 10, 30 y 60 cm con dos repeticiones (sitios) definidos aleatoriamente en cada tratamiento, los días 10 de julio y 10 de noviembre del 2001.

Primeramente se retiró el mantillo de la superficie del suelo para evitar interferencias. Acto seguido, se introdujo el cilindro de la barrena hasta su base. Luego se sacó y se destapó la barrena; los anillos con la muestra se extrajeron por la base de la misma y se cortó el suelo con una navaja afilada a la medida de cada uno de los anillos anchos (la barrena cuenta con dos anillos anchos de 2.95 cm de altura y tres de 0.8 cm de altura, con un diámetro de 5.58 cm). Se eligió el anillo ancho que contenía la muestra en mejores condiciones. Las muestras se colectaron en botes de aluminio con tapa de 4 x 6 cm previamente pesados. Estos botes se rotularon con la fecha, profundidad, repetición y tratamiento, y se llevaron sellados al laboratorio. Las muestras dentro de los botes se pesaron lo más pronto posible en húmedo, para calcular el contenido de humedad. Posteriormente se metieron a la estufa a 105°C por 48 horas, y después se pesaron.

La fórmula utilizada para calcular la densidad aparente (Dap) fue la siguiente:

$$Dap = \frac{\text{Masa o peso del suelo seco (Mg)}}{\text{Volumen del suelo* } (m^3)} \qquad (11)$$



A **B**

Figura 4. Instrumento y metodología de toma de muestras para la determinación de densidad aparente y contenido de humedad en El Coyol, Tlachichilco, Ver. A= muestreador de suelos (barrena); B= descripción de la barrena para muestras de suelo inalterado (Cavazos y Rodríguez, 1992).

* El volumen de la muestra se obtuvo calculando el volumen interior de los anillos mediante la fórmula del cilindro:

$$Vc = \pi r^2 h \qquad (12)$$

Donde:

Vc = volumen del cilindro

$\pi = 3.1416$

r = radio del cilindro

h = altura del cilindro

Finalmente, se promediaron los valores de Dap de los tratamientos T1 y T2 para obtener un valor correspondiente al Mollisol y los T3, T4 y T5 para el Inceptisol (Cuadro A23 de Anexos). Los datos se analizaron gráficamente y mediante análisis de varianza

considerando sólo la profundidad de 30 cm, que es donde se observó mayor diferencia gráfica. El modelo empleado fue el del Diseño Completamente al Azar.

b) Contenido de humedad

Para hacer esta determinación, las muestras se pesaron húmedas, luego se secaron a una temperatura de 105 a 110° C hasta que alcanzaron peso constante, y se volvieron a pesar (Gavande, 1972).

El contenido de humedad se determinó empleando las mismas muestras de suelo de las mismas fechas obtenidas para la densidad aparente mediante la siguiente fórmula (Bernasconi, 1991; Gavande, 1972; Narro, 19940):

$$\theta g = \frac{(psh - pb) - (pss - pb) * 100}{pss - pb} \qquad (13)$$

Donde:

θg = humedad gravimétrica (%)
psh = peso del suelo húmedo (g)
pb = peso del bote (g)
pss = peso del suelo seco (g)

Igual que en el caso de la densidad aparente, se promediaron los valores del contenido de humedad (Hg) de los tratamientos T1 y T2 para obtener un valor correspondiente al Mollisol y los T3, T4 y T5 para el Inceptisol (Cuadro A23 de Anexos). Los datos también se analizaron gráficamente y mediante análisis de varianza considerando el diseño de tratamientos completamente al azar a la profundidad de 30 cm, que es donde se observó mayor diferencia gráfica.

c) Infiltración

En este trabajo la infiltración se midió utilizando un infiltrómetro manual marca *Turf Tec* hecho en EUA (Figura 5). La forma como trabaja este aparato se basa en el "método del infiltrómetro de doble cilindro" (Bernasconi, 1991; Cardozo, 1993; Narro, 1994). El método consistió en la instalación del juego de cilindros concéntricos huecos en el

centro dentro de la parcela. El cilindro exterior sirve para formar un frente de humedecimiento, que dependiendo de la textura del suelo es su dimensión y su forma. Esto reduce los errores que puedan surgir si un borde de suelo seco provoca el flujo horizontal del agua que penetra en el suelo del cilindro interior (Cardozo, 1983).

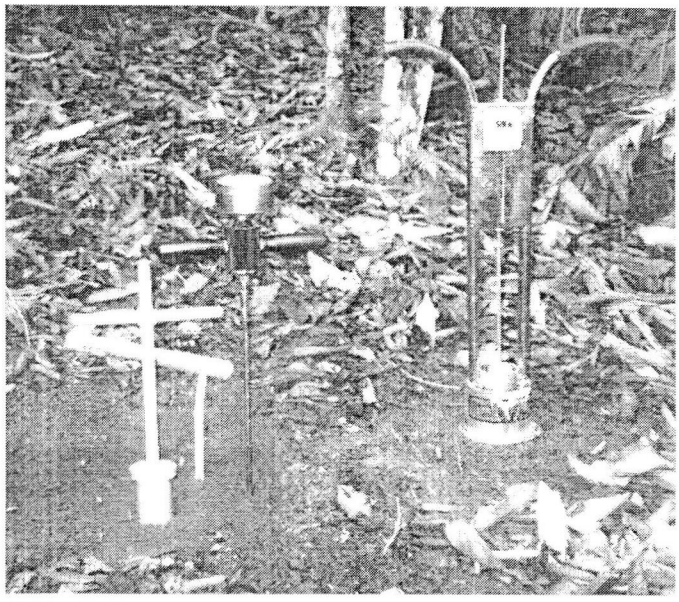


Figura 5. Equipo utilizado para la medición de densidad aparente, contenido de humedad e infiltración en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

La medición de la infiltración en los sitios experimentales de El Coyol se realizó en julio y noviembre de 2001, con el fin de tener dos periodos de comparación. Para tal efecto, se escogieron dos sitios estratégicos dentro de cada tratamiento, con la intención de que fueran lo más representativos posibles, y también con el fin de tener dos sitios de comparación. Estos sitios fueron nombrados R1 para el que se colocó en la parte alta de la pendiente y R2 para el de la parte baja de la misma, en cada tratamiento.

Tanto en la determinación de julio como en la de noviembre, los sitios donde se tomaron los datos fueron prácticamente los mismos, separados por apenas unos centímetros entre la primera y la segunda fecha.

Al introducir el aparato en el suelo se utilizó como apoyo únicamente el peso del cuerpo, y sólo cuando fue necesario se giró el infiltrómetro de izquierda a derecha (cuidando de no dañar las partes inferiores), para conseguir asentarlo bien en el suelo hasta la ceja externa, concéntrica y perpendicular al cilindro externo, que vino integrada para ese fin.

En cada sitio se midió la tasa de infiltración durante aproximadamente 1 a 1 1/2 horas, dependiendo del volumen infiltrado y su velocidad de infiltración. En los primeros 5 minutos se tomó la lectura cada minuto, posteriormente cada 5 minutos, después cada 10 o cada 15, dependiendo de la velocidad de infiltración.

Para el caso de este trabajo, no se consideró tiempo muerto debido a lo pequeño del infiltrómetro, situación que facilitó que la lectura fuera ininterrumpida, aún cuando se le estuviera agregando agua. También es importante señalar que mientras en algunos sitios el agua era muy rápidamente absorbida en el suelo, en otros apenas si se infiltró unos cuantos centímetros (3 o 4).

Los datos de infiltración de campo (Cuadros A24, A25 y A26 de Anexos) fueron obtenidos mediante el modelo Kostiakov-Lewis (Kostiakov, 1932; Lewis, 1938; Bernal, 1989). Durante la prueba se fueron obteniendo datos como los que se anotan en las columnas del cuadro, con la siguiente simbología (Coras, 1987):

Columna (1): Tiempo acumulado en minutos (t).

Columna (2): Intervalo de tiempo entre una lectura y otra en minutos (It).

Columna (3): Lámina de agua infiltrada acumulada en milímetros (La).

Columna (4): Lámina de agua infiltrada entre cada intervalo de tiempo en milímetros (Li_{mm}).

Columna (5): Lámina de agua infiltrada entre cada intervalo de tiempo en centímetros (Li_{cm}).

Columna (6): Tasa de infiltración en cm/hr (I).

Columna (7): Logaritmo del tiempo acumulado (Log t(x)).

Columna (8): Logaritmo de la tasa de infiltración (Log I (y)).

Columna (9): Volumen infiltrado (Vi).

La tasa de infiltración se calculó con la siguiente ecuación:

$$TI = \frac{60 \times Li_b}{It} \qquad (10)$$

Los valores de la velocidad de infiltración se dibujaron en un sistema de ejes coordenados, en el cual los valores de infiltración se colocaron en las ordenadas y los del tiempo acumulado en las abscisas (Figura A13 de Anexos). Estos datos se ajustaron por

regresión lineal. Al representarla en una escala logarítmica, la gráfica resultante es una línea recta con la que se pueden obtener gráficamente los parámetros K y n de la ecuación de infiltración (1) (Figura A13 de Anexos).

Finalmente, se obtuvo un promedio de datos observados de infiltración entre los tratamientos T1 y T2 correspondientes al suelo Mollisol y entre los tratamientos T3, T4 y T5 correspondientes al suelo inceptisol (Figura 16 y Cuadro A27 de Anexos).

Además, se realizó un análisis de varianza mediante el modelo completamente al azar con los datos observados de infiltración básica para ambos tipos de suelo, considerando los valores de los tratamientos como repeticiones.

4.4.5. Predicción de la pérdida de suelo mediante la EUPS

Erosividad de la lluvia (R)

El factor *R* se determinó utilizando los índices de Wischmeier (EI_{30}), Hudson (KE>25) y Lal (AI_m).

a) EI_{30}

Se consideró como un evento a la cantidad total de agua precipitada durante un día (24 horas a partir de las 8:00 a.m.). Para determinar el EI_{30} (ecuación 13) se tomó en cuenta la energía cinética (ecuación 14 y 15) e intensidad máxima en 30 minutos (ecuación 16) para cada evento definido como erosivo. Con la suma total de todos los EI_{30} por evento se obtuvo el factor de erosividad *R* (ecuación 18), como se indica a continuación:

$$EI_{30} = (E)(I_{30}) \quad (14)$$

Donde:

EI_{30} = Índice de erosividad para un evento (MJ mm ha^{-1} h^{-1})

E = Energía cinética total de la lluvia (MJ ha^{-1})

I_{30} = Intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos (mm h^{-1})

La intensidad máxima en 30 minutos (I_{30}) se obtuvo mediante la suma de las láminas de lluvia (en este caso 0.2 mm) correspondientes a intervalos de máximas intensidades registradas en una franja de tiempo, preferentemente continuo, de aproximadamente 30

minutos. Cuando no fue posible ajustar un periodo ininterrumpido de 30 minutos en un evento de lluvia, se escogieron las láminas correspondientes a intervalos de máximas intensidades intercalados hasta ajustar los 30 minutos. Sin embargo, para el evento del 6 de julio del 2001 con 21.2 mm de precipitación no hubo cálculo del EI_{30} debido a que no fue posible acumular un lapso de 30 minutos, ni siquiera en forma intercalada. Para compensar este dato, en su lugar se incluyó el evento del 29 de octubre con 12.6 mm de precipitación, por encontrarse muy cercano a los 12.7 mm mínimos necesarios para considerarse como lluvia erosiva, según Wischmeier y Smith (1978).

La energía cinética de la lluvia (E) se obtuvo con la ecuación:

$$E = \sum_{j=1}^{n} e_j p_j \quad \text{..... (15)}$$

Donde:

e_j = Energía cinética para el intervalo de tiempo "j" (MJ ha^{-1} mm^{-1})

p_j = Cantidad de lluvia en el intervalo de tiempo "j" (mm)

n = Número de intervalos con diferente intensidad, durante un mismo evento.

El cálculo de e_j se realizó con la ecuación propuesta por Wischmeier y Smith (1978), adecuada a las unidades del Sistema Internacional:

$$\left.\begin{array}{ll} e_j = 0.119 + 0.0873 \log_{10} I_j; & I_j \leq 76 \text{ mm } h^{-1} \\ e_j = 0.283; & I_j > 76 \text{ mm } h^{-1} \end{array}\right| \quad \text{..... (16)}$$

Donde:

$$I_j = \frac{p_j(60)}{t_j} \quad \text{..... (17)}$$

Donde:

I_j = Intensidad de la lluvia en el intervalo j (mm h^{-1});

t_j = Tiempo del intervalo j (min)

p_j ya fue definido

El valor e_j se vuelve constante para $I > 76$ mm h^{-1}, pues se considera que a intensidades mayores el tamaño de las gotas ya no se incrementa (Wischmeier y Smith, 1978).

En el Cuadro A4 de Anexos se muestran los datos completos de un ejemplo para el cálculo del EI_{30}, correspondiente al primer evento erosivo presentado el día 5 de febrero del 2001, el cuál se calculó de la siguiente manera:

Cálculo del EI_{30}				
Tiempo de EI_{30} (min)	Lámina de EI_{30} (mm)	E (MJ ha^{-1})	I_{30} (mm h^{-1})	EI_{30} (MJ mm ha^{-1} h^{-1})
30.29	5.20	3.473	10.30	**35.77**

La suma de los valores de EI_{30} de todos los eventos durante el año formó el factor *R* de la EUPS. La expresión algebraica de *R* es:

$$R = \sum_{i=1}^{n} (EI_{30})_i \quad \text{.....} \quad (18)$$

Donde:

R = Factor erosividad o índice de erosividad anual de la lluvia (MJ mm ha^{-1} h^{-1} $año^{-1}$)

n = Número de eventos erosivos durante el año

b) KE>25

El índice de erosividad (KE>25) propuesto por Hudson (1981) se calculó considerando en cada evento de lluvia la energía cinética total que coincidiera únicamente con intervalos de intensidades mayores que 25 mm h^{-1}.

En el Cuadro A5 de Anexos se presenta un ejemplo de cálculo del KE>25 correspondiente al primer evento erosivo presentado el 5 de febrero del 2001.

c) AI_m

Este índice fue propuesto por Lal (1976a), quien encontró mejor correlación de este índice con la pérdida de suelo por erosión hídrica que el EI_{30} y el KE>25 en trabajos realizados en Nigeria. En esta investigación se realizó una adaptación a la ecuación propuesta por Lal (ecuación 5) mencionada en el capítulo de Revisión de Literatura, y se probaron cinco medidas de centralización estadística. El AI_m fue calculado considerando los diferentes parámetros de intensidad determinados por eventos de lluvia, tales como: Intensidad media aritmética (AI_m media aritmética), Intensidad media total (AI_m media total), Intensidad mediana (AI_m mediana), Intensidad media podada al 50% (AI_m media podada al 50%) e Intensidad media podada al 40% (AI_m media podada al 40%), mismos que se correlacionaron y regresionaron con la pérdida de suelo. Este índice se calculó con la ecuación x siguiente:

$$AIm = \sum_{1}^{12} \sum_{1}^{n} (ai_m) \qquad (19)$$

Donde:

AI_m = Índice de erosividad

a = Lámina total de cualquier tormenta erosiva registrada en el mes (cm), de acuerdo al criterio de Wischmeier y Smith (1978)

i_m = Intensidad media aritmética, intensidad media total, intensidad mediana, intensidad media podada al 40% e intensidad media podada al 50% por evento de lluvia erosiva (cm h^{-1})

n = Número de días lluviosos por mes

Erosionabilidad del suelo (K), longitud (L) y grado (s) de la pendiente

Los factores K, L y S fueron determinados por Hernández (2001) para los mismos tratamientos en El Coyol durante el año 2000. En este trabajo se tomaron tal cual, se correlacionaron y regresionaron con la pérdida de suelo, y se usaron para estimarla mediante la EUPS para el año 2001.

Factor manejo y cobertura vegetal (*C*)

La medición de la cobertura (arbórea, arbustiva, herbácea y de mantillo) se realizó en cuatro fechas (10/05, 10/08, 29/09 y 10/11), considerando el calendario "Juliano" para manejar periodos equivalentes en tiempo entre cada muestreo, con el fin de registrar el comportamiento de la cobertura vegetal por efecto de las lluvias y las podas o deshierbes, respectivamente, y con el propósito de explicar la variación de la pérdida de suelo entre tratamientos (Cuadros A28, A29, A30 y A31 de Anexos). Obsérvese en las fechas mencionadas que para estas mediciones se consideró el Calendario Juliano, con el fin de manejar periodos de tiempo equivalentes entre cada muestreo.

Cobertura arbórea y arbustiva. La medición de la cobertura arbórea y arbustiva se realizó mediante el "método de intercepción de la línea" o "Línea de Canfield" (Canfield, 1941; Martínez, 1960).

En cada tratamiento se colocó una estaca al centro de la parcela sobre el bordo de la orilla, al inicio y al final de la misma, tanto en sentido longitudinal como transversal. Para el tramo longitudinal se tendió la cinta a partir de la parte superior de la pendiente, y para el tramo transversal se inició en el lado derecho viendo a la parcela desde la parte superior en sentido de la pendiente.

La línea de intersección así extendida se marcó por la línea éntre los dos puntos dados por las estacas colocadas de lado a lado de cada parcela. En esta línea se registró la longitud interceptada por cada especie. Se inició en uno de los extremos de la línea, considerándose únicamente aquellas plantas que fueron tocadas por la línea o que fueron subyacentes o suprayacentes a ella. En el caso de las plantas que sobresalían de la parcela, la medida del ancho y largo de su copa se consideró sólo hasta el borde de la parcela.

Para cada planta encontrada se registró:

a) i = Especie (nombre).

b) I = Longitud interceptada (cm).

c) M = Anchura máxima de la planta en dirección perpendicular a la línea (cm).

Adicionalmente, se registró la longitud de la línea interceptada por suelo desnudo.

Con los datos obtenidos, se calculó para cada especie:

a) N = Número total de intercepciones o de "individuos"

b) $\sum_{i=1}^{n} I$ = Longitud total interceptada para la especie i (cm) (20)

c) R = Número de intervalos en los cuales se presenta la especie

d) $\sum_{i=1}^{n} 1/M$ = Total de los recíprocos de las anchuras máximas (21)

e) L = Sumatoria de longitudes de todos los transeptos trabajados.

Posteriormente para obtener el porcentaje de cobertura tanto de especies arbóreas como arbustivas se aplicó la siguiente ecuación:

$$\text{Cobertura total} = \left(\frac{L - \text{Long. del suelo desnudo}}{L}\right) 100 \quad \text{..... (22)}$$

Donde *L* ya fue definido.

Cobertura herbácea. La cobertura herbácea se determinó por el método del área mínima o del cuadrante aplicado por Hernández (2002) y por Weaver y Clements (1944). El cuadrante utilizado fue un marco cuadrado de acero de 1 m^2 pintado de color blanco con el fin de que fuera fácilmente observable en la espesura de la vegetación al momento de lanzarlo. El lanzamiento del marco se hizo al azar hacia 3 diferentes puntos en cada parcela. Una vez tirado el marco se midieron cada una de las plantas que quedaron dentro del área, registrándose la altura, ancho y largo de la copa de cada planta, así como la especie cuando fue posible identificarla. La medida del ancho y largo de las plantas herbáceas que sobresalían del marco de acero o cuadrante, se hizo solamente hasta el borde del marco. En el caso de las plantas amacolladas o unidas con otras de la misma especie en forma de roseta, se consideraron a varias simultáneamente como si fueran una sola.

El porcentaje de cobertura total se obtuvo mediante el siguiente procedimiento para cada parcela (tratamiento):

1. Para cada lanzamiento del marco se multiplicó el ancho por el largo de cada planta encontrada, expresados en cm, para obtener el área de cada herbácea en cm^2.

2. Se sumaron todas las áreas así obtenidas en los tres lanzamientos y se obtuvo el porcentaje de cobertura para todo el tratamiento por regla de tres, considerando el área de los 3 m^2 (30,000 cm^2) muestreados como representativos de toda la parcela, y como el 100% del área total.

Cobertura por mantillo. La cobertura por mantillo se determinó por el método del cuadrante aplicado por Hernández (2002). Para ello se utilizaron los mismos marcos de 1 m^2, los cuales fueron subdivididos en 100 cuadros de 10 cm^2. Para este caso se realizaron cinco lanzamientos en cada uno de los tratamientos y en cada uno de los muestreos realizados. Con base en el espesor promedio del mantillo se obtuvo también un coeficiente de ajuste de la cobertura en cada uno de los tratamientos, como se muestra en el Cuadro 3, en las cuatro fechas de muestreo. El espesor de mantillo se obtuvo midiendo la altura de la capa de mantillo con una regla de 6 a 8 veces en cada lanzamiento.

El método para determinar el porcentaje de cobertura de mantillo fue el siguiente:

1. Tomando en cuenta que el marco utilizado para el muestreo de $1m^2$ fue dividido en 100 cuadros de 0.1 m^2 (100 cm^2), simplemente se contó el número de cuadros con mantillo para obtener en forma directa el porcentaje de cobertura.

2. El dato así obtenido se multiplicó por el factor de ajuste para obtener el porcentaje real de cobertura de mantillo, al considerar también el grosor.

Cuadro 3. Determinación de la cobertura por mantillo ajustada por tratamiento.

Tratamiento	Cobertura mantillo (%)	Espesor de mantillo (cm)	Factor de ajuste por espesor	Cobertura ajustada (%)
T1	97	6	1.00	97
T2	95	6	1.00	95
T3	61	2	0.33	20
T4	85	3	0.50	43
T5	95	4	0.67	63

Las cuatro coberturas (arbórea, arbustiva, herbácea y de mantillo) se correlacionaron mediante un análisis de regresión con la pérdida de suelo, probando diversos modelos tales como: el lineal, polinómico, potencial, logarítmico y exponencial, usando el programa Excel de Windows®.

Factor *C* de la EUPS. A partir del porcentaje de cobertura arbustiva y del porcentaje de cobertura por el mantillo ajustada por el espesor, se determinaron los valores del factor *C* para sistemas agroforestales según Hernández (2001).

Prácticas de conservación (P)

Este factor de la EUPS también fue previamente determinado por Hernández (2001). Los valores que obtuvo fueron retomados en este trabajo con el fin de hacer el cálculo de la pérdida de suelo mediante EUPS para el año 2001.

4.5. EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ

Se realizó un concentrado de las características de cada tratamiento para relacionarlos con su producción de café (Cuadro 17). Posteriormente se graficaron estos datos para observar su comportamiento y después se obtuvieron los coeficientes de regresión entre la producción de café del año 2001 de cada tratamiento y su edad para encontrar el grado de dependencia entre ambas variables. Finalmente, se hizo una comparación de estos datos con los observados en el año 2000 por Hernández (2001).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los presentes resultados corresponden al periodo comprendido entre enero y diciembre del 2001, obtenidos experimentalmente en sistemas agroforestales de café bajo sombra en la comunidad de El Coyol, Tlachichilco, Ver. Se analizaron la precipitación y su efecto erosivo, el efecto del escurrimiento sobre la pérdida de suelo y nutrimentos, el efecto de algunas propiedades físicas y de las prácticas de manejo sobre dichas variables, el efecto de la condición de humedad antecedente (CHA), así como la estimación de la pérdida de suelo mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) ajustada, y su utilidad en sistemas agroforestales de café bajo sombra. Asimismo, se validó la aplicación de la EUPS para tales sistemas, una vez que fue calibrada en la investigación precedente. Igualmente, se difundieron los resultados mediante un taller de evaluación rural participativa.

5.1. PRECIPITACIÓN

Del 1 de enero al 31 de diciembre del año 2001 se registró la precipitación diaria. Los datos de precipitación observada se presentan en el Cuadro A1 de Anexos y se grafican en la Figura 6. En total llovieron 2,188.6 mm en todo el año. El periodo de precipitación para la zona de estudio se dio en su mayor parte de mayo hasta noviembre (casi el 87%) del 2001, con el pico más alto en septiembre.

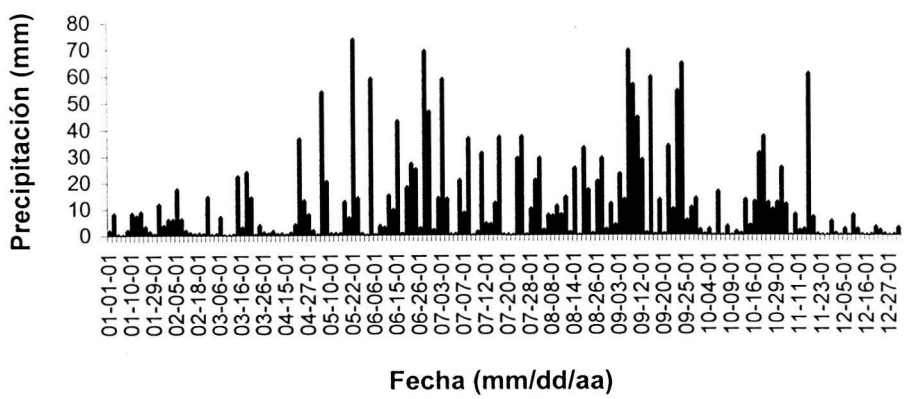


Figura 6. Precipitación observada por evento de lluvia durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

La época de lluvias inició propiamente a principios del mes de mayo y se extendió hasta principios del mes de noviembre. El evento de lluvia más fuerte del año se observó el 22 de mayo con 74 mm (Figura 6). El comportamiento de la precipitación bajó en agosto, recuperándose en el mes de septiembre. Los eventos de mayor precipitación en el año (más de 50 mm) se observaron el 6 de mayo (54.2 mm), 22 de mayo (74 mm), 1 de junio (59.4), 26 de junio (69.6 mm), 2 de julio (59.2 mm) y 17 de noviembre (61.2 mm); por cierto, este último evento se presentó en forma muy aislada con respecto a los cinco anteriores.

En cuanto a la precipitación mensual (Figura 7) se observa más claramente la mayor precipitación entre mayo y noviembre con la máxima en septiembre. El caso de la precipitación en este mes es particularmente importante por su poder erosivo, ya que el suelo se encuentra ya saturado de agua y al haber una gran precipitación, hay una abundante escorrentía que se lleva con más facilidad las partículas superficiales del suelo. Por el contrario, como se puede observar, la mínima precipitación ocurrió en diciembre.

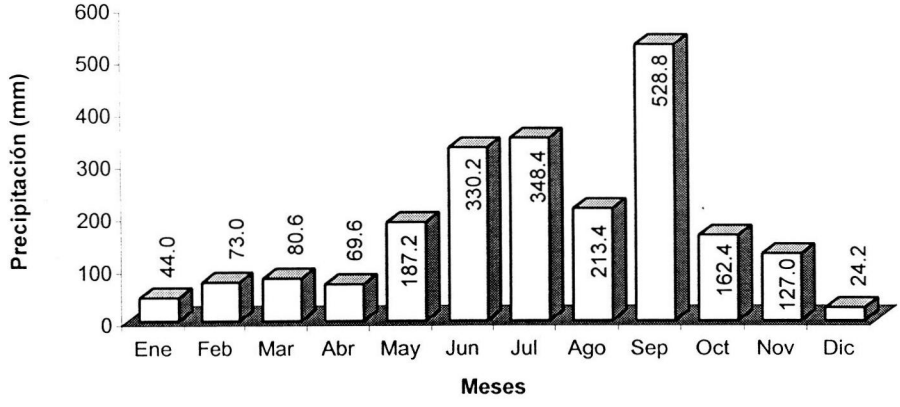


Figura 7. Precipitación mensual observada durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

En cuanto a la distribución de los eventos de lluvia a lo largo del año (Cuadro 4), del total de eventos, el 68% correspondió a láminas pequeñas (0.2 a 12.6 mm) que en conjunto registraron apenas el 18% de la cantidad total precipitada, mientras que los

eventos de más de 38 mm de lámina, aunque estos fueron los menos (sólo 14), en conjunto acumularon más del 37% de la cantidad total precipitada. Lógicamente, para el efecto erosivo es más determinante la lámina que el número de eventos. Obsérvese que de los 178 eventos de lluvia, sólo 57 fueron erosivos según el criterio de Wischmeier y Smith (1978).

Cuadro 4. Distribución de los eventos de lluvia registrados de enero a diciembre del año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Cantidad	Eventos		Lámina	
(mm)	(núm)	(%)	(mm)	(%)
0.2 - 12.6	121	67.98	394.2	18.01
12.7 - 25.4	27	15.17	459.7	21.01
25.5 - 38.2	16	8.99	514.0	23.48
> 38.2	14	7.87	820.7	37.50
Total	178	100.00	2188.6	100.00

En el Cuadro A2 de Anexos se reportan los valores de los parámetros: Intensidad media aritmética, Intensidad media total, Intensidad mediana, Intensidad media podada al 50% e Intensidad media podada al 40% por evento de lluvia erosivo, y en cuanto a la relación entre la precipitación observada y la intensidad de la lluvia no se encontró relación (R^2) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Coeficientes de determinación (R^2) entre precipitación e intensidades medias.

Parámetro	Precipitación R^2
Intensidad media aritmética	0,0001
Intensidad media total	0,0050
Intensidad mediana	0,0052
Intensidad media podada al 50%	0,0240
Intensidad media podada al 40%	0,0010

5.2. ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

Escurrimiento por evento de lluvias. Los Cuadros A9, A10, A11 y A12 de Anexos presentan la lámina de agua escurrida por evento de lluvia en litros, m^3, m^3 ha^{-1} y mm por evento y tratamiento, y la Figura 8 ilustra su distribución por magnitud y fecha de escurrimiento. Nótese que de los 178 eventos de lluvia registrados, sólo en 61 de ellos

hubo escurrimiento, es decir, sólo el 34% de eventos de lluvia causó escurrimiento. Estos 61 eventos de lluvia que causaron escurrimiento correspondieron a la misma cantidad de eventos con pérdida de suelo, en las mismas fechas.

En la Figura 8 se puede observar que mientras la temporada de lluvias comenzó en mayo el escurrimiento inició hasta el mes de junio, es decir, una vez que el suelo se hubo saturado de agua con las primeras lluvias de mayo, entonces el agua empezó a escurrir por la superficie. Durante el mes de mayo el suelo todavía estuvo seco, por lo que el humedecimiento se completó hasta junio. Simultáneamente, se puede observar en el Cuadro A12 de Anexos, que los eventos con mayor escurrimiento promedio (más de 5 mm) se dieron entre el 10 y el 25 de septiembre, con un evento aislado de 5.82 mm el 18 de noviembre. Especialmente, en el caso de los eventos de septiembre, la magnitud de su escurrimiento se puede explicar por la mayor magnitud de las lluvias y por la mayor saturación del suelo. El escurrimiento aislado de noviembre también coincide con una precipitación alta de 62 mm en la misma fecha.

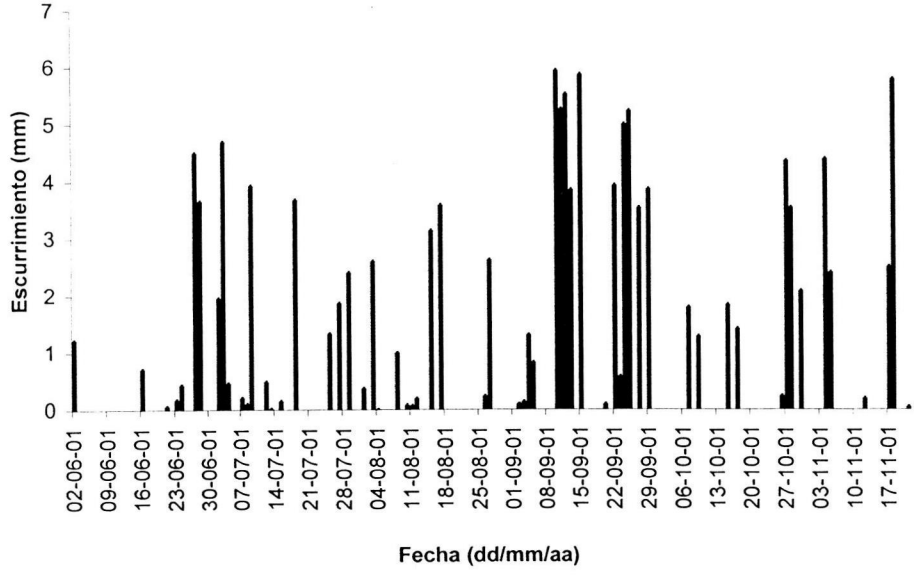


Figura 8. Escurrimiento observado por evento de lluvia durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Escurrimiento mensual. En cuanto al escurrimiento mensual (Figura 9), se observa que hubo una relación muy estrecha con el comportamiento de la precipitación, es decir, los meses de mayor escurrimiento coinciden casi a la par con los de mayor precipitación. En

este caso, el mes de mayor escurrimiento fue septiembre, que también fue el mes de mayor precipitación. Por otra parte, aunque la precipitación fue de 2188.6 mm, el escurrimiento no llegó a los 150 mm, lo que indica que los suelos de la zona de estudio presentan una buena permeabilidad.

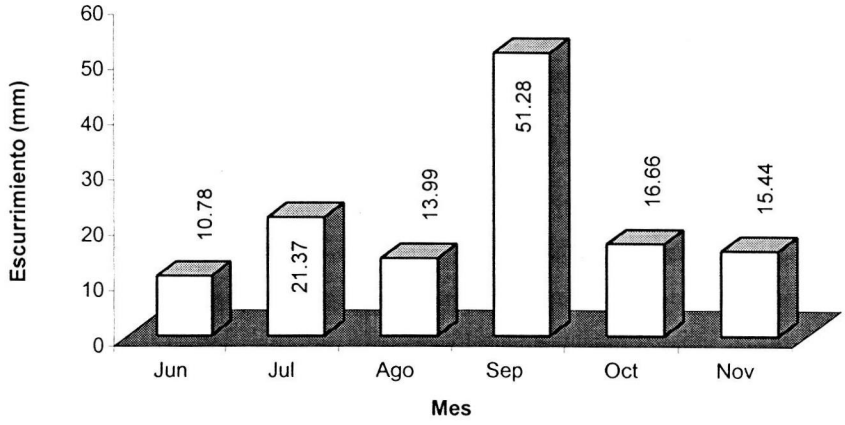


Figura 9. Escurrimiento mensual durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

- **Escurrimiento por tratamiento.** Como se observa en la Figura 10, el mayor escurrimiento ocurrió en el tratamiento T4 (policultivo tradicional mejorado con cobertura de cacahuatillo), seguido del tratamiento T3 (policultivo tradicional mejorado con cobertura de canavalia), mientras que el menor escurrimiento ocurrió en el tratamiento T1 (policultivo tradicional rusticano). La posible explicación de este comportamiento se da por diversas razones: En T3 la cobertura vegetal (canavalia) no alcanzó el tamaño y la diseminación deseada, ya que la primera vez que se sembró (mayo) a los pocos días de haberse establecido fue cortada al ser confundida con maleza por parte del dueño de la parcela. Cuando se sembró por segunda vez (julio) su temporada de desarrollo estaba ya muy avanzada y eso seguramente mermó su crecimiento en la parcela por lo que su cobertura fue muy raquítica. La cobertura arbustiva también fue muy rala ya que se trató de una plantación muy joven (cinco años) y las variedades de café fueron predominantemente de porte bajo (Bourbon y Garnica). Además, la cantidad de mantillo fue mínima. Otro factor más que posiblemente explica el escurrimiento que presentó este tratamiento es el grado de pendiente (42%). Para el caso de T4, el cual

presentó el mayor escurrimiento de los cinco tratamientos, la explicación es similar en cuanto a la vegetación arbustiva, herbácea y de mantillo que en el caso anterior. La cobertura de cacahuatillo de este tratamiento, aunque se diseminó en mayor grado que el año 2000, no alcanzó a extenderse del todo en la parcela. Además, debido a que esta parcela es una continuación hacia abajo del terreno donde se localizó el T3, también su pendiente esta muy pronunciada (37 %), lo que incrementó el escurrimiento. En cuanto al T1, la razón de su escaso escurrimiento se debió a la gran cantidad de mantillo que presentó, lo cual, como se verá más adelante, es el tipo de cobertura que otorga la mayor protección al suelo frente a la erosión. Además, es probable que la variedad de café que posee (Typica) muy ramuda y de porte alto, halla servido como un regulador de las gotas de lluvia, distribuyendo éstas en el suelo de manera más uniforme y en menor tamaño. Otro factor que se asocia al bajo escurrimiento en este tratamiento es el menor grado de la pendiente (27%). Asimismo, la edad de las tecnologías instaladas -basadas en la introducción de especies- es muy breve, por lo que no permite observar claramente sus beneficios. En los policultivos tradicionales mejorados con cobertura de canavalia y cacahuatillo las coberturas vegetales arbustiva, herbácea y de mantillo aún no se han afianzado del todo en el terreno ni han influido en la optimización de sus propiedades físicas.

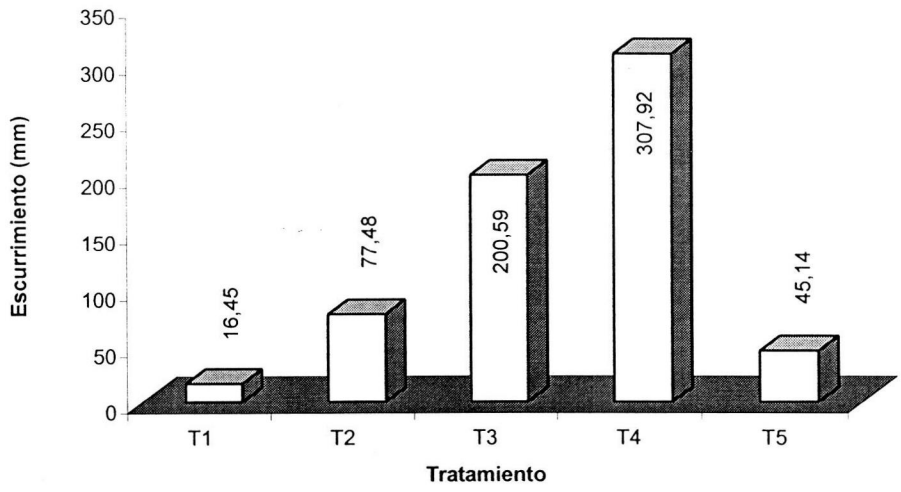


Figura 10. Escurrimiento anual por tratamiento durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Ramírez Cruz y Oropeza-Mota (2001) evaluaron la eficiencia de dos prácticas productivo-conservacionistas para controlar la erosión en el trópico, en la Frailesca, Chiapas, donde probaron los siguientes tratamientos durante dos años consecutivos: 1) sistema tradicional como testigo, 2) barrera viva de cocuite (*Gliricidia sepium*) con surcado al contorno y 3) Labranza de conservación con una cobertura de 3 t ha^{-1} de residuos; el cultivo en los tres tratamientos fue maíz (*Zea mays* L.); en cada tratamiento instalaron un lote de escurrimiento de 22 x 2 m con una pendiente de 9%; en el primer año de experimentación registraron una precipitación de 1434 mm y en el segundo de 816 mm; en el primer año los escurrimientos fueron de 439.7, 239.1 y 223.9 mm para cada tratamiento, respectivamente, y en el segundo año fueron de 192.1, 152.7 y 148.5 mm; obsérvese en los tratamientos 2 y 3 (más parecidos a los sistemas agroforestales aquí estudiados), que en los dos años de experimentación se registraron valores de escurrimiento más altos que en los tratamientos T1, T2 y T5 empleados en este trabajo, a pesar de que aquellos poseían una pendiente mucho más suave, lo que demuestra los beneficios de los sistemas agroforestales, de la cobertura de mantillo (T1, T2 y T5) y de la combinación de prácticas de manejo (T2 y T5) en la conservación del suelo.

Bermúdez (1980), trabajando en café con y sin sombra, encontró que la escorrentía, expresada como porcentaje de la lluvia total caída, fue muy baja. El volumen de escorrentía por evento no alcanzó valores superiores a 1 mm, mientras que en el presente trabajo se registraron algunos valores cercanos a los 6 mm; por el contrario, el coeficiente de escurrimiento por evento en la investigación de Turrialba superó algunas veces el 3.0%, a diferencia del trabajo en El Coyol, que no alcanzó el 0.6% por evento. En cuanto al escurrimiento por tratamiento, en el caso de la investigación de Bermúdez, el coeficiente de escurrimiento para su tratamiento de café con sombra de poró (CP) fue de 1.36%, para el tratamiento de café con sombra de poró y laurel (CPL) fue de 2.07% y para el tratamiento con café solo (C) fue de 1.44%. Compárese con los tratamientos establecidos en El Coyol, donde se obtuvieron los siguientes totales para el año 2001 (Cuadro A13 de Anexos): T1= 0.75, T2= 3.54, T3= 9.16, T4= 14.07 y T5= 2.06%; se observa que sólo en el caso de los tratamientos T3 y T4 se supera varias veces lo obtenido por Bermúdez, lo que acentúa las desventajas ya mencionadas de estos tratamientos. En cuanto al volumen de escurrimiento, en el caso del trabajo en Turrialba,

el tratamiento CP registró un total de 8.48 mm, el tratamiento CPL= 12.92 mm y el tratamiento C= 9.14 mm; en contraste, los tratamientos de El Coyol, registraron los siguientes valores: T1= 16.45, T2= 77.48, T3= 200.59, T4= 307.92 y T5= 45.14 mm, donde solamente el valor obtenido en T1 es similar a lo registrado por Bermúdez (1980). Estas diferencias tan grandes, a pesar de las similitudes de los tratamientos de estas dos investigaciones (porcentaje de cobertura, densidad de cafetos y pendiente, véase página 20), pueden explicarse a partir de los valores de infiltración básica y la densidad aparente. Amezquita y Forsythe, citados por Bermúdez (1980), reportaron una velocidad alta para la zona estudiada por Bermúdez en Turrialba (30 a 45 cm h^{-1}), mientras que en el caso de El Coyol no se supera en el mejor de los casos (T4), el valor de 2.80 cm h^{-1} (Cuadro A27 de Anexos); en el caso de la densidad aparente, mientras que Bermúdez reportó un promedio general para sus tres tratamientos de 0.86 g cm^{-3}, en El Coyol se registró un promedio de 1.22 Mg m^{-3}, para los cinco tratamientos y las cuatro profundidades analizadas, esto indica que los tratamientos de Turrialba se establecieron en suelos muy porosos, con gran capacidad de infiltración, lo que obviamente frenó considerablemente el escurrimiento, al contrario de lo que sucedió en El Coyol.

Escurrimiento mensual por tratamiento. En la Figura 11 se observa que la proporción de escurrimiento entre los tratamientos T2, T3 y T4 se mantiene durante los seis meses más lluviosos, a excepción del mes de agosto donde en el T4 escurre menos y en octubre donde en T2 escurre más que en los otros cuatro tratamientos. Junio en cambio es el único mes en donde T2 escurre menos. Es probable que el comportamiento de T2 en el mes de octubre se deba al deshierbe que se realizó a principios del mes.

Escurrimiento – precipitación – intensidad. Para el análisis de dependencia entre estas variables se consideró lo siguiente: a) de esos 178 eventos de lluvia sólo 57 fueron erosivos según el criterio de Wischmeier (láminas iguales o mayores a 12.7 mm) (Cuadros A4, A5, A6 y A7 de Anexos); b) a lo largo del año de observación, de los 178 eventos de lluvia sólo 61 provocaron escurrimiento y pérdida de suelo (Cuadros A12 y A21 de Anexos); c) de los 61 eventos de lluvia que presentaron escurrimiento y pérdida de suelo, en 18 de ellos la lámina precipitada fue inferior a 12.7 mm, es decir, fueron eventos considerados como "no erosivos"; d) de los 57 eventos erosivos, sólo en 43 de ellos hubo escurrimiento y pérdida de suelo, es decir, que 14 de los eventos considerados

"erosivos" no produjeron escurrimiento y consecuentemente tampoco pérdida de suelo. Con el fin de homologar la cantidad de datos utilizados y considerar así un mismo criterio, en todas las relaciones de regresión donde se involucraron los parámetros intensidad, escurrimiento y pérdida de suelo se consideraron sólo 43 eventos.

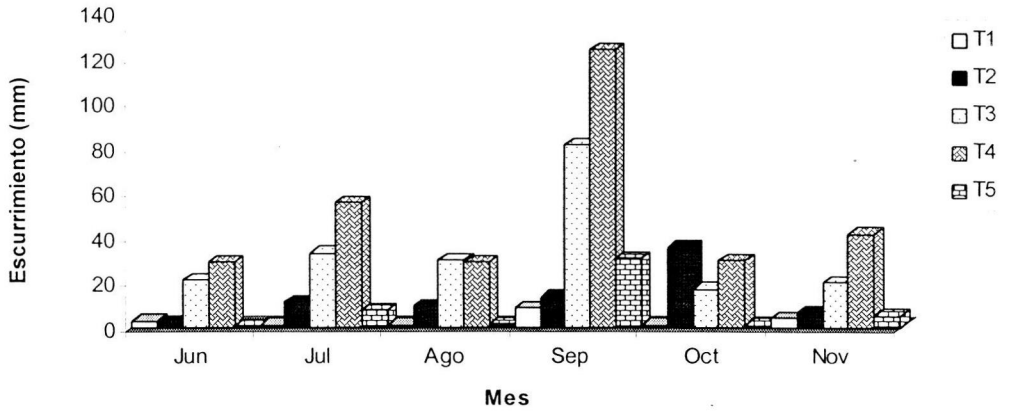


Figura 11. Escurrimiento mensual por tratamiento durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Como se observa en la Figura 12 el coeficiente de determinación (R^2) obtenido entre el escurrimiento y la precipitación es de 0.51, lo que denota una dependencia media. De aquí podemos deducir que una precipitación fuerte no necesariamente determina un escurrimiento alto, y una precipitación baja no necesariamente determina un escurrimiento bajo.

De hecho, tampoco necesariamente hay escurrimiento cuando existe precipitación, incluso, en ocasiones, aún con una lámina considerable. Influyen muchos factores que evitan en gran medida una relación directa entre precipitación y escurrimiento, los cuales tienen que ver con las condiciones físicas del suelo, la cobertura superficial, la longitud y grado de la pendiente, las prácticas de conservación del suelo y la condición de humedad antecedente.

Ramírez-Cruz y Oropeza-Mota (2001), reportaron que del análisis de la relación entre precipitación y escurrimiento, después de probar cinco modelos de ajuste con el coeficiente de determinación, la relación que mejor explicó los datos registrados fue del

tipo potencial y polinomial de segundo grado, con coeficientes de regresión que variaron de 0.55 a 0.78. Si se compara con el 0.51 de regresión lineal (el mejor de los que se probaron en el presente trabajo, Figura 12), se verá que está ligeramente inferior del rango reportado por la literatura.

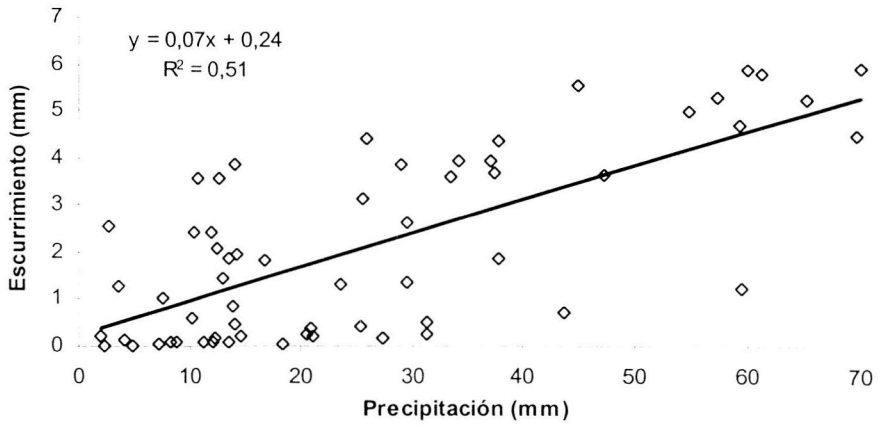


Figura 12. Relación escurrimiento – precipitación durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Aunado a lo anterior, la R^2 entre el escurrimiento y la intensidad media aritmética (considerando 43 eventos) es de apenas 0.01 (Figura 13). Esto nos confirma que ni la cantidad de precipitación ni el grado de su intensidad implican un escurrimiento en forma directamente proporcional. Al parecer, el escurrimiento es prácticamente independiente de la cantidad e intensidad de la lluvia, el cual quizá tenga relación con las características físicas del suelo como densidad aparente, contenido de humedad e infiltración, o con la condición de humedad antecedente.

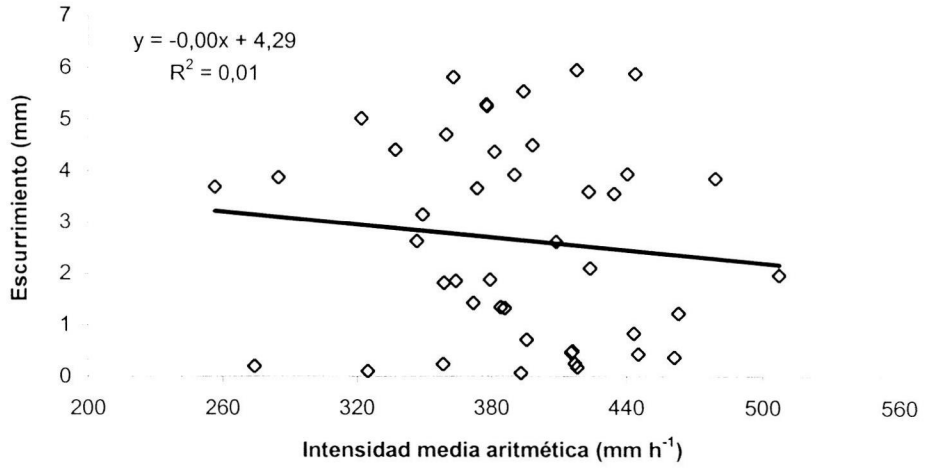


Figura 13. Relación escurrimiento – intensidad durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Densidad aparente (Dap) y contenido de humedad (Hg). En el Cuadro A22 de Anexos se reportan los datos de Dap y Hg por tratamiento a diferentes profundidades del suelo determinados en julio y noviembre, y el promedio, cuyo comportamiento se presenta gráficamente en las Figuras A10, A11 y A12 de Anexos. Los rangos de Dap para cada tratamiento fueron (de 0 a 60 cm de profundidad): T1= 1.02-1.53, T2= 1.18-1.47, T3= 1.13-1.31, T4= 1.25-1.32 y T5= 1.08-1.60. Se observa que no hay un comportamiento definido de estas características del suelo que pueda explicar las tendencias observadas del escurrimiento por tratamiento. El Cuadro A23 de Anexos y las Figuras 14 y 15 en el texto, presentan los valores promedio de Dap y Hg por tipo de suelo (Mollisol promedio entre T1 y T2, e Inceptisol promedio entre T3, T4 y T5).

En la Figura 14, se puede constatar que los valores de Dap para todos los tratamientos oscilan entre 1.04 y 1.48 Mg m^{-3}; se observa también que los valores de Dap aumentan conforme aumenta la profundidad en ambos suelos, sin mostrar diferencias importantes entre ellos, excepto a la profundidad de 30 cm. En la Figura 15, se observa que el Hg oscila entre 28 y 48%, y correspondientemente con la Dap se puede notar que los valores de humedad disminuyen conforme aumenta la profundidad en ambos suelos, sin mostrar diferencias importantes entre ellos, excepto a la profundidad de 30 cm.

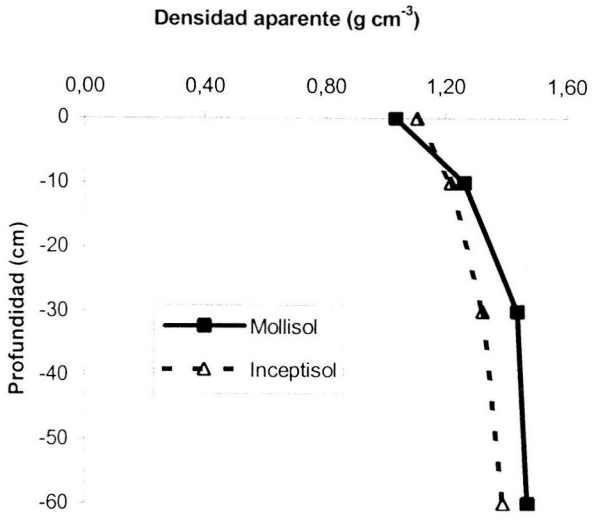


Figura 14. Densidad aparente promedio del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

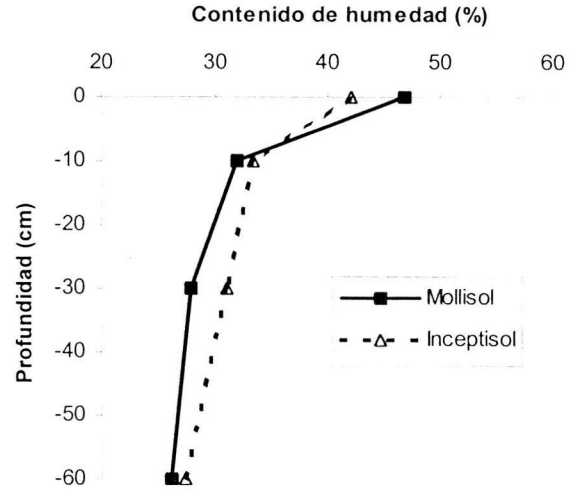


Figura 15. Contenido de humedad promedio del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

El análisis de varianza de la Dap y de la Hg a la profundidad de 30 cm (Cuadro 6) mostró que no existen diferencias significativas en estas características entre tipos de suelos, por lo que éstas tampoco explican las diferencias en escurrimiento superficial entre tratamientos. Sin embargo, en términos absolutos, la menor Dap y mayor Hg en el perfil de Inceptisol, pueden ayudar a explicar el mayor escurrimiento superficial

observado en los tratamientos T3, T4 y T5, considerándolo un suelo constantemente saturado.

Cuadro 6. Densidad aparente y contenido de humedad a 30 cm de profundidad e infiltración básica por tipo de suelo en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Suelo	Densidad aparente ($Mg\ m^{-3}$)	Contenido de humedad (%)	Infiltración básica ($cm\ h^{-1}$)
Mollisol	1.43^{a}	28.00^{a}	0.97^{a}
Inceptisol	1.33^{a}	31.11^{a}	2.13^{a}

Medidas con igual superíndice sobre la misma columna denotan diferencias estadísticamente no significativas ($\alpha = 5\%$)

Infiltración (I). Los Cuadros A24 y A25 de Anexos presentan los datos de infiltración por tratamiento determinados en los meses de julio y noviembre, así como el promedio de ambos; su comportamiento se muestra gráficamente en la Figura A13 de Anexos. En estos datos se observa que la velocidad de infiltración es consistentemente mayor en el mes de julio que en el mes de noviembre en los tratamientos T1, T3 y T5, lo cual puede deberse a que se trata de una época cercana al inicio de la temporada de lluvias y el suelo aún no está saturado como en el mes de noviembre. En el Cuadro A26 de Anexos se presentan los valores de infiltración promedio por mes y tratamiento, mientras que en el Cuadro A27 de Anexos se presentan los valores promedio de infiltración por tipo de suelo (Mollisol entre T1 y T2, e Inceptisol entre T3, T4 y T5). En la Figura A13 de Anexos se muestran los datos de infiltración por tratamiento de los muestreos de julio y noviembre, mientras que la Figura 16 del texto muestra los promedios. En la Figura 16 se observa que la infiltración básica (Ib) es cercanamente igual en ambos suelos. Los promedios de infiltración básica por tratamiento fueron T1 = 1.45, T2 = 0.49, T3 = 1.92, T4 = 2.80, T5 = 1.68 $cm\ h^{-1}$. Estos valores son bastante inferiores a los encontrados por Rivas *et al.* (1990), quienes realizaron pruebas de campo y de laboratorio en tres complejos naturales suelo-vegetación en Texcoco, encontrando infiltraciones básicas de 20.0 $cm\ h^{-1}$ para el bosque mixto, 7.7 $cm\ h^{-1}$ para el bosque de oyamel y 6.1 $cm\ h^{-1}$ para el bosque de pino, ecosistemas los cuales se asemejan mucho a los sistemas agroforestales empleados en la presente investigación. Parece ser que la textura arcillosa-limosa de los suelos de El Coyol fue determinante en la capacidad de infiltración. Rivas *et al.* (1990), también encontraron que los factores que más

influyeron en el proceso de infiltración fueron la densidad aparente, la porosidad total, la porosidad no capilar de los suelos, así como porcentajes de cobertura arbórea y de mantillo.

Según estos autores, el mantillo influyó significativamente aumentando 1.8 veces la infiltración básica en comparación con el suelo sin mantillo en los bosques de oyamel y pino. Además, Ochoa, citado por Ramírez-Cruz y Oropeza-Mota (2001), encontró que con el mantillo y la presencia de residuos de cosecha se incrementa la rugosidad del terreno, creando pequeños almacenamientos que retienen el agua por más tiempo, lo que aumenta la oportunidad para la infiltración y reduce la velocidad del escurrimiento. Sin embargo, los valores de infiltración básica registrados en este trabajo parecen contradecir ese comportamiento, pues los tratamientos con menor porcentaje de mantillo (T3 y T4) son los que presentan los valores más altos de infiltración. De hecho Rivas *et al.* (1990) reportaron también que la infiltración básica fue significativamente mayor en el porcentaje alto de cobertura (mayor de 70%) con 37.0 cm h^{-1}; seguido del porcentaje medio (20-69% de cobertura) con 13 cm h^{-1} y fue más baja, en el porcentaje bajo (menor del 19%), con 10 cm h^{-1}.

El análisis de varianza de la Ib a los 120 minutos (Cuadro 6) mostró que no existen diferencias significativas en estas características entre tipos de suelos, por lo que la Ib por tipo de suelo no explica las diferencias en escurrimiento superficial entre tratamientos.

Es importante señalar que Rivas *et al.* (1990) modificaron el modelo de Kostiakov, con la inclusión de la cobertura y la velocidad de infiltración básica, encontrando con ello una bondad de ajuste que lo hace recomendable para predicciones de infiltración con diferentes porcentajes de cobertura vegetal, en cada uno de los complejos suelo-vegetación.

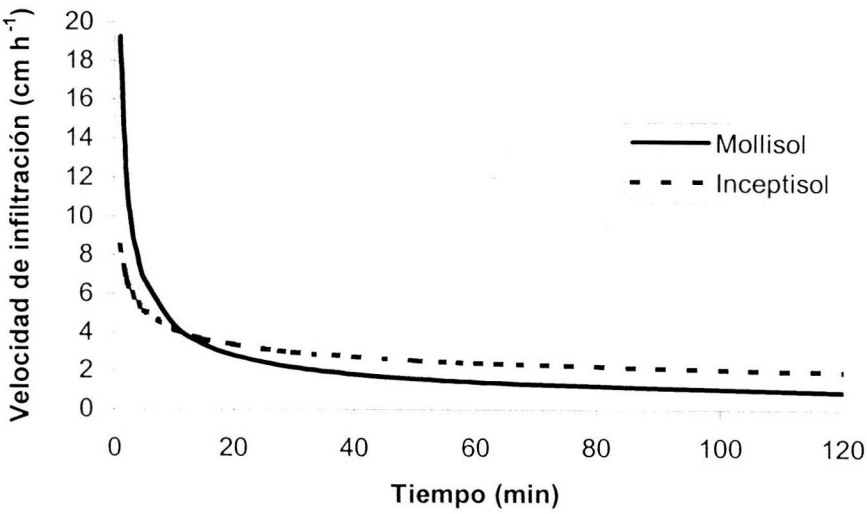


Figura 16. Infiltración promedio en sistemas agroforestales de café bajo sombra por tipo de suelo durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Condición de humedad antecedente (CHA). El Cuadro A15 de Anexos presenta el cálculo de la CHA para todos los días del año. Los Cuadros A16, A17 y A18 de Anexos muestran los eventos con escurrimiento en CHA I (seca), CHA II (intermedia) y CHA III (húmeda), respectivamente. Las Figuras A4, A5 y A6 muestran la relación de dependencia entre el escurrimiento y la precipitación por tratamiento, para cada una de las condiciones de humedad antecedente mencionadas. La Figura 17 presenta la relación entre el escurrimiento y la precipitación bajo tres condiciones de humedad antecedente (CHA I = seca, CHA II = intermedia y CHA III = húmeda). El coeficiente de determinación de la relación en la condición seca (CHA) es muy bajo; lo cual significa que las lluvias con láminas pequeñas acumuladas no determinan en absoluto el tipo de escurrimiento en un evento específico. La teoría sugiere que debería incrementarse la dependencia entre el escurrimiento y la precipitación en la CHA II, donde por el contrario, ésta disminuye. Sin embargo, en la CHA III la situación se endereza conforme a lo esperado, y con láminas acumuladas de más de 38 mm se observa una cierta relación (aunque muy baja) entre el escurrimiento y la precipitación. En general, no se encontró una relación clara de la CHA con el escurrimiento.

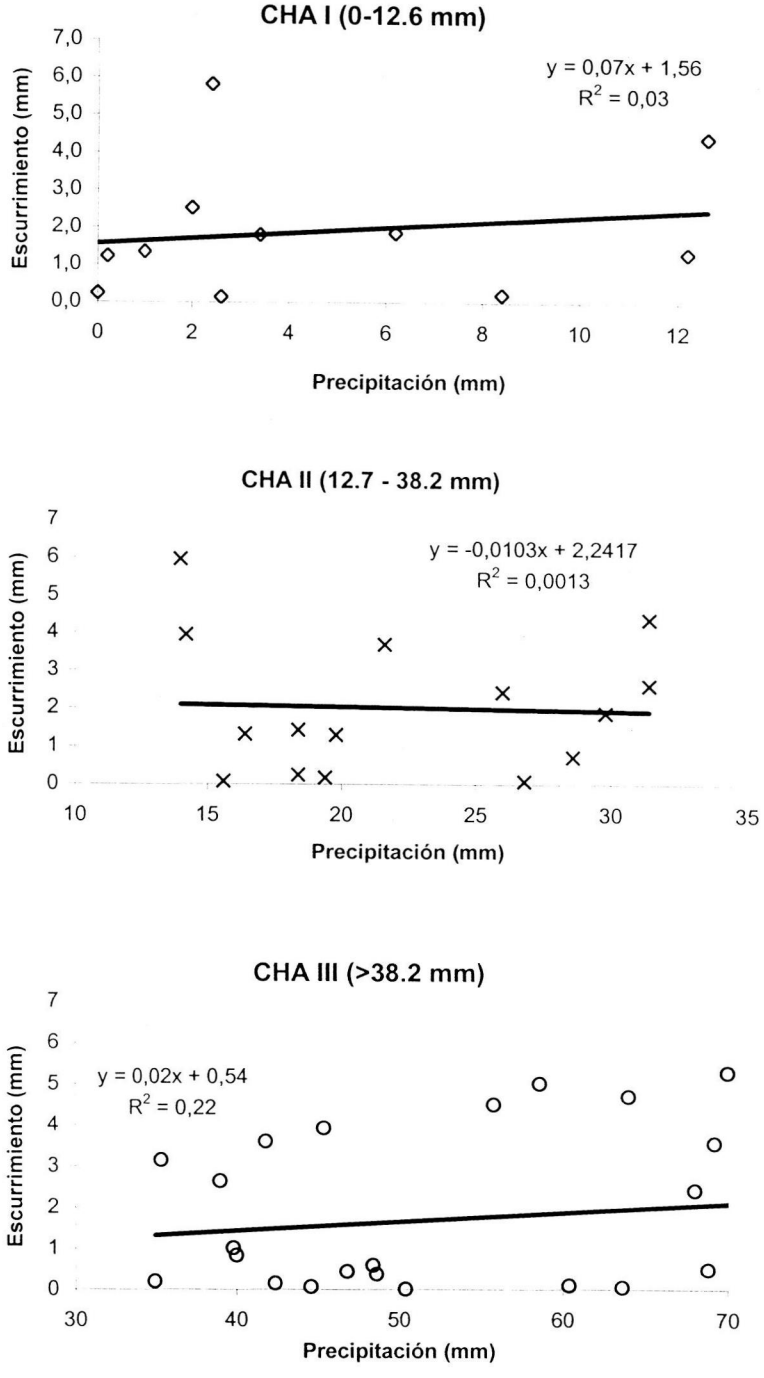


Figura 17. Relación escurrimiento - precipitación bajo la condición de humedad antecedente (CHA) en el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

5.3. COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

Los tratamientos T3 y T4 presentaron un coeficiente de escurrimiento mayor que el resto de los tratamientos, entre 9 y el 14%, respectivamente, de la precipitación total (2,188.6

mm), en comparación con los demás tratamientos que en todos los casos tuvieron menos del 3.5%. El tratamiento T1 que actuó como testigo presentó el menor escurrimiento (Cuadro 7). En el Cuadro A13 de Anexos se pueden consultar los coeficientes de escurrimiento en porcentaje calculados por cada evento y tratamiento.

Uribe-Gómez *et al.* (2002), evaluaron los siguientes tratamientos con maíz: 1) labranza tradicional, la cual consistió en la quema de residuos y roturación mecánica del suelo en sentido de la pendiente; 2) terrazas de muro vivo con setos a 1 m de desnivel y tracción mecánica; 3) terrazas de muro vivo con setos a 1m de desnivel y tracción animal; 4) labranza de conservación. El coeficiente de escurrimiento superficial para los mismos fue 31, 16, 15 y 17% de la lluvia, superiores en todos los casos al mayor de los coeficientes de escurrimiento registrado en este trabajo que fue el de T4 con 14% (Cuadro 7).

Cuadro 7. Lámina escurrida y coeficientes de escurrimiento por tratamiento de café bajo sombra durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Tratamiento	Lámina escurrida (mm)	Coeficiente de escurrimiento (%)
T1	16.45	0.75
T2	77.48	3.54
T3	200.59	9.16
T4	307.92	14.07
T5	45.14	2.06

5.4. PÉRDIDA DE NUTRIMENTOS EN EL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

Pérdida de nitratos. La pérdida de nitratos fue mayor en T3 y T4 y menor en T1 y T5 (Figura 18). Existe una dependencia muy alta ($R^2 = 0.93$) entre el escurrimiento anual y la pérdida de nitratos promedio (Figura 19). Este comportamiento se puede confirmar en las gráficas por fecha de muestreo que aparecen en la Figura A2 de Anexos. Los valores generados en los análisis de laboratorio con sus correspondientes conversiones a kg ha^{-1} se muestran en el Cuadro A14 de Anexos. Como se puede observar, la relación entre estas variables (escurrimiento y pérdida de nitratos) es directamente proporcional, lo cual coincide también con la relación entre el escurrimiento y la pérdida de suelo (Figura

25). Los valores encontrados para cada tratamiento fueron los siguientes: T1= 0.03, T2= 0.23, T3= 0.46, T4= 0.54 y T5= 0.04 kg ha^{-1} $año^{-1}$; estos valores son semejantes a los encontrados por Hernández (2001) en los mismos sistemas, pero inferiores al reportado por Uribe-Gómez *et al.* (2002) de 8.9 kg ha^{-1} $año^{-1}$, en cultivo de maíz con labranza de conservación. Las pérdidas de nitratos en los tratamientos T1 y T5 se asemejan a los encontrados por Figueroa (1975) en los bosques de pino, oyamel y encino, con 0.032, 0.0011 y 0.004 kg ha^{-1} $año^{-1}$, respectivamente, siendo estas pérdidas superadas varias veces por los tratamientos T2, T3 y T4; consecuentemente, T1 y T5 nos demuestran las ventajas de los sistemas agroforestales en cuanto a la conservación de la fertilidad entre otros muchos beneficios, y su semejanza con los ecosistemas naturales como el bosque. Como se puede observar en la Figura 18, la pérdida de nitratos y de potasio está por debajo de lo encontrado por Lal (1976c). Esto indica que los cinco sistemas agroforestales de café bajo sombra estudiados aquí son eficientes en la conservación de nutrimentos. Hay una relación muy estrecha entre el escurrimiento y la pérdida de suelo con la pérdida de nutrimentos y las condiciones de cada tratamiento (pendiente), lo cual también concuerda con lo reportado por Lal (1976c).

Uribe-Gómez *et al.* (2002) registraron una pérdida promedio de nitratos de 23 kg ha^{-1} $año^{-1}$, en tratamientos de maíz con 15% de pendiente y terrazas de muro vivo; esta pérdida la atribuyeron al aporte de nitrógeno por la descomposición de los residuos de la poda de los setos de muro vivo que se colocaron en la superficie del suelo. Nótese que la mayor pérdida de nitratos que se tuvo en la presente investigación fue de 0.54 kg ha^{-1} $año^{-1}$ (T4, Cuadro A14 de Anexos).

Pérdida de potasio. En este caso, la situación es muy semejante a la anterior: T1 es el que menos pierde y T4 el que más (Figura 18). La dependencia entre el escurrimiento y la pérdida de potasio también es muy alta (R^2 = 0.98) (Figura 19). El comportamiento por fecha de muestreo así como los valores del análisis de laboratorio y su conversiones correspondientes se pueden observar en la Figura A3 así como el Cuadro A14 de Anexos, respectivamente. Los valores de pérdida de potasio en el escurrimiento para cada tratamiento fueron los siguientes: T1= 0.04, T2= 0.32, T3= 1.25, T4= 2.47 y T5= 0.08 kg ha^{-1}, todos inferiores a los registrados por Hernández (2001) en los mismos sistemas y por Uribe-Gómez *et al.* (2002) que obtuvieron pérdidas de 13.3 kg ha^{-1} $año^{-1}$

en cultivo de maíz con labranza de conservación. Igualmente en el caso del potasio, se puede constatar que la relación entre su pérdida y el escurrimiento es directamente proporcional, respondiendo a la lógica planteada inicialmente. Cabe señalar que en cuanto al potasio, las diferencias en las cantidades por tratamiento son más marcadas que en el caso de los nitratos. Las pérdidas de potasio obtenidas en nuestros tratamientos T1 y T5 son muy semejantes a las encontradas en los bosques de oyamel por Figueroa (1975), con 0.07 kg ha^{-1} $año^{-1}$, mientras que T2 se asemeja más a los bosques de encino y de pino, con 0.54 y 0.56 kg ha^{-1} $año^{-1}$, respectivamente. T3 y T4 superan a este último hasta en cinco veces, debido probablemente a las desventajas ya mencionadas que presentaron frente a los tratamientos T1, T2 y T5.

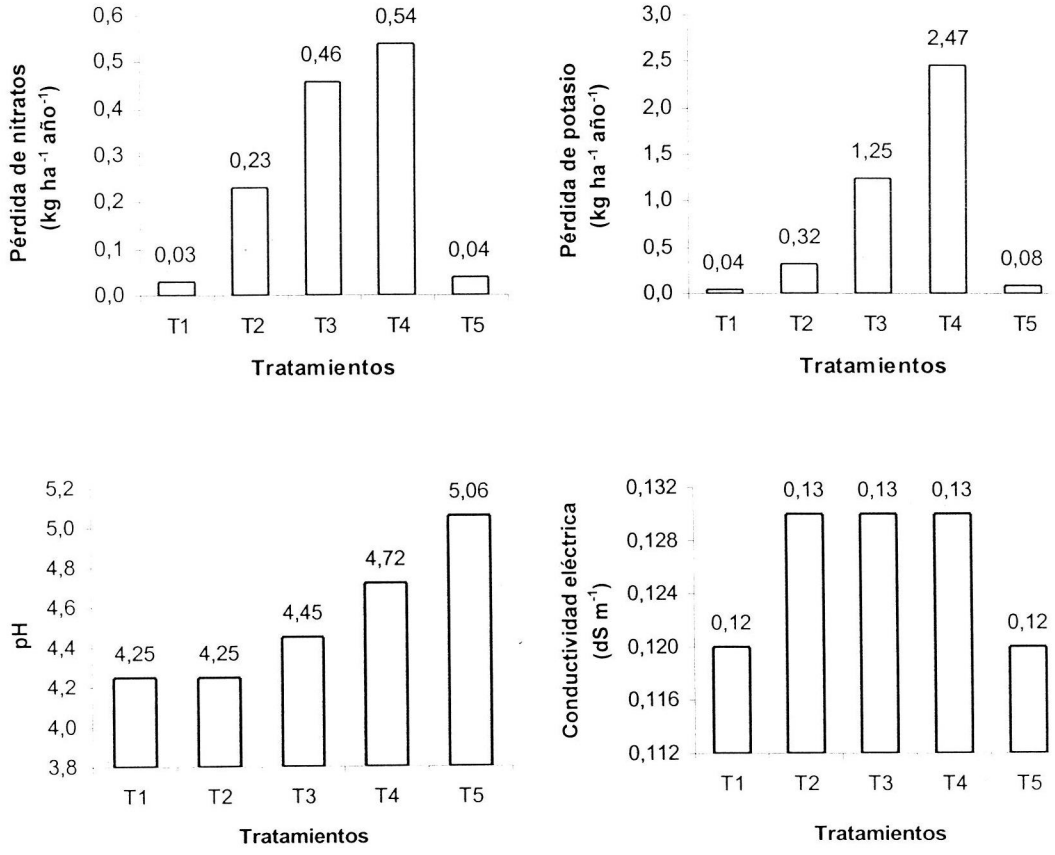


Figura 18. Pérdida de nutrimentos, pH y conductividad eléctrica en el escurrimiento superficial por tratamiento de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Por lo que se refiere a la conductividad y el pH registrados en las muestras de escurrimiento de cada tratamiento (Figura 18), parece no haber relación con la pérdida de nutrimentos. Aunque se observa diferencia entre la conductividad de T1 y T5 con respecto a T3, T4 y T5, esta no es significativa pues es apenas de 0.01 dS m^{-1}. En cuanto al pH, puede observarse que los tratamientos ubicados en el área del Mollisol (T1 y T2) fueron más ácidos que los ubicados en el área del Inceptisol (T3, T4 y T5). La acidez disminuyó conforme aumentó la distancia desde el T1 hasta el T5.

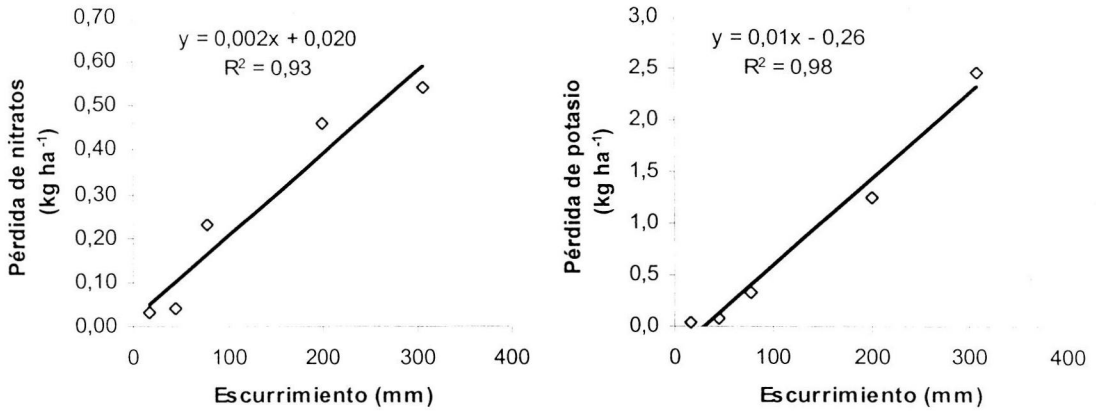


Figura 19. Relación pérdida de nutrimentos – escurrimiento superficial en sistemas agroforestales de café bajo sombra durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

5.5. PÉRDIDA DE SUELO

Pérdida de suelo por evento de lluvia. La pérdida de suelo evaluada en este trabajo fue la remoción de suelo por erosión hídrica de tipo pluvial. Nótese que se registraron 61 eventos con pérdida de suelo, lo que coincide con los 61 eventos de lluvia que causaron escurrimiento (Cuadro A21 de Anexos). Los eventos de lluvia que produjeron las mayores pérdidas de suelo a lo largo del año ocurrieron en los meses de septiembre y junio en concordancia con la mayor precipitación (Figura 20). Como ya se señaló, de estos 61 eventos con escurrimiento y pérdida de suelo, 18 se dieron con precipitaciones inferiores a 12.7 mm, es decir, lluvias que no eran erosivas según el criterio de Wischmeier y Smith (1978). Por el contrario, se registraron 14 eventos de lluvia con más de 12.7 mm que no generaron pérdida de suelo.

Ríos y Ventura (1989), realizaron un estudio de cinco años sobre la caracterización de las lluvias erosivas en Chapingo, Méx., utilizando lotes de escurrimiento de 25 x 2 m sin vegetación y en barbecho continuo. Estos autores registraron eventos con precipitaciones de menos de 10 mm de lluvia que tuvieron pérdidas de suelo, como sucedió en este trabajo. De igual forma, encontraron eventos de más de 10 mm de lámina que no generaron pérdida de suelo. Para las condiciones de Chapingo, estos autores trataron de explicar estas excepciones a la regla con los siguientes argumentos: las características para producir erosión son: a) que la intensidad máxima debe ser mayor a 15 mm h^{-1}; y b) que la lámina precipitada anterior halla sido mayor a 5 mm un día antes del evento erosivo, mayor a 10 mm dos días antes o mayor a 15 mm tres días antes del evento erosivo.

Respecto a la pérdida de suelo por evento, de 61 eventos erosivos ocurridos para cada tratamiento se tuvo el siguiente resultado (Cuadro A19, A20 y A21 de Anexos): en T1 sólo dos eventos generaron el 76%, en T2 ocho eventos produjeron el 76%, en T3 quince eventos causaron el 79%, en T4 once eventos generaron 68%, y en T5 cinco eventos produjeron el 60%. Lo anterior nos dice que en el caso del tratamiento T1, aunque su acolchado de mantillo resultó ser muy efectivo para evitar la pérdida de suelo, el hecho de que sólo dos eventos de lluvia hallan generado el 76% de la pérdida de suelo nos habla de que cuando no existen prácticas mecánicas y vegetativas de conservación, en eventos de precipitación de moderada a fuerte el sistema puede ser muy vulnerable a sufrir una erosión severa en un espacio muy pequeño de tiempo. En T2 y T5, cuyas pérdidas fueron bajas, se observa una distribución más homogénea de los eventos de lluvia con pérdida de suelo, lo que a su vez nos indica que funcionaron adecuadamente las prácticas de conservación. En T3 y T4, aunque tuvieron una distribución mucho más uniforme de los eventos con mayor pérdida de suelo (15 y 11, respectivamente), sus valores son bastante altos en comparación con el resto de los tratamientos, es decir, la mayoría de los eventos de lluvia que causaron pérdida de suelo fueron muy erosivos en estos tratamientos.

Pérdida de suelo por mes. En cuanto a la pérdida de suelo mensual, el comportamiento es muy semejante al del escurrimiento (Figura 21) con excepción del mes de junio, en el cual, a pesar del escurrimiento moderado, la pérdida de suelo fue alta debido quizás a la

menor protección del suelo al inicio del ciclo de lluvias. En agosto disminuyó la pérdida de suelo acorde a la disminución de la precipitación y del escurrimiento. De igual forma, en septiembre la pérdida de suelo es alta en concordancia con la mayor precipitación y el escurrimiento. En octubre y noviembre la pérdida de suelo fue casi a la par con la menor precipitación y escurrimiento.

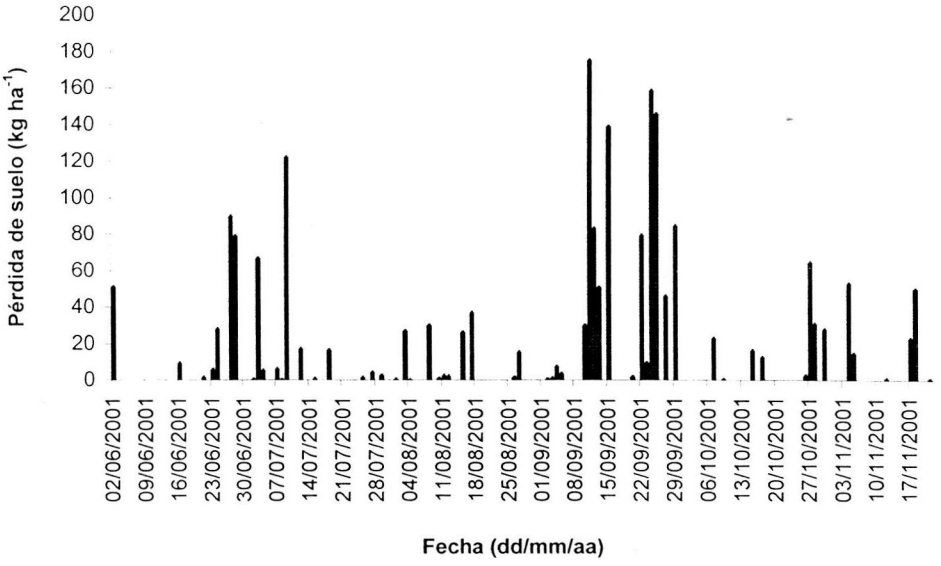


Figura 20. Pérdida de suelo observada por evento de lluvia durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

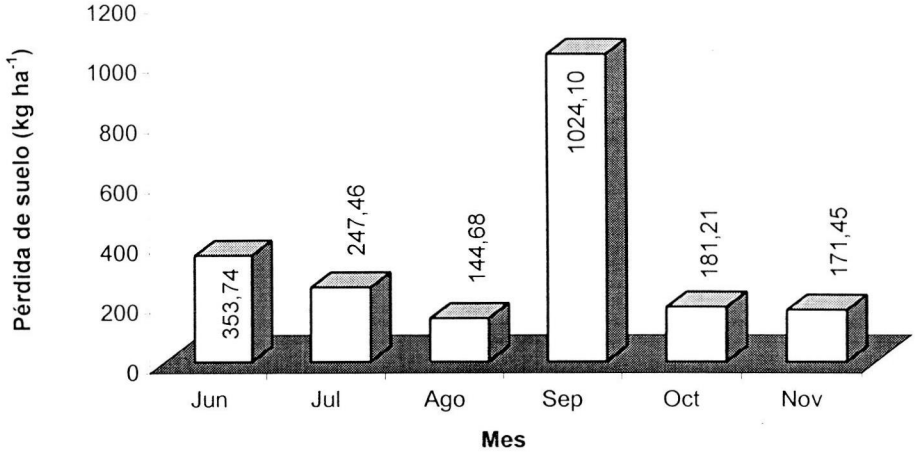


Figura 21. Pérdida de suelo mensual en sistemas agroforestales de café bajo sombra durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Pérdida de suelo por tratamiento. La pérdida de suelo por tratamiento y por evento de lluvia se presenta en el Cuadro A21 de Anexos. La pérdida de suelo en los sistemas de café bajo sombra estudiados osciló entre 0.28 y 4.56 t ha^{-1} $año^{-1}$ (Figura 22), lo que está por abajo del límite tolerable señalado por McCormack *et al.* (1982) de 6.5 t ha^{-1} $año^{-1}$ para un suelo renovable de 51 a 100 cm de profundidad. Sin embargo, sólo la magnitud de la pérdida de suelo encontrada para los tratamientos T1, T2 y T5 es similar a la reportada por Ataroff y Monasterio (1997) para plantaciones de café bajo sombra; en cambio, para los tratamientos T3 y T4 las pérdidas son mayores a las reportadas por estas autoras. T2 supera por muy poco el valor máximo de pérdida de suelo encontrado por Ataroff y Monasterio (1997) de 1.01 t ha^{-1} $año^{-1}$ para plantaciones de café bajo sombra, ya que en T2 se obtuvieron 1.05 t ha^{-1} $año^{-1}$. La menor pérdida de suelo en T1, T2 y T5 se puede atribuir a su mayor cantidad de materia orgánica, la mayor cobertura arbustiva y de mantillo, y además, en el caso de T2 y T5, a la presencia de terrazas individuales y barreras vivas.

Bermúdez (1980) reportó las siguientes pérdidas de suelo por tratamiento para los sistemas de café que estudió: CP= 59 kg ha^{-1}, CPL= 104 kg ha^{-1}, y C= 366 kg ha^{-1}; sólo el valor obtenido en el tratamiento de café solo (C), es semejante a lo registrado en los tratamientos T1 (340 kg ha^{-1}) y T5 (280 kg ha^{-1}), en El Coyol (Figura 22).

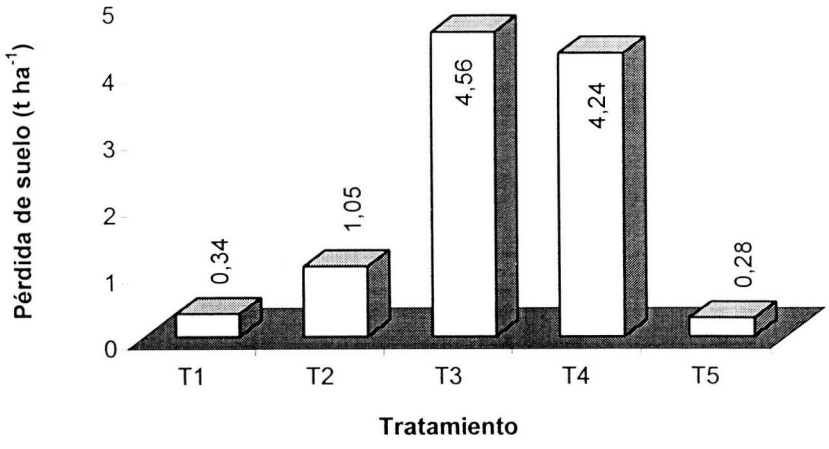


Figura 22. Pérdida de suelo anual observada por tratamiento en sistemas agroforestales de café bajo sombra durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

En contraste, León (1990) encontró pérdidas de suelo entre 0.0 y 4.2 t ha^{-1}; y escurrimientos de 4.22 a 34.4 mm. Como se puede observar, estos valores de pérdida de suelo son muy semejantes a los registrados en este trabajo; los valores más altos de pérdida de suelo y escurrimiento en los tratamientos que este autor trabajó con café se dieron en la parcela 7 con una pendiente de 82%, mientras que los menores se dieron en la parcela 9 con 43% de pendiente. Considerando los 11 tratamientos estudiados por León (1990), la mayor pérdida de suelo y el mayor escurrimiento se dieron en la parcela 5 (completamente desnuda), con 61% de pendiente y valores de 197 t ha^{-1} y 78.7 mm, respectivamente.

En El Coyol, las mayores pérdidas de suelo en T3 y T4 se pueden atribuir principalmente a la escasa cobertura vegetal, sobre todo en el caso de T3 donde la canavalia tuvo muchos problemas para su establecimiento y desarrollo, y además presentó una cobertura pobre de mantillo; otra razón es que este tratamiento fue el de mayor grado de pendiente (42%). En T4 el cacahuatillo se diseminó un poco más que el año anterior pero no llegó a cubrir de manera homogénea a la parcela, seguramente porque se requiere más tiempo para su establecimiento; este tratamiento tampoco tuvo una cantidad importante de mantillo, y su grado de pendiente es el tercero más pronunciado (37%). Igualmente, las mayores pérdidas de suelo de T3 y T4 coinciden con el mayor escurrimiento, aunque de manera inversa (T4 escurre más que T3). En cuanto a su relación con la densidad aparente y el contenido de humedad, T3 y T4 son Inceptisoles que están menos compactados en su perfil, lo que favorece el mayor contenido de humedad, que hace que aumente el escurrimiento debido a la saturación de agua y la imposibilidad de dirigir la infiltración hacia los estratos más inferiores.

Solano de la Sala *et al.* (1990), realizaron una investigación sobre el efecto de la relación precipitación-escorrentía en el proceso erosivo en diferentes usos de suelo, en Texcoco, México; para ello utilizaron seis lotes de escurrimiento de 2 x 25 m y los tratamientos fueron: 1) suelo desnudo de tepetate, 2) cultivo convencional y 3) suelo cubierto con pasto, todos con una pendiente mínima muy cercana a 0%. Estos autores reportaron pérdidas de suelo de 4.3 t ha^{-1} $año^{-1}$ para los cultivos convencionales, y 0.25 t ha^{-1} $año^{-1}$ para el pastizal con una cobertura vegetal de 73 y 74%; dado que este último sistema es el más parecido a los empleados en esta investigación, los valores obtenidos en este

trabajo se pueden considerar dentro de los rangos tolerables de pérdida de suelo, al comparar los datos registrados en ambos trabajos.

Ramírez Cruz y Oropeza-Mota (2001) encontraron que la pérdida de suelo para los tratamientos de barrera viva con surcado al contorno, y de labranza de conservación con cobertura de residuos fue de 2.9 y 2.4 t ha^{-1} $año^{-1}$ para el primer año, y 5.07 y 2.64 t ha^{-1} $año^{-1}$ para el segundo año, respectivamente; estos tratamientos redujeron la pérdida de suelo en 64 y 70% con respecto al testigo (sistema tradicional); se observa que los datos de perdida de suelo obtenidos por estos autores en los tratamientos que incluyen prácticas de conservación son superiores a los obtenidos en esta investigación en los tratamientos T1, T2 y T5, que tuvieron pendientes mucho más pronunciadas, lo que habla de la estabilidad de sus componentes y refleja los beneficios de la combinación de prácticas de conservación en lugar de la aplicación de una sola, o la ausencia de ellas.

Uribe-Gómez *et al.* (2002), registraron pérdidas de suelo de 13, 3 y 1 t ha^{-1} $año^{-1}$, para los tratamientos de maíz con terrazas de muro vivo y tracción mecánica, con terrazas de muro vivo y tracción animal, y con labranza de conservación, respectivamente, los tres con 15% de pendiente; los últimos dos valores son también semejantes a los encontrados en la presente investigación.

Con respecto a los tratamientos T1 y T5 que presentan una pérdida de suelo muy similar entre ellos, conviene remarcar las semejanzas y diferencias en cuanto a sus características: T1 yace sobre un Mollisol, mientras que T5 sobre un Inceptisol, ambos presentan el menor grado de pendiente, T1 tiene la mayor cobertura de mantillo (97%), y T5 ocupa el tercer lugar (63%) en este aspecto; en ambos casos hay gran cantidad de materia orgánica; T1 no presenta prácticas de conservación ni cubiertas vegetales, ni manejo alguno como el resto de los tratamientos, mientras que T5 presenta terrazas continuas y barreras vivas de palma camedor y palo de agua. Esto nos orilla a pensar que en lugares con características edáficas, climáticas y biológicas similares a las estudiadas en esta investigación, una combinación de las ventajas de ambos tratamientos (alta cantidad de mantillo y materia orgánica, así como prácticas mecánicas y vegetativas de conservación), puede dar resultados muy exitosos en cuanto a la conservación del suelo, amen de otras ventajas económicas, ecológicas y sociales.

En cuanto al T2, este se mantiene en medio de ambos extremos con una tendencia a una pérdida de suelo más bien baja, es decir, más cercana a T1 y T5. Una característica distintiva de este tratamiento fue su gran cantidad de mantillo (95%) casi lo mismo que T1. Otros factores que seguramente favorecieron el menor desprendimiento y transporte de suelo (a pesar de haber tenido la segunda pendiente más pronunciada –38%-), fueron las prácticas de conservación como las terrazas individuales y las barreras vivas de palo de agua, aparte de que T2 yace sobre un Mollisol (con densidad aparente de moderada a alta y bajo contenido de humedad).

Pérdida de suelo mensual por tratamiento. En cuanto al comportamiento de la pérdida de suelo mensual por tratamiento (Figura 23), se observa consistentemente que, T3 y T4 presentaron la mayor pérdida de suelo en cuatro de los seis meses con erosión, lo cual explica la mayor pérdida de suelo anual de estos sobre los tratamientos T1, T2 y T5; T3 se mantuvo como el más alto en los primeros tres meses de pérdida de suelo, mientras que en los últimos meses T4 pasó a ser el más alto, por lo que en la pérdida de suelo anual (Figura 22) se mantiene casi a la par. Obsérvese que en octubre T2 fue el tratamiento que perdió más suelo, posiblemente debido al deshierbe que tuvo en ese mes. En todos los meses, T5 fue el que menos suelo perdió. El mes de septiembre fue el más crítico simultáneamente para todos los tratamientos en cuanto a este rubro.

Relación pérdida de suelo – precipitación. La relación lineal de dependencia entre la pérdida de suelo y la precipitación es más bien intermedia (Figura 24), es decir, no necesariamente una precipitación alta implica una pérdida de suelo alta; lo mismo fue encontrado por Hernández (2001) en el año anterior, lo cual significa que otros parámetros de la lluvia como la intensidad pueden explicar mejor el comportamiento de la pérdida de suelo.

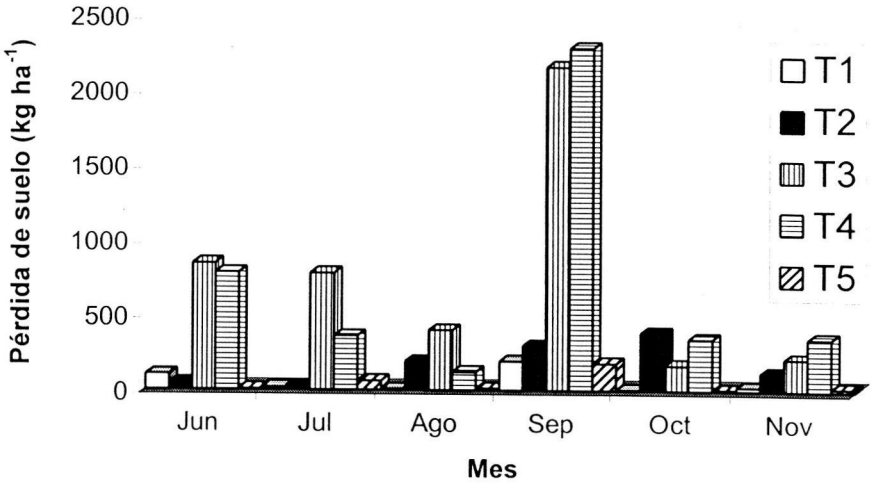


Figura 23. Pérdida de suelo mensual por tratamiento durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

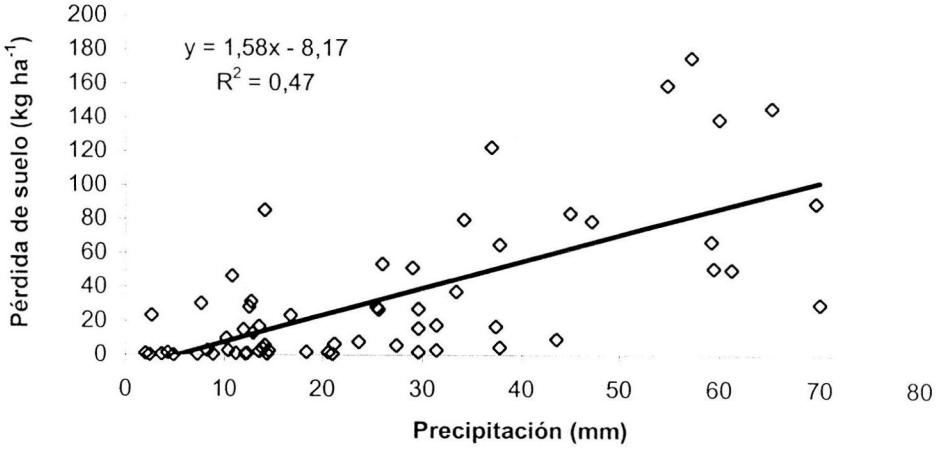


Figura 24. Relación pérdida de suelo – precipitación en sistemas agroforestales de café bajo sombra durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Solano de la Sala *et al.* (1990) observaron también un bajo coeficiente de determinación entre la pérdida de suelo y la precipitación ($R^2 = 0.48$), prácticamente igual al obtenido en este trabajo ($R^2 = 0.47$). Estos autores consideran que esta baja relación se debe a que la cantidad de lluvia por si misma no explica el proceso degradativo.

Relación pérdida de suelo – intensidad. En el Cuadro 8 se observan la relación entre la pérdida de suelo y los parámetros e índices de intensidad de la lluvia. En el caso de la

intensidad, se encontró que ninguno de los parámetros de intensidad probados se relacionó linealmente con la pérdida de suelo, por lo que no existe relación de asociación ni de dependencia con la pérdida de suelo, es decir, según estos datos, la pérdida de suelo es totalmente independiente de la intensidad.

Tanto en la investigación de Solano de la Sala *et al.* (1990) como en la presente, se observó que al relacionar la erosividad de la lluvia con la pérdida de suelo, se obtenían coeficientes de regresión muy bajos; en el caso del experimento en Texcoco, se obtuvo una $R^2 = 0.15$ (aunque los autores no mencionan el índice de erosividad que utilizaron), y para el caso de El Coyol, obtuvimos coeficientes de regresión lineal de 0.08, 0.11 y 0.36, para EI_{30}, KE>25 y AI_m, respectivamente, muy bajos en todos los casos (Cuadro 8); aunque la relación encontrada por Hernández (2001) fue bastante mejor ($R^2 = 0.57$) en el año anterior.

Cuadro 8. Coeficientes de regresión lineal (R^2) entre intensidades medias e índices de erosividad con pérdida de suelo.

Parámetro	Pérdida de suelo R^2
Intensidad media aritmética	0,0070
Intensidad media total	0,0070
Intensidad mediana	0,0240
Intensidad media podada al 50%	0,0380
Intensidad media podada al 40%	0,0180
EI_{30} (MJ mm ha^{-1} h^{-1})	0,0800
KE>25 (MJ ha^{-1})	0,1100
AI_m media aritmética	**0,3600**
AI_m media total	0,0280
AI_m mediana	0,0270
AI_m media podada al 50%	0,0350
AI_m media podada al 40%	0,1700

En el caso de los índices de erosividad, tanto el KE>25 como el AI_m media aritmética, mostraron mejor coeficiente de determinación (R^2) que el EI_{30}, siendo el AI_m media aritmética el mejor de los índices probados, lo cual concuerda con lo encontrado con Lal (1976 b) en Nigeria. A pesar de que el índice AI_m no está basado en el principio de la energía cinética de la tormenta, presenta mejores relaciones en los trópicos con la

pérdida de suelo que los índices de Wischmeier (EI_{30}) y Hudson (KE>25), por lo que podría ser mejor para estimar la pérdida de suelo.

Relación pérdida de suelo – escurrimiento. En la Figura A7 de Anexos se muestra la relación entre la pérdida de suelo y escurrimiento por tratamiento, y en la Figura 25 del texto se muestra la relación promedio para todos los tratamientos. La relación más estrecha entre estas variables se observa en T5 y la menos cercana en T2. En la serie de gráficas presentadas en la Figura 25 (utilizando 61 datos promedios de los cinco tratamientos por evento), se puede observar que hay una alta relación de dependencia entre la pérdida de suelo y el escurrimiento, con un coeficiente de determinación de hasta 0.70 (relación potencial), lo cual significa que la pérdida de suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra depende de manera importante de la capacidad de desprendimiento y transporte de partículas por el escurrimiento, por lo que debe ser considerado con fines de estimación de la pérdida de suelo. Esto se relaciona en gran medida con lo observado en las Figuras 10 y 22 (escurrimiento anual por tratamiento y pérdida de suelo anual por tratamiento, respectivamente). De hecho, el coeficiente de regresión no es mayor porque, mientras en el caso de T4 el escurrimiento fue mayor que en T3, la pérdida de suelo fue al contrario, T3 perdió más suelo que T4; la razón de esto se debe probablemente, como ya se explicó antes, a que T3 tiene la pendiente más empinada y además la menor cobertura de mantillo.

Ramírez-Cruz y Oropeza-Mota (2001) encontraron coeficientes de determinación entre escurrimiento y pérdida de suelo que variaron entre 0.19 a 0.71 en tratamientos con barreras vivas y surcado al contorno, y labranza de conservación con cobertura de residuos; en cambio, los mayores coeficientes de determinación para esas variables los encontraron en el tratamiento testigo (sistema tradicional de cultivo de maíz). Compárense esos coeficientes con los encontradas en este trabajo, que van de 0.69 a 0.70, y el de 0.53 (regresión exponencial) encontrado por Hernández (2001) en El Coyol, en el año 2000. Esto confirma la idea de que entre más obstáculos encuentre el escurrimiento a su paso, menos directa será su relación con respecto a la pérdida de suelo.

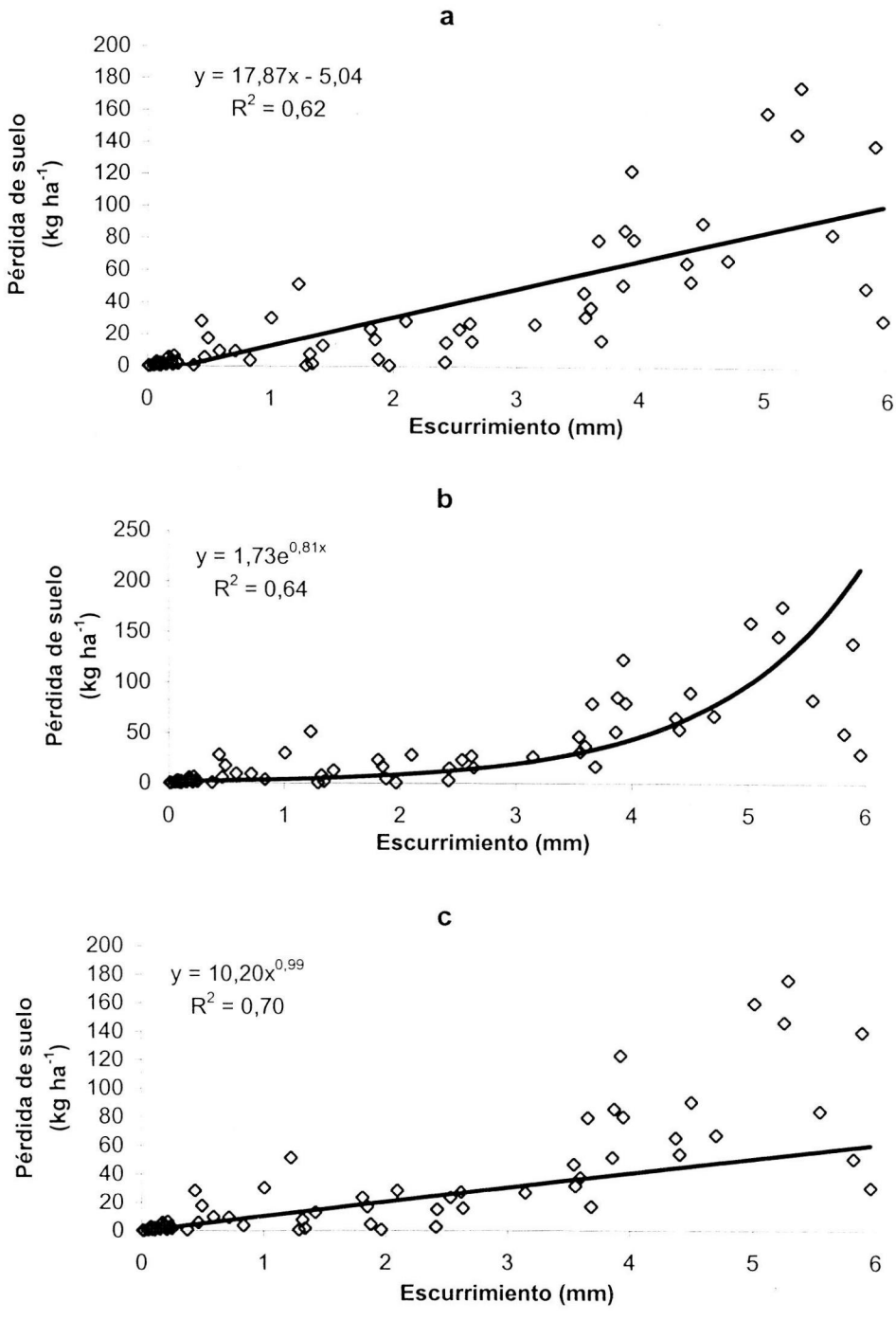


Figura 25. Relación pérdida de suelo – escurrimiento (a= lineal, b= exponencial, c= potencial) en sistemas agroforestales de café bajo sombra durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Al relacionar la pérdida de suelo anual con el volumen escurrido, Solano de la Sala *et al.* (1990) obtuvieron buena relación entre ambas variables (R^2 = 91). Su argumento al respecto es que este comportamiento se debe a la fuerza tractiva que ejerce el escurrimiento superficial sobre el suelo, el cual produce arrastre de partículas aguas abajo. Pero estos autores observaron también que escurrimientos menores de 16 mm no produjeron erosión, contrario a lo observado en este trabajo donde se tuvieron 18 eventos de lluvia con láminas inferiores a 12.7 mm que sí produjeron escurrimiento y pérdida de suelo; estos autores también observaron que a medida que el escurrimiento aumenta se incrementa la pérdida de suelo, lo cual coincide con lo observado en el presente trabajo y difiere a lo encontrado por Hernández (2001) en el año anterior.

Bermúdez (1980) reportó en forma general, con base en los resultados que encontró trabajando con café en Turrialba, Costa Rica, que la ventaja más sobresaliente de los sistemas agroforestales es la reducción de la erosión, que fue de casi un 70% menor con respecto al monocultivo, y la reducción en el contenido de sedimentos del escurrimiento en casi un 80%.

5.6. PÉRDIDA DE SUELO ESTIMADA POR LA EUPS AJUSTADA

5.6.1. Erosividad de la lluvia (R)

Índice de erosividad EI_{30}. El índice de erosividad EI_{30} (Wischmeier y Smith, 1978) para los 57 eventos erosivos que se presentaron durante el año 2001, se reporta en el Cuadro A3 de Anexos. En el Cuadro A4 de Anexos se puede ver un ejemplo del cálculo del EI_{30} que se realizó para cada evento erosivo. La distribución de los eventos de lluvia erosivos así como la del EI_{30} de acuerdo a su magnitud, se presenta en el Cuadro 8. Se observa que la erosividad total registrada (R) fue de 15,518.43 MJ mm ha^{-1} h^{-1} igual para todos los tratamientos. De 178 eventos de lluvia registrados, de acuerdo con Wischmeier y Smith (1978) sólo 57 se consideraron erosivos (lluvias con una lámina precipitada mayor o igual a 12.7 mm), lo que indica que sólo el 45% de los eventos en el área de estudio causaron erosión. El mayor número de eventos erosivos se presentó en el rango de 12.7 a 25.4 mm, seguido por el de 25.5 a 38.2 mm. La Figura 26 presenta la distribución mensual del EI_{30}. Los meses con mayor erosividad fueron junio y septiembre, acumulando entre ellos el 45.8% de la erosividad total, y los de menor erosividad fueron febrero y marzo (Figura 26). Enero y diciembre no presentaron eventos de lluvia erosivos. El periodo de máxima erosividad coincide con el de mayor precipitación: de mayo a septiembre.

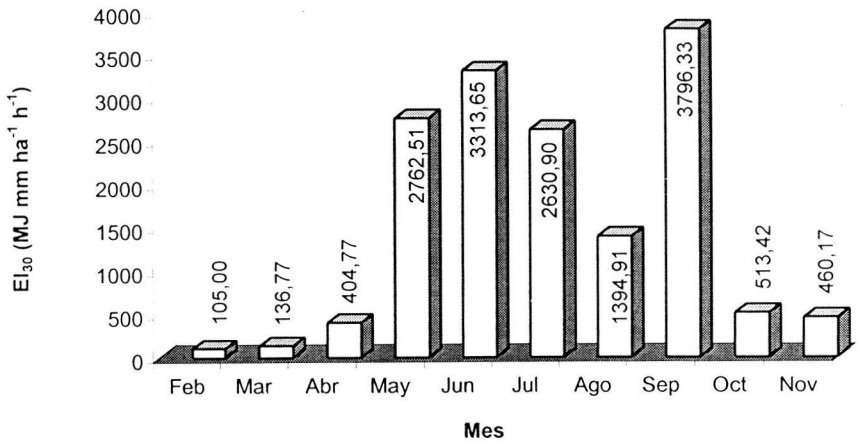


Figura 26. Erosividad mensual de la lluvia durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

La relación ajustada entre el EI_{30} calculado y la precipitación observada es de tipo lineal positiva con un coeficiente de determinación aceptable (R^2 = 0.59, Figura 27), lo cual implica que a mayor precipitación mayor erosividad de la lluvia.

Por otra parte, las lluvias de más de 38.2 mm por evento (menos de la cuarta parte) son capaces de provocar más de la mitad (55.6%) de la erosividad total, y casi la mitad de las lluvias relativamente débiles (12.7 a 25.4 mm) pueden provocar apenas alrededor del 10% de la erosividad total (Cuadro 9). Además, hubo 18 eventos de lluvia con pérdida de suelo de los 61 que se registraron, que no se consideraron erosivos según el criterio de Wischmeier y Smith (1978), así como 14 que a pesar de entrar en ese criterio por tener láminas iguales o mayores a 12.7 mm, no presentaron escurrimiento ni pérdida de suelo.

Cuadro 9. Distribución de los eventos de lluvias erosivas y EI_{30} de acuerdo a su magnitud para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Magnitud (mm)	Eventos		Erosividad		
	Número	%	MJ mm ha^{-1} h^{-1}	%	% acumulado
12.7 – 25.4	27	47.37	1,933.84	12.46	12.46
25.5 – 38.2	16	28.07	4,959.04	31.96	44.42
> 38.2	14	24.56	8,625.55	55.58	100.00
Total	57	100.00	15,518.43	100.00	

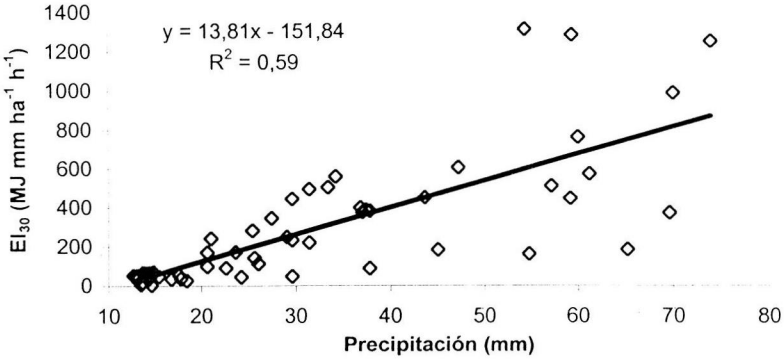


Figura 27. Relación EI_{30} y precipitación durante el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

La Figura A8 de Anexos muestra la relación entre pérdida de suelo acumulada y EI_{30} acumulado por mes por tratamiento. Obsérvese que la menor relación entre estas

variables se aprecia en T2 y la mejor en T3. La Figura 28a muestra una relación lineal muy pobre (R^2 = 0.07) entre la pérdida de suelo y el EI_{30}, por tal motivo se decidió probar otros índices que explicaran mejor la pérdida de suelo. Hernández (2001) encontró una mejor relación entre la pérdida de suelo y el EI_{30} (R^2 = 0.57). Bermúdez (1980) encontró coeficientes de determinación promedio de 0.43 para sus tratamientos.

Índice de erosividad KE>25. El índice de erosividad KE>25 (Hudson, 1977), para los 57 eventos erosivos, se reporta en el Cuadro A5 de Anexos. En el Cuadro A6 de Anexos se puede consultar un ejemplo del cálculo que se realizó para obtener el KE>25 de cada evento erosivo según el criterio de Hudson. El valor de erosividad total anual del KE>25 fue de 292.96 MJ ha^{-1}, igual para todos los tratamientos. La Figura 28b muestra una mejor relación lineal entre la pérdida de suelo y el KE>25, tal como lo reportó Lal (1976b), pero igualmente pobre (R^2 = 0.11), por lo que se procedió a probar el índice AI_m. Rodríguez *et al.* (1994) encontraron que este índice presentó el mayor coeficiente de determinación (0.69), con respecto a las pérdidas de suelo; estos autores recomiendan analizar este índice en trabajos posteriores, utilizando valores umbrales de intensidades máximas por encima y por debajo de 25 mm por hora, con el fin de mejorar el coeficiente de regresión que encontraron. El presente trabajo también apoya esa recomendación considerando el valor tan bajo que se obtuvo en la misma relación (R^2 = 0.11, Figura 28).

Índice de erosividad AI_m. El índice de erosividad AI_m (Lal, 1976b) para los 57 eventos erosivos considerando la intensidad media aritmética se reporta en el Cuadro A7 de Anexos. En el Cuadro A8 se puede consultar un ejemplo del cálculo del AI_m que se realizó para todos los eventos de lluvia del año. El valor total anual del AI_m intensidad media aritmética fue de 7,056.18 cm^2h^{-1} igual para todos los tratamientos. La Figura 28c muestra una mejor y más aceptable relación lineal entre la pérdida de suelo y el AI_m intensidad media aritmética (R^2 = 0.36), lo cual concuerda con lo encontrado por Lal (1976b) en Nigeria, quien sugiere que el AI_m explica mejor la pérdida de suelo que el EI_{30} y KE>25 en regiones tropicales como El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Rodríguez *et al.* (1994) consideran que en un futuro se lograrán mayores niveles de correlación con respecto a las pérdidas de suelo y los tres índices de erosividad

mencionados, siempre y cuando se realicen estudios que aumenten el conocimiento de la relación energía-intensidad.

Figueroa (1975) probó el EI_{30} y el KE>25 para calcular la pérdida de suelo total en la cuenca del Río Texcoco, encontrando que éste último fue un mejor índice con fines de predicción que el EI_{30}, el cual sobreestimó la potencialidad de la lluvia para erosionar que se presentó en la cuenca. Sin embargo, con ambos índices de erosividad las pérdidas de suelo calculadas fueron bastante más grandes que las observadas.

Experimentos conducidos en Rhodesia por Hudson en 1971 (Lal, 1979), indicaron que la energía cinética acumulada de las tormentas con intensidades mayores de 2.5 cm h^{-1} estuvieron mejor correlacionadas con la pérdida de suelo que el índice EI_{30}. En esos mismos trabajos, Hudson encontró también que tormentas con intensidades menores a 25 mm h^{-1} no fueron erosivas.

Rocha, citado por Bermúdez (1980), encontró también que la EUPS sobreestimó los valores medidos en sus parcelas utilizando el EI_{30}. En cambio, Bermúdez (1980) encontró que la ecuación subestimó los valores de pérdida de suelo, pero también coincide en que el EI_{30} no demostró tener muy buena correlación con las pérdidas de suelo, y afirma que el factor C de la ecuación debe ser sometido a mayor comprobación. Este autor agrega que no parece aconsejable utilizar la ecuación, mientras no se lleven a cabo más investigaciones al respecto.

En contraste, Arias (1980) probó seis índices de erosividad, incluyendo el EI_{30}, el KE>25 y el AI_m también en la cuenca del Río Texcoco, encontrando que el EI_{30} mostró mejor coeficiente de correlación con la pérdida de suelo que el KE>25 y que el AI_m.

Los valores notoriamente bajos de R^2 que se obtuvieron en este trabajo, entre la pérdida de suelo y los índices de erosividad, pueden deberse a lo encontrado por Charles (1987), quien probó varios índices de erosividad (incluyendo el EI_{30} y el AI_m) en varios periodos, encontrando que en las condiciones en las que él trabajó en la cuenca del Río Texcoco, los índices de erosividad no explican la pérdida de suelo a nivel anual, sino que únicamente a nivel trimestral y semestral, obteniendo la mejor relación en este último periodo. En este caso, además, este autor no encontró diferencia significativa entre la eficiencia de uno u otro índice de erosividad para explicar la pérdida de suelo,

pues mientras que en una de las estaciones experimentales que trabajó el AI_m se relacionó mejor con la pérdida de suelo, en otra estación fue mejor el EI_{30}. También encontró que los mejores modelos de regresión que probó fueron los potenciales y los polinomiales.

Solano de la Sala *et al.* (1990) utilizaron la EUPS mediante los Modelos de Onstad y Bowie, y Williams y Berndt, y los coeficientes de regresión que encontraron oscilaron entre $R^2 = 0.45$ y $R^2 = 0.56$, respectivamente, muy semejantes a los encontrados en este trabajo ($R^2 = 0.56$). Estos mismos autores encontraron que la EUPS estimó adecuadamente la perdida de suelo en el ecosistema de uso agrícola, pero la sobreestimó en los tratamientos con pasto y con tepetate desnudo, lo cual atribuyeron a las determinaciones puntuales de los factores C y K de la ecuación.

Rodríguez, *et al.* (1994), evaluaron también los índices de erosividad EI_{30}, KE>25 y AI_m y realizaron un análisis de regresión lineal simple obteniendo coeficientes de determinación con respecto a las pérdidas de suelo de 0.65, 0.69 y 0.63; se observa que los tres índices se correlacionaron altamente con las pérdidas de suelo, por lo que estos autores recomendaron utilizar el EI_{30} por ser el índice más señalado en la literatura. Como se observa en la Figura 28, los coeficientes de determinación que se obtuvieron en este trabajo con los mismos índices EI_{30}, KE>25 y AI_m (0.08, 0.11 y 0.36, respectivamente), son muy bajos en comparación con los obtenidos por estos autores en Venezuela. Esto puede deberse a los obstáculos que se presentan en sistemas agroforestales por las prácticas de manejo, en comparación con el terreno llano que utilizaron para sus tratamientos Rodríguez, *et al.* (1994).

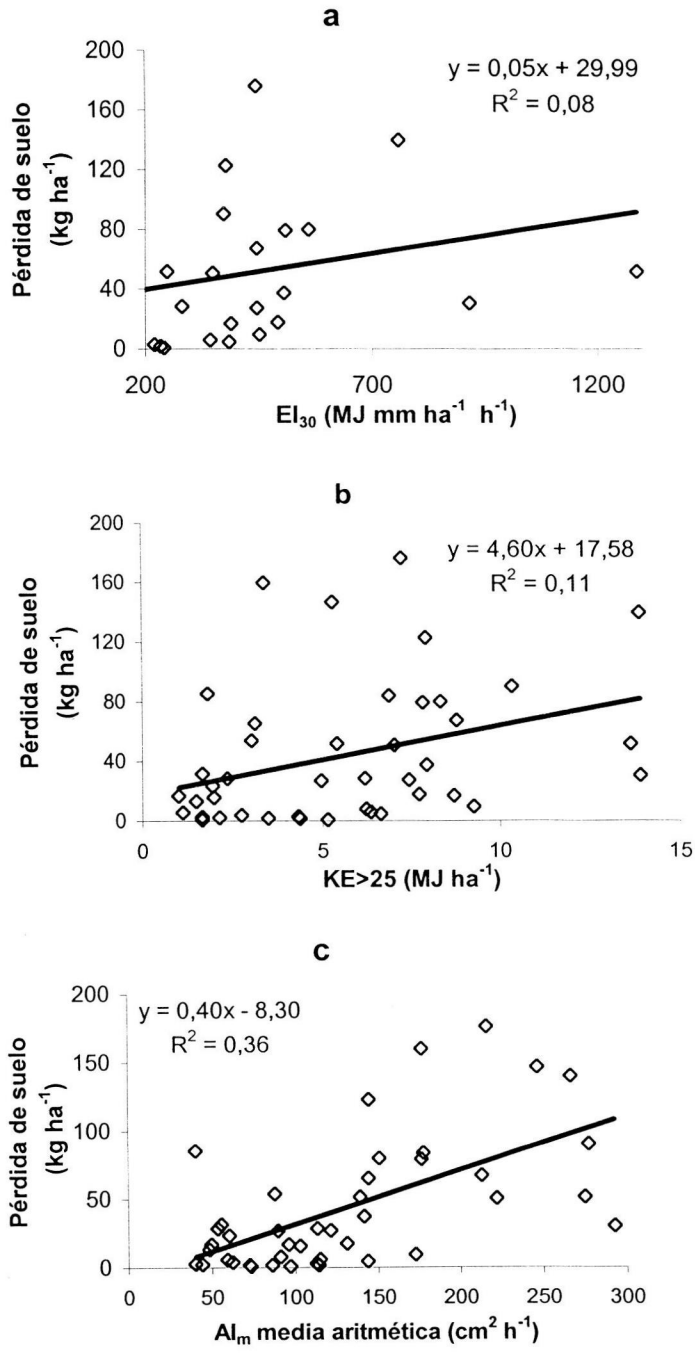


Figura 28. Relación pérdida de suelo – índices de erosividad en sistemas agroforestales de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

5.6.2. Erosionabilidad del suelo (K), longitud (L) y grado (S) de la pendiente

Estos tres parámetros fueron calculados por Hernández (2001) para los cinco tratamientos de sistemas agroforestales de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver., en el año 2000. Para esta investigación se retomaron dichos valores.

El Cuadro 10 muestra los coeficientes de determinación entre la pérdida de suelo anual observada por tratamiento y los parámetros erosionabilidad del suelo, longitud y grado de la pendiente. Se observa que la erosionabilidad del suelo explica el 41% de la pérdida de suelo. También se observa que la mejor relación de dependencia entre variables fue la encontrada entre la pérdida de suelo y el grado de la pendiente (Figura A14 de Anexos). Por el contrario, el coeficiente más bajo se observó entre la longitud de la pendiente y la pérdida de suelo y entre la longitud y el grado de la pendiente combinados. La relación negativa entre la pérdida de suelo y la longitud de la pendiente indica una relación inversamente proporcional que puede deberse a presencia de terrazas individuales en dos de los tratamientos (T2 y T5), lo cual puede alterar sustancialmente la influencia de este parámetro (L) sobre la pérdida de suelo. Por tal motivo, el efecto combinado de la longitud y el grado de la pendiente disminuyen la buena relación que se encontró entre el grado de inclinación relacionado por separado con la pérdida de suelo. Todo lo anterior contribuye a confirmar la razón por la cual el tratamiento T3 tuvo la mayor pérdida de suelo anual, ya que éste presentó la pendiente más empinada.

Cuadro 10. Coeficientes de correlación (r) y de regresión (R^2) entre la pérdida de suelo observada (AO) y los parámetros K, L, S y LS de la EUPS.

Parámetro	Pérdida de suelo
	R^2
K	0,41
L	0,34
S	0,69
LS	0,01

5.6.3. Factor manejo y cobertura vegetal (C)

Relación cobertura-pérdida de suelo. La cobertura del suelo juega un papel importante en la conservación del mismo, lo protege contra el impacto directo de las gotas de lluvia,

lo que evita su disgregación y favorece una mayor infiltración de agua disminuyendo el escurrimiento. La cobertura vegetal arbórea, arbustiva, herbácea y de mantillo, tanto natural como introducida, fue determinada en todos los tratamientos con el fin de relacionarla con la pérdida de suelo y para obtener el factor "C" de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS). En los Cuadros A28, A29, A30 y A31 se muestran los datos de los muestreos de vegetación (arbórea, arbustiva y herbácea), de mayo (uno), agosto (dos), septiembre (tres) y noviembre (cuatro), respectivamente.

En los sistemas agroforestales de café bajo sombra estudiados, la cobertura permanente (Cuadro 11), se modificó ligeramente durante las labores de poda y regulación de sombra que los productores efectuaron como parte de su manejo normal en marzo y abril, y dos deshierbes: en julio y en octubre (Cuadro 1). La cobertura arbórea en todos los casos alcanzó el 100% a excepción de T2 que en agosto y septiembre descendió debido a la poda que efectuó el propietario. En el caso de la cobertura arbustiva la tendencia fue a incrementarse salvo leves variaciones en T1 y T5 durante el mes de agosto. En los tratamientos T1, T2, T4 y T5 la tendencia es a cubrirse con el 100%; T3 sólo alcanzó el 40% de cobertura arbustiva. La tendencia en el caso de la cobertura herbácea estuvo alterada por el deshierbe de julio y agosto, lo que se reflejó en los muestreos de agosto y noviembre. En cuanto a la cobertura por mantillo ajustada por su espesor, por el contrario, existió una alta estabilidad en todos los tratamientos y durante toda la temporada. En T1 y T2 la cobertura estuvo cerca del 100%, y T3 fue el más bajo.

Teóricamente, la cobertura multiestrato protege al suelo contra la erosividad de la lluvia y el escurrimiento. Para buscar elementos que apoyen esta hipótesis, se realizó un análisis de regresión entre la cobertura vegetal por fechas de muestreo y la pérdida de suelo anual, probando diferentes funciones de regresión cuyos resultados se presentan en el Cuadro 12. Considerando los coeficientes de determinación (R^2) encontrados, ningún modelo se ajustó significativamente entre la pérdida de suelo y la cobertura arbórea. El estrato arbustivo mostró un ajuste aceptable con variables de las funciones de regresión probados, destacando la función polinómica con una R^2 de 0.96. En cuanto al estrato herbáceo, igual que para el estrato arbóreo, ninguna función ajustó adecuadamente su relación con la pérdida de suelo. Para el mantillo, las cinco funciones exploradas mostraron un alto coeficiente de determinación y en todas las fechas de muestreo la

función que mejor se ajustó es la polinómica. Sin embargo, las funciones polinómicas no son las mejores para explicar el comportamiento de los sistemas.

Cuadro 11. Cobertura (%) en los tratamientos de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Tratamiento	Arbórea					Arbustiva				
	May	Ago	Sep	Nov	Prom	May	Ago	Sep	Nov	Prom
T1	100	100	100	100	100	90	69	100	100	90
T2	100	62	85	100	87	76	78	100	100	89
T3	100	100	100	100	100	13	18	34	40	26
T4	100	100	100	100	100	56	63	73	94	72
T5	100	100	100	100	100	70	100	82	97	87
Tratamiento	Herbácea					Mantillo				
	May	Ago	Sep	Nov	Prom	May	Ago	Sep	Nov	Prom
T1	26	19	44	8	24	100	91	96	100	97
T2	32	14	68	12	32	93	96	100	89	95
T3	51	32	19	15	29	19	20	24	18	20
T4	62	60	68	79	67	40	43	44	44	43
T5	64	42	56	77	60	59	63	66	64	63

En estudios de la cobertura vegetal para cultivos anuales el modelo que mejor se ajusta es el exponencial (Hernández, 2001), porque a medida que el cultivo se desarrolla y crece aumenta la superficie de suelo cubierta disminuyendo la pérdida de suelo; sin embargo, en este estudio se obtuvieron valores de coeficiente de determinación (R^2) mayores con otros modelos para algunos estratos; pero debido a que las relaciones no son lógicas, se destacan aquí preferentemente los valores del modelo exponencial, ya que es el que mejor coincide con la realidad y la literatura.

De los tres estratos vegetales, el arbustivo conformado básicamente por el cultivo de café, mostró tener un mayor efecto para reducir la erosión ($R^2 = 0.57$), probablemente debido a su mayor densidad, dado que es el cultivo principal en los sistemas evaluados (Figura 29); además, los cafetos ocupan una posición intermedia (2 m de altura) recibiendo el impacto de las gotas de lluvia de mayor tamaño que se forman en las copas de los árboles, los cuales les proporcionan sombra o sencillamente están asociados a ellos. El mismo efecto encontró Hernández (2001) en el año 2000.

Cuadro 12. Coeficientes de determinación (R^2) entre pérdida de suelo y cobertura vegetal con distintos modelos de regresión por fecha de muestreo para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Función	Mayo	Agosto	Septiembre	Noviembre	Promedio*
ESTRATO ARBÓREO					
Lineal	0,00	0,03	0,14	0,00	0,07
Logarítmico	0,00	0,03	0,14	0,00	0,07
Polinómico	0,00	0,03	0,14	0,00	0,07
Potencial	0,00	0,13	0,07	0,00	0,00
Exponencial	0,00	0,14	0,07	0,00	0,00
ESTRATO ARBUSTIVO					
Lineal	0,68	0,04	0,62	0,11	0,68
Logarítmico	0,58	0,11	0,55	0,10	0,59
Polinómico	0,69	0,58	0,68	0,58	0,96
Potencial	0,34	0,02	0,55	0,19	0,48
Exponencial	0,34	0,06	0,60	0,20	**0,57**
ESTRATO HERBÁCEO					
Lineal	0,18	0,01	0,08	0,099	0,04
Logarítmico	0,22	0,00	0,16	0,133	0,04
Polinómico	0,51	0,05	0,58	0,145	0,09
Potencial	0,00	0,01	0,15	0,177	0,02
Exponencial	0,00	0,01	0,07	0,003	0,01
ESTRATO SUPERFICIAL (MANTILLO)					
Lineal	0,71	0,38	0,76	0,43	0,73
Logarítmico	0,75	0,56	0,76	0,34	0,75
Polinómico	0,80	0,90	0,78	0,45	0,78
Potencial	0,34	0,35	0,72	0,37	0,58
Exponencial	0,24	0,26	0,70	0,40	**0,54**

*Para este cálculo se promediaron los porcentajes de cobertura de los cuatro muestreos y después se obtuvo el coeficiente de determinación de dichos valores.

Igualmente, la relación entre la pérdida de suelo y la cobertura por mantillo observó un aceptable ajuste por el modelo exponencial ($R^2 = 0.54$) y en consecuencia un buen efecto de contribución en la reducción de la erosión. Las relaciones exponenciales entre la pérdida de suelo y las coberturas arbórea y herbácea con muy baja R^2 se presentan en la Figura A9 de Anexos.

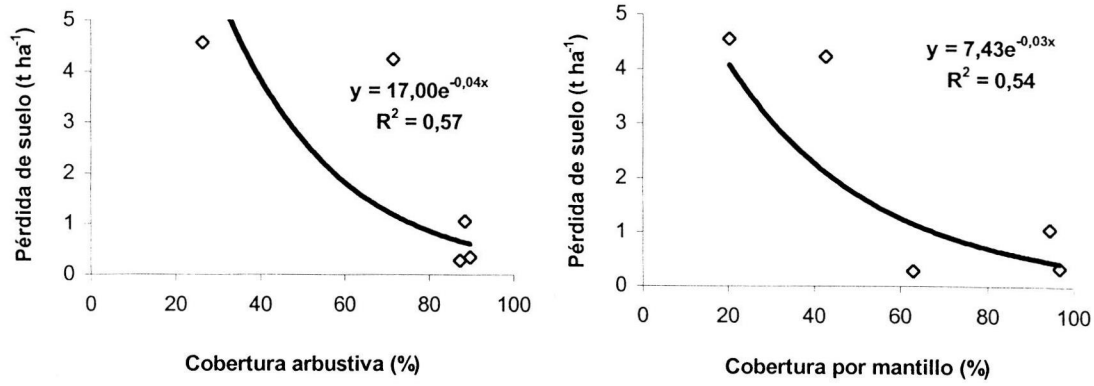


Figura 29. Relación pérdida de suelo – cobertura vegetal promedio anual en los sistemas de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Relación cobertura-escurrimiento. En la Figura 30 se puede observar que la relación escurrimiento – coberturas arbustiva y de mantillo es semejante en cuanto a la tendencia (exponencial e inversamente proporcional) a la relación encontrada entre la pérdida de suelo y dichas coberturas. Sin embargo, también se puede ver que a diferencia del comportamiento con la pérdida de suelo, la cobertura de mantillo es mejor que la cobertura arbustiva para disminuir el escurrimiento. Esto puede deberse a que, si bien la cobertura arbustiva actúa disminuyendo la energía cinética de las gotas de lluvia y por ende la disgregación del suelo por salpicamiento, el mantillo actúa mejor en cuanto al control del escurrimiento porque su estructura es un retén natural al frenar el agua y hacerla más susceptible de ser infiltrada en el suelo, o de conservarla como humedad entre la cobertura superficial y el suelo.

Aunque con el método empleado para medir cobertura no fue posible determinar el grado de protección de la cobertura vegetal bajo un efecto combinado de los diferentes estratos, se deduce que su intercepción tiene un efecto complementario en la reducción de la erosividad de la lluvia. Una cobertura vegetal proporcionada únicamente por las copas de los árboles puede llegar a ser perjudicial ya que la energía cinética de las gotas de lluvia puede aumentar por la presencia de un dosel alto, donde se funden gotas pequeñas que al caer en forma de una gota más grande tienen un efecto erosivo mayor (Nair *et al.*, 1994 y Beer *et al.*, 1998), lo cual, en el caso de los tratamientos aquí estudiados, pudo haber ocurrido considerando que la cobertura arbórea promedio fue

densa (100%) en todos los tratamientos excepto en T2 y alta (8-15 m) (Hernández, 2002); sin embargo, el efecto atenuante de la cobertura arbustiva conformada principalmente por el cultivo de café (2 m de altura) y del mantillo (6 cm de espesor), minimizó de manera importante el efecto erosivo tanto de la lluvia como del escurrimiento. El mismo efecto de la cobertura arbustiva, pero de *Erythrina* y del mantillo, fue encontrada por Bermúdez (1980) en sistemas de café-poro-laurel en Costa Rica.

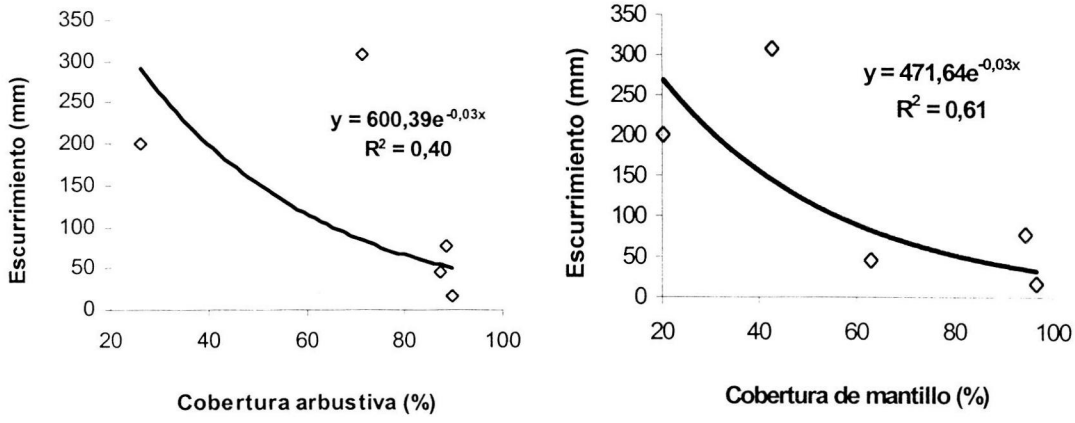


Figura 30. Relación escurrimiento – coberturas vegetales en los tratamientos de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Cálculo del factor C. Por su mejor relación con la pérdida de suelo, las coberturas arbustiva y por mantillo ajustado por su espesor (Cuadro 12), fueron consideradas para determinar el factor C de la EUPS, según los valores propuestos por Hernández (2001), obteniendo los valores por tratamiento que se muestran en el Cuadro 13. Para asignar un valor al factor C de la EUPS se tomó en cuanta el porcentaje promedio de la cobertura del estrato arbustivo y del mantillo de los cuatro muestreos realizados.

Los mejores valores (los más bajos) obtenidos para el factor C fueron los correspondientes a T1 y T2, y el más alto corresponde a T3. En el primer caso, la razón estriba principalmente en su abundante capa de mantillo de mayor espesor y de cubierta arbustiva. En T3 estas cubiertas fueron mínimas.

Cuadro 13. Factor C de la EUPS en sistemas agroforestales de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Tratamiento	Cobertura arbustiva (%)	Cobertura por mantillo ajustada (%)	Factor C
T1	90	97	0.001
T2	89	95	0.001
T3	26	20	0.009
T4	72	43	0.004
T5	87	63	0.003

5.6.4. Prácticas de conservación (P)

Los valores de este parámetro fueron tomados del estudio realizado por Hernández (2001) para los mismos tratamientos en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

5.6.5. Pérdida de suelo estimada

En los Cuadros 14, 15 y 16 se presentan de manera concentrada los valores de los cinco factores de la EUPS para cada uno de los tres índices de erosividad probados, así como la pérdida de suelo estimada y observada. La EUPS, utilizando el EI_{30}, sobreestimó la magnitud de la erosión, sin embargo, la relación existente entre la pérdida de suelo observada y la estimada es aceptable (Figura 31). Como lo mencionó Hernández (2001), la sobreestimación del valor de la pérdida de suelo estimada (AE) tomando como base el EI_{30} obedece a su vez a una sobreestimación del factor *R* debido a la mayor precisión con que se registró la precipitación en el pluviómetro II electrónico automatizado, porque el aparato contabilizó cada pulso de hasta 0.2 mm de lluvia, lo que de alguna manera, según Hernández (2001), pudo haber contribuido a elevar su valor. Se requieren más investigaciones semejantes a la presente, pero utilizando éste y otros pluviógrafos mecánicos de medición de la precipitación en forma simultánea, para confirmar la certeza de dicha hipótesis.

Cuadro 14. Estimación de la pérdida de suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver., utilizando el índice de erosividad de Wischmeier (EI_{30}).

Tratamiento	K (t ha h MJ^{-1} mm^{-1} ha^{-1})	LS (Adim)	C (Adim)	P (Adim)	AE (t ha^{-1} $año^{-1}$)	AO (t ha^{-1} $año^{-1}$)	Sobre-estimación
T1	0.028	5.93	0.001	1.00	2.58	0.34	7.58
T2	0.034	7.10	0.001	0.60	2.25	1.05	2.14
T3	0.034	7.42	0.009	1.00	35.23	4.56	7.33
T4	0.032	4.38	0.004	1.00	8.70	4.24	2.05
T5	0.030	4.76	0.003	0.90	5.98	0.28	21.37

Erosividad de la lluvia (R) = 15,518.43 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $año^{-1}$; K = erosionabilidad del suelo; LS = longitud y grado de la pendiente; C = cobertura y manejo; P = prácticas de conservación; AE = pérdida de suelo estimada; AO = pérdida de suelo observada.

Cuadro 15. Estimación de la pérdida de suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver., utilizando el índice de erosividad de Hudson (KE>25).

Tratamiento	K (t ha h MJ^{-1} mm^{-1} ha-1)	LS (Adim)	C (Adim)	P (Adim)	AE (t ha^{-1} $año^{-1}$)	AO (t ha^{-1} $año^{-1}$)	Sub-estimación
T1	0.028	5.93	0.001	1.00	0.04	0.34	8.90
T2	0.034	7.10	0.001	0.60	0.03	1.05	31.52
T3	0.034	7.42	0.009	1.00	0.52	4.56	8.73
T4	0.032	4.38	0.004	1.00	0.13	4.24	32.89
T5	0.030	4.76	0.003	0.90	0.09	0.28	3.16

Erosividad de la lluvia (R) = 292.96 MJ ha^{-1} ; K = erosionabilidad del suelo; LS = longitud y grado de la pendiente; C = cobertura y manejo; P = prácticas de conservación; AE = pérdida de suelo estimada; AO = pérdida de suelo observada.

Como se puede observar en los cuadros 14, 15 y 16, el EI_{30} y el AI_m sobreestimaron los valores observados mientras que el KE>25 los subestimó. El comportamiento de la pérdida de suelo estimada se dio de la siguiente forma:

El EI_{30} sobreestimó entre 2 y 21 veces los valores observados (relativamente menos que lo obtenido por Hernández, 2001). Sin embargo, el AI_m lo hizo entre aproximadamente 1 y 10 veces. Contrariamente, el KE>25 subestimó entre 3 y 33 veces. No resulta difícil convenir en que el mejor índice para disminuir la sobreestimación de la AE por el EI_{30}, al menos para regiones tropicales como la de la zona de El Coyol, es el índice de Lal.

Cuadro 16. Estimación de la pérdida de suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra para el año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver., utilizando el índice de erosividad de Lal (AI_m).

Tratamiento	K (t ha h MJ^{-1} mm^{-1} ha-1)	LS (Adim)	C (Adim)	P (Adim)	AE (t ha^{-1} $año^{-1}$)	AO (t ha^{-1} $año^{-1}$)	Sobre-estimación
T1	0.028	5.93	0.001	1.00	1.17	0.34	3.45
T2	0.034	7.10	0.001	0.60	1.07	1.05	0.97
T3	0.034	7.42	0.009	1.00	16.02	4.56	3.51
T4	0.032	4.38	0.004	1.00	3.96	4.24	0.93
T5	0.030	4.76	0.003	0.90	2.72	0.28	9.72

Erosividad de la lluvia (R) = 7056.18 cm^2 h^{-1}; K = erosionabilidad del suelo; LS = longitud y grado de la pendiente; C = cobertura y manejo; P = prácticas de conservación; AE = pérdida de suelo estimada; AO = pérdida de suelo observada.

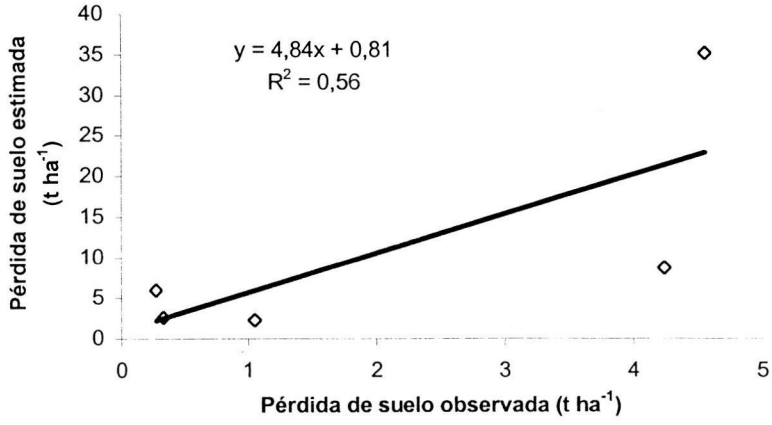


Figura 31. Relación entre la pérdida de suelo estimada y la observada considerando el EI_{30} en sistemas agroforestales de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

5.7. PRODUCCIÓN DE LOS CAFETALES

En el Cuadro 17 se observa que el tratamiento T3 es el que presentó las plantas más jóvenes (cuatro años) mientras que el T1 correspondió a la plantación más vieja (60 años). Asimismo, se muestra que el T1 fue el que menos cafetos tuvo y T5, por el contrario, el de más plantas por hectárea.

La Figura 32 muestra la comparación entre la producción de café cereza del ciclo 2000-2001 y 2001-2002 por tratamiento. Como se puede observar, sólo existió coherencia en los valores de los tratamientos T1 y T2 para ambos ciclos mientras que hubo una

diferencia muy grande entre ciclos en los tratamientos T3, T4 y T5. En general, se ve claramente que en el año 2001 la producción fue mejor, y el comportamiento tan diferente que se observa entre ambos ciclos pudo deberse al fenómeno fisiológico llamado "alternancia", con el cual en un ciclo la producción es alta y disminuye drásticamente en el siguiente. La escasa producción del T3 en los dos ciclos pudo obedecer a que la plantación es muy joven (cuatro años) y aún no ha alcanzado su plena madurez fisiológica; T2 es el que mantuvo una producción homogéneamente alta en los dos ciclos, pues tanto su número de plantas como su edad (14 años) fueron intermedios en comparación con los demás tratamientos. Por ello, el comportamiento de la producción obedeció también a la edad del cafetal y al número de cafetos por hectárea como se muestra en seguida.

Cuadro 17. Características y producción de café por tratamiento en los sistemas agroforestales de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Tratamiento	Área (m^2)	Edad (años)	Cafetos por hectárea	Producción de café en el ciclo 2000-2001 ($kg\ ha^{-1}$)	Producción de café en el ciclo 2001-2002 ($kg\ ha^{-1}$)
T1	723	60	1,895	1,604.43	2,005.53
T2	373	14	2,062	2,109.92	2,975.87
T3	293	4	2,220	211.60	716.72
T4	267	14	1,909	340.82	3,970.03
T5	545	13	2,231	116.50	3,203.88

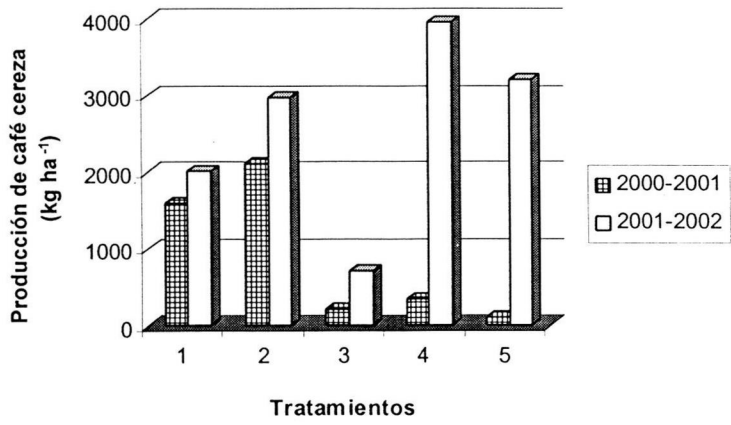


Figura 32. Comparación de la producción de café cereza por tratamiento entre los ciclos 2000-2001 y 2001-2002 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

La Figura 33 muestra que en el primer ciclo (2000-2001) no existió una relación significativa entre la producción de café y la edad del cafetal (R^2 =0.32), mientras que en el ciclo siguiente la relación fue mucho mayor (R^2 = 0.92). Sin embargo, se aprecia que la tendencia en ambos casos parece ser la misma, es decir, que a mayor edad del cafetal disminuye la productividad del mismo, lo cual es lógico. También se pude observar en el análisis de los dos ciclos que la máxima productividad parece alcanzarse cuando el cafetal alcanza su edad media (30 años). El modelo polinomial fue el que mejor se ajustó al comportamiento de la fisiología natural de las plantas, y también el que tuvo la mayor R^2.

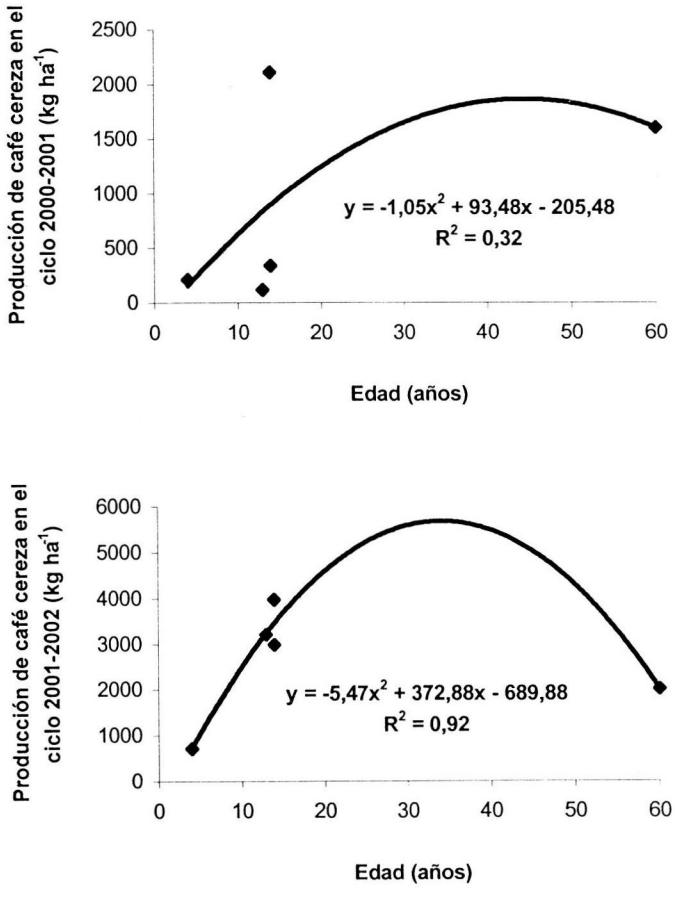


Figura 33. Relación entre la producción de café cereza y la edad por tratamiento durante los ciclos 2000-2001 y 2001-2002 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

En cuanto a la relación entre la producción de café por tratamiento y el número de cafetos por hectárea (Figura 34), se observó un comportamiento contrario al que ocurrió

en la relación entre la edad y la producción. En este caso, existe mejor relación entre ambas variables en el ciclo 2000-2001 que en el 2001-2002, donde el coeficiente de regresión decae drásticamente. Además, la tendencia que nos indica la gráfica tampoco parece lógica pues se esperaría que a mayor densidad de plantas la producción fuera mayor. Sin embargo, la producción obtenida en T4 y T5 nos dice lo contrario, pues siendo los dos de edades semejantes, en los dos ciclos se obtiene mayor producción en T4 que en T5, y T4 tiene menos cafetos por hectárea que T5.

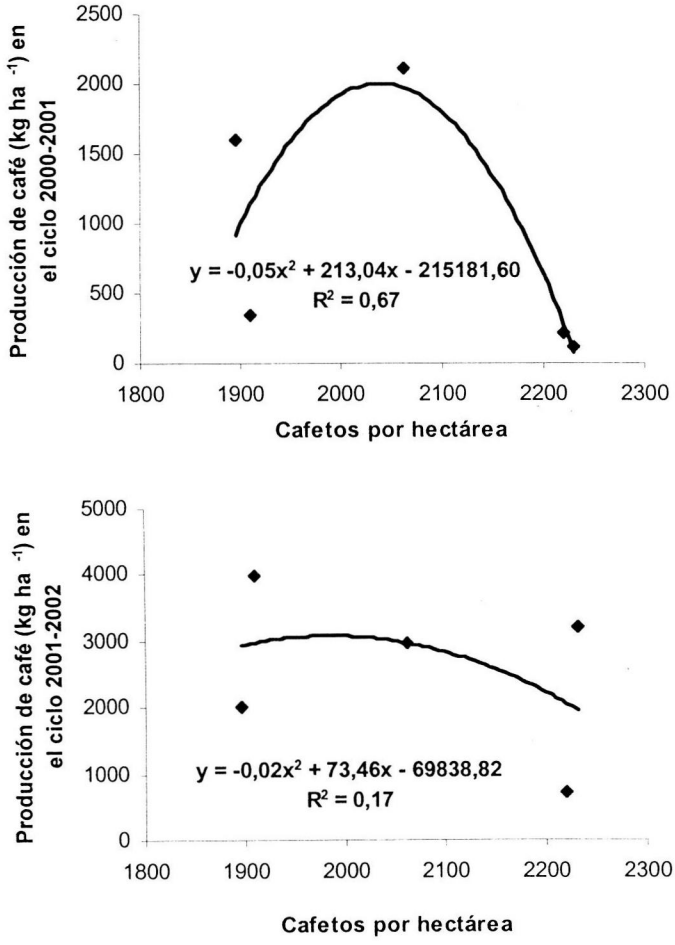


Figura 34. Relación entre la producción de café cereza y la cantidad de plantas de café por tratamiento durante los ciclos 2000-2001 y 2001-2002 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Al parecer, los sistemas agroforestales de café bajo sombra con características similares a los tratamientos aquí estudiados tienen su límite máximo de densidad de plantas, que puede estar entre las 2000 y las 2100 plantas por hectárea (Figura 34), dentro del cual pueden tener también su máxima productividad.

En cuanto a las producciones de los cultivos asociados en los tratamientos T4 y T5, el rendimiento de naranja fue de 1124 kg ha^{-1}, y el rendimiento de semilla de palma camedor fue de 39 kg ha^{-1}, respectivamente. En los mismos tratamientos, Hernández (2001) obtuvo en el año 2000, 1241 kg ha^{-1} de naranja (T4) y 77 kg ha^{-1} de semilla de palma camedor (T5). Lo anterior también podría relacionarse con el fenómeno de la alternancia.

5.8. TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

Al finalizar la presente investigación, se realizó un Taller de Evaluación Rural Participativa en las instalaciones de las oficinas de la Unión de Ejidos Náhuatl-Otomí-Tepehua (UENOT), en Tlachichilco, Veracruz, para dar a conocer a los productores, delegados del café y promotores de agroecología de la región los resultados obtenidos en este trabajo, con el fin de promover las prácticas de conservación de los recursos agua, suelo y planta, y contribuir así al uso racional de los recursos naturales (Anexo 8.1).

6. CONCLUSIONES

Respecto al objetivo general:

- La erosión hídrica de tipo pluvial es un factor importante de degradación del suelo en zonas tropicales, aún en sistemas agroforestales de café (*Coffea* spp.) bajo sombra.
- Las prácticas de manejo adecuadas en plantaciones de café bajo sombra ayudan a conservar los recursos agua, suelo y planta.
- Es posible usar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) para estimar la pérdida de suelo, bajo las condiciones biofísicas de las zonas tropicales de México.

Respecto a los objetivos específicos:

- El sistema agroforestal de café bajo sombra de tipo rusticano, fue tan efectivo en el control de la erosión hídrica y pérdida de nutrimentos como el policultivo tradicional mejorado con terrazas individuales y barreras vivas de palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.) y palo de agua (*Eupatorium morifolium* Mill). El policultivo tradicional mejorado con cobertura de canavalia (*Canavalia ensiformis* L.) y de cacahuatillo (*Arachis pintoi* Krap & Greg) tuvieron los mayores escurrimientos y pérdidas de suelo.
- No existió un comportamiento definido de la densidad aparente y el contenido de humedad para explicar significativamente las tendencias observadas del escurrimiento, y los valores de infiltración fueron muy semejantes, por lo que tampoco ayudaron a explicar las diferencias en escurrimiento superficial.
- En cuanto a la cobertura vegetal, las coberturas arbórea y herbácea no influyeron de modo determinante en la escorrentía y pérdida de suelo, por el contrario, las coberturas arbustiva y por mantillo influyeron de manera determinante.
- Es válido utilizar la EUPS ajustada empleando el índice de erosividad AI_m y el factor cobertura y manejo del suelo considerando la cobertura arbustiva y de mantillo ajustada por su espesor, para predecir la pérdida de suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra.

- Para el ecotipo estudiado (trópico húmedo) el EI_{30} sobreestimó entre 2 y 21 veces los valores de pérdida de suelo observados. Sin embargo, el AI_m lo hizo entre aproximadamente 1 y 10 veces. Contrariamente, el KE>25 la subestimó entre 3 y 33 veces.

Respecto a las hipótesis planteadas:

- La hipótesis uno se rechaza, porque se demostró que en los sistemas agroforestales de café bajo sombra, a pesar de sus múltiples componentes, sí son necesarias las prácticas de conservación, ya que si dichos sistemas no tienen una adecuada cobertura arbustiva y de mantillo, y no presentan prácticas mecánicas y vegetativas, se puede acelerar el proceso erosivo.

- La hipótesis dos también se rechaza, porque la EUPS sí se puede aplicar con un buen margen de precisión en sistemas agroforestales de café bajo sombra de zonas tropicales, siempre y cuando se utilice el índice de erosividad y un factor C adecuados a las condiciones del sitio de estudio.

Finalmente, se constató que la agroforestería, representada en este caso por la inclusión de diferentes prácticas de conservación del suelo y el manejo de cultivos asociados, puede tener un efecto trascendental en el manejo sustentable desde el punto de vista ecológico de los recursos naturales, otorgando nuevas y viables alternativas de desarrollo a los cafeticultores de la región.

7. LITERATURA CITADA

Amézquita, E. and M. Forsythe. 1985. Rainfall intensity, erosivity index and erodibility in Turrialba, Costa Rica. *In:* Pla S., I. (ed.). Soil Conservation & Productivity Proceedings. Maracay, Venezuela. pp. 316-326.

Alarcón, M. O.; M., Aldazábal R.; J., Terencio M. 1996. Influencia del sol y la sombra en la calidad y el rendimiento del grano de café. Centro agrícola. Revista del ministerio de educación superior de la República de Cuba (23)3:11-15.

Anacafé. 1999. Manual de cafeticultura orgánica. Anacafé. Guatemala. 169 p.

Arellano L., L.A.J. 1990. Establecimiento de plantaciones. *In:* El cultivo del cafeto en México. Instituto Mexicano del Café (INMECAFE) y NESTLE Eds. Xalapa, Ver., México. pp. 109-119.

Arias R., H. M.. 1980. El factor R de la ecuación universal de pérdida de suelo en la cuenca del Río Texcoco. Tesis M. C. Esp. en Suelos. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 120 p.

Arnoldous, H. M. J. 1980. An aproximation of the rainfall factor in the universal soil equation. *In*: Boodt, M. and D. Gabriels (eds.). Assesment of erosion. Wiley, Great Bretain. pp. 127-132.

Ataroff, M. y M. Monasterio. 1997. Soil erosion under different management of coffee plantations in the Venezuelan Andes. Centro de Investigaciones Ecológicas de Los Andes Tropicales (CIELAT), Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes. Mérida, Ven. Soil Technology. Elsevier 11:95-108.

Ayres, Q. C. 1960. La erosión del suelo y su control. Traducción de la edición inglesa. Omega. Barcelona. 441 p.

Barrientos M., E. 1990a. Ecología del cafeto. *In:* El cultivo del cafeto en México. INMECAFE y NESTLE Eds. Jalapa, Ver. México. pp. 29-31.

Bassols B., A. 1987. Geografía económica de México. 5 ed. Trillas. México. p. 122.

Baver L., D.; W. H. Gardner y W. R. Gardner. 1991. Física de suelos. Noriega editores. México. 529 p.

Beer, J. 1996. Efectos de los árboles de sombra en cuanto a la productividad y sostenibilidad de un cafetal. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 14 p.

Beer, J.; R. Muschler; D. Kass and E. Somarriba. 1998. Shade mangement in coffee and cacao plantations. Agroforestry Systems 38:139-164.

Benson, S. W. 1981. Cálculos químicos. Limusa. México. pp. 112-115.

Bermudez M., M. M. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema de café (*Coffea arabica* L.), poro (*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. F. Cook) y laurel (*Cordia alliodora* (R. & P.) Cham) en Turrialba, Costa Rica. Tesis M. Sc. CATIE. Turrialba, C. R. 74 p.

Bernal B., C. 1989. Variación de la velocidad de infiltración como función del tirante H y condición inicial de humedad (01) para el modelo empírico de Kostiakov-Lewis. Tesis (Ing. Agr. Esp. en Zonas Áridas). UACh. Bermejillo, Dgo. pp. 1-45.

Bernasconi, W.G. 1991. Manual de laboratorio para el manejo físico de suelos; temporal y riego, parcela y cuenca. UACh. Colección Cuadernos Universitarios. Serie Agronómica no. 22. Chapingo, México. pp. 39-46, 105-117, 161-164.

Binder, U. 1997. Manual de leguminosas de Nicaragua. Tomos I y II. PASOLAC, E.A.G.E. Estelí. Nicaragua. 528 p.

Brenneman, L. G. and J. M. Laflen. 1982. Modeling sediment deposition behind corn residue. Transactions of the ASAE. 25(5):1245-1250.

Canfield, R. H. 1941. Application of the line interception method in sampling range vegetation. Society of American Foresters. Journal of Forestry. Washington, D. C. 39(4):388-394.

Cardozo G., A. 1983. Efecto de la cobertura vegetal sobre el proceso de infiltración de agua en el suelo. Tesis (Ing. Agr. Fitotecnista). UANL. Fac. de Agronomía, Marín, N. L. pp. 2-49.

Castro, F., E. H. 1992. Cultivo, recolección y comercialización de la palma camedor *Chamaedorea* spp. en la Huasteca Potosina. Tesis profesional. UACh. Chapingo, México. 43 p.

Cavazos, T. y O. Rodríguez. 1992. Manual de prácticas de física de suelos. Ed. Trillas, México, pp. 35 –39.

CCA (Comisión para la Cooperación Ambiental). 1999. Medición del interés de los consumidores en el café de sombra mexicano: evaluación de los mercados de Canadá, México y Estados Unidos. CCA. Canadá. 40 p.

Charles, L. J. 1987. Evaluación de la capacidad erosiva de la lluvia en la cuenca del Río Texcoco. Tesis M. C. Esp. en Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. pp. 47-63.

CIDICCO. 1997. Experiencias sobre cultivos de cobertura y abonos verdes. CIDICCO. Honduras. 131 p.

Coras M., P. M. 1987. Características y propiedades físicas del suelo en relación con el riego. Depto. de Fitotecnia. UACh. Chapingo, Méx. pp. 34-38 y 190-224.

Díaz C., S.; E. Escamilla P. y R. Sosa (Coords.). 1991. Cafeticultura: producción, beneficio y comercialización. Subdirección de Centros Regionales, CRUO-UACh. Huatusco, Veracruz, México. 70 p.

Duke, J. 1981. Handbook of legumes of world economic importance. Plenum Press. New York, USA. 345 p.

Dvorak J. and L. Novak. 1994. Soil conservation and silviculture. Elservier. Amsterdam. 339 p.

El-Swaify, S. A. and J. H. Fownes. 1988. Erosion processes and models: Applications in the tropics. *In:* Moldenhauer, W. C.; Hudson, N. (eds.). Conservation farming on steep lands. Soil and Water Conservation. Ankeny, Iowa. USA. pp. 135-147.

El-Swaify, S.A. and E. W. Dangler. 1982. Rainfall erosion in the tropics: a state of the art. *In:* Kussow W. (ed) Soil erosion an conservation in the tropics. A.S.A. Special Publ. No. 43. pp. 1-26.

Elwell, H. A. and M. A. Stocking. 1976. Vegetal cover to estimate soil erosion hazard in Rhodesia. Geoderma. 15:61-70.

Escamilla P., E. 1993. El café cereza en México, tecnología de la producción. UACh, CIESTAAM, Dirección de Centros Regionales, (DCR), CRUO. Chapingo, México. 116 p.

Evans, R. 1994. Mecanismos de la erosión hídrica y sus controles espaciales y temporales: un punto de vista empírico. *In:* Kirkby M. J. y Morgan R. P. C. 1994. Erosión de suelos. Limusa. México. 375 p.

FAO. 1998. World reference base for soil resources. FAO. Rome, Italy. 88p.

Figueroa S., B. 1975. Pérdidas de suelo y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis M. C. Colegio de Postgraduados. Chapingo México. 209 p.

Figueroa S., B.; A. Amante O.; H. G. Cortes T.; J. Pimentel L.; E. S. Osuna C.; J. M. Rodríguez O. y F. J. Morales F. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SARH-CP. México. Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas. pp. 72-150.

Flores, A. R. 1980. Manual de prácticas; ecología general. Fitotecnia. UACh. 376 p.

Foster, G. R.; R. A. Young; M. J. M. Romkens and C. A. Onstad. 1985. Processes of soil erosion by water. *In:* Soil Erosion and Crop Productivity. Follet, R. F. y Stewart, B. A. (eds.). ASA-CSSA-SSSA, Medison, Wisconsin. pp. 137-162.

Fournier, F. 1972. Conservación de suelos; naturaleza y recursos del medio ambiente. Consejo de Europa. 163 p.

Franco, L. J.; G. De la Cruz A.; A. Cruz G.; A. Rocha R.; N. Navarrete S.; G. Flores M.; E. Cato M.; S. Sánchez C.; G. Abarca A.; C. Mk. Bedia S. 1995. Manual de ecología; parte 3; comunidades y ecosistemas. Ed. Trillas. México. 266 p.

García V., E. 1999. La participación social de las mujeres nahuas, tepehuas, otomíes y mestizas de la huasteca veracruzana. Tesis (Ing. Agr. Esp. en Zootecnia). UACh. 166 p.

Gavande, S. A. 1972. Física de suelos; principios y aplicaciones. Limusa-Wiley. México. pp.180-183.

Gumbs, F. A. and J. J. Lindsay. 1982. Runoff and soil loss in Trinidad under different crops and soil management. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:1264-1266.

Goicoechea M., J. 1971. El café, situación general en México. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de agricultura. Chapingo, México. 87 p.

Hernández G., J. 2002. Estructura, productividad y conservación del suelo y agua en sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* L.) en la Huasteca Alta de Veracruz. Tesis Lic. Departamento de Agroecología. UACh. 187 p.

Hernández S. R, M. E. 2001. Erosión y conservación de suelos en sistemas agroforestales de café (*Coffea spp.*) en la Huasteca Alta de Veracruz. Tesis M. C. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. UACh. Chapingo, Méx. 149 p.

Hofmann, L., R. E. Ries and J. E. Gilley. 1983. Relationship of runoff and soil loss to ground cover of native and reclaimed grazing land. Agronomy Journal 75:599-602.

Holy, M. 1980. Erosion and environment. Pergamon Press. Oxford-New York-Toronto-Sydney-Paris-Frankfort. 225 p.

Howeler, R. H. 1984. Prácticas de conservación de suelos para cultivos anuales; manejo y conservación de ladera. Memorias del primer seminario sobre manejo y conservación de suelos. SCSC. Cali, Colombia. pp. 77-94.

Hudson, N. W. 1977. The factors determining the extent of soil erosion. *In:* Greenland D. J. and Lal R. (eds.) Soil erosion end manangement in the humid tropics. pp. 11-16.

Hudson, N. W. 1980. Erosion prediction with insufficient data. *In:* Boot M. and Gabriels D. (eds.) Assessment of erosion. . John Wiley & Sons. pp. 225-284.

Hudson, N. W. 1981. Soil conservation. Cornell Univ. Press. Ithaca, N. Y., U.S.A. 324 p.

INEGI. 1991. Veracruz; resultados definitivos, tabulados básicos. Tomo I, XI censo general de población y vivienda, 1990. INEGI. México. 680 p.

INEGI. 1996. Conteo 95 de población y vivienda, resultados definitivos, tabulados básicos, Veracruz. Tomo II. INEGI. México. pp 639-1239.

INEGI. 1997a. Anuario estadístico del estado de Veracruz. Tomo I y II. INEGI-Gobierno del Estado de Veracruz. México. 958 p.

INEGI. 1997b. Veracruz; datos por ejido y comunidad agraria; XI censo general de población y vivienda, 1990 y VII censo agropecuario, 1991. Tomos I y II. INEGI. México. 922 p.

INEGI. 2000. Anuario estadístico Veracruz. INEGI-Gobierno del estado de Veracruz. México. Tomo I y II. 906 p.

Jiménez A., E. y A. D. Golberg. 1982. Efecto de diferentes estructuras vegetales sobre el balance hídrico del cafetal. *In:* Jiménez A., E. y A. Gómez-Pompa. (Eds.). Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero: 39-54. Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB). CECSA. México, D.F. pp. 39-54.

Jiménez A., E. 1982. Comparación de la producción de materia orgánica de un bosque caducifolio y el cafetal. En: Jiménez A., E. y A. Gómez-Pompa. (Eds.). Estudios

ecológicos en el agroecosistema cafetalero. Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB). CECSA. México, D.F. pp. 55-63.

Johnson, L. C. 1987. Soil tolerance: Fact or myth? Journal of Soil & Water Conservation. 42:155-160.

Kirkby, M. J. y R. P. C. Morgan. 1984. Erosion de suelos. Trad. por Hurtado V. J. Limusa. México. 375 p.

Kostiakov, A. N. 1932. On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of ameloriation. *In:* Trans. 6th Comm. Internl. Soil. Sci. Soc. Russian Part. pp. 17-21.

Krishnamurthy, L. y M. Ávila. 1999. Agroforestería básica. PNUMA-FAO. Red de Formación Ambiental. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental. pp. 1-125.

Lal, R. 1976a. Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria. I; effects of slope, crop rotation and residue managements. Geoderma. 16:363-375.

Lal, R. 1976b. Soil erosion on Alfisol in Western Nigeria. III; effects of rainfall characteristics. Geoderma. 19:389-401.

Lal, R. 1976c. Soil erosion on Alfisol in Western Nigeria, IV; nutrient element losses in Runoff and eroded sediments. Geoderma. 19:389-401.

Lal, R. 1977. Review of soil erosion research in Latin America. *In:* Soil conservation and management in the humid tropics. Greenland y Lal (eds.) Jonh Wiley & Sons, Chicherster, West Sussex, Gran Bretaña. pp. 231-240.

Lal, R. 1979. Analysis of factors affecting rainfall erosivity and soil erodibility. *In:* Greenland, D. J. y Lal, R. (eds.). Soil conservation & mangement in the humid tropics. John Wiley & Sons. Great Britain. pp. 49-56.

Lal, R.; T. L. Lawson and A. H. Anastase. 1980. Erosivity of tropical rains. *In:* Boot M. y Gadriels D. (eds.) Assesment of erosion. John Wiley & Sons. pp. 143-151.

Lang, R. D. and L. A. H. McCaffrey. 1984. Ground cover-its affects on soil loss from grazed runoff plots, gunnedah. Journal of Soil and Water Conservation 40:56-61.

León T., R. A. 1990. Determinación de la hidroerosión laminar, utilizando varillas metálicas asociadas a parcelas de escorrentía; La Suiza, cuenca del Río Tuis; Costa Rica. Tesis M. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 174 p.

Lewis, M. R. y Powers, W. L. 1938. Study of factors affecting infiltration. Sci. Am. Proc. 3:334-337.

Licona V., A. L.; E. Escamilla P.; S. Díaz C. Y J. R. Pérez P. 1995. Diversificación productiva en regiones cafetaleras de México. *In:* Memorias del III Simposio internacional del café. Confederación mexicana de productores de café. Xicotepec de Juárez, Puebla, México. pp. 101-112.

Martínez M, F. 1960. Muestreo de pastizales en zonas áridas; análisis botánicos por el método de Línea de Canfield. ENA-SAG. Chapingo, Méx. 128 p.

McCormack, D. E. K.; K. Young and L. W. Kimberlin. 1982. Current criteria for determining soil loss tolerance. *In:* B. L. Schmidt, R. R. Allmaras, J. V. Mannering and R. I. Papendick. Determinants soil loss tolerance. ASA Special Publication Number 45. Soil Science Soc. Am. WI, USA. pp. 95-111.

McKee, R. 1930. Plantas tropicales para cultivos de cobertura y abonos verdes. Boletin de la Unión Panamericana. Washington D. C., USA 69:1-30.

McVaugh, R. 1984. Flora Novo-Galiciana, a descriptive account of the vascular plants of Western Mexico. Vol 12. Compositae. The University of Michigan. Ed. William R. Anderson. USA. pp. 395-396.

Meyer, L. D. 1981. How rain intensity affects interrill erosion. Transaction of the ASAE. pp. 1472-1475.

Meyer, L. D. 1984. Evolution of the universal soil loss equation. Journal of Soil and Water Conservation 39: 99-104.

Miller G., T. Jr. 1994. Ecología y medio ambiente; introducción a la ciencia ambiental, el desarrollo sustentable y la conciencia de conservación del planeta tierra. Iberoamericana. México. 867 p.

Moench, M. 1991. Soil erosion under a successional agroforestry sequence: a case study from Indukki District, Kerala, India. Agroforestry Systems 15(1):31-50.

Moguel, P. y V. M. Toledo. 1996. El café en México, ecología cultura indígena y sustentabilidad. Ciencias. 43: 40-51.

Monroigi., M. F. 1997. La sombra en el cafetal: debatible, controversial, sustentable. Universidad de Puerto Rico. 14 p.

Morgan R., P. C. 1997. Erosión y conservación del suelo. Mundi-prensa. Madrid, España. 343 p.

Muschler, R. 1997. Sombra o sol para un cafetal sostenible: un nuevo enfoque de una vieja discusión. *In:* IICA/PROMECAFE. Memorias XVIII Simposio Latinoamericano de Cafeticultura. Editorama. San José, Costa Rica. pp. 471-476.

Nair P. K. R., M. R. Rao and E. C. M. Fernandes. 1994. Tree Crop Interactions in Sustainable Agroforestry Systems. *In:* 15th World Congress of soil Science. Volume: 7ª, Commission VI: Simposia. pp. 110-137.

Nair, P. K. R. 1997. Agroforestería. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. UACh. Chapingo, México. pp. 1-40.

Narro F., E. 1994. Física de suelos; con enfoque agrícola. Trillas. México. pp. 71-73, 80-82, 111-119.

Nolasco, M. 1985. Café y sociedad en México. Centro de ecodesarrollo. México. 454 p.

Ojeda B, W. 1984. Consideraciones sobre la infiltración de agua en el suelo. Tesis (Ing. Agr. Esp en Irrigación). UACh. 132 p.

Omoro L. M. A., y P. K. R. Nair. 1993. Effects of mulch with multipurpose –tree prunings on soil and water run-off under semi-arid condictions in Kenya. Agroforestry Systems 22:255-239.

Pérez N., J. 1999. Apuntes del curso de manejo de suelos en sistemas agroforestales. Maestría en Agroforestería para el desarrollo sostenible. UACh. Chapingo, Méx. Comunicación personal.

Pérez N, J.; V. Ordaz CH.; C. Ayala S.; J. Hernández G. 2002. Manual de conservación del suelo y agua en sistemas agroforestales de café bajo sombra. UACh. Chapingo, Méx. 35 p.

Perles R., M. J. 1997. Medir la erosión: fragilidad erosiva en el valle del río Vélez. CEDMA. España. 230 p.

Ramírez G., E. y A. González R. 1990. Manejo de sombra. En: El cultivo del cafeto en México. INMECAFE, NESTLE. Eds. Xalapa, Ver., México. pp. 143-147.

Ramírez-Cruz, M. y J. L. Oropeza-Mota. 2001. Eficiencia de dos prácticas productivo-conservacionistas para controlar erosión de laderas en el trópico. Agrociencia 35(5):489-495.

Ríos B., J. D. 1987. Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo. Tesis M. C. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. 244 p.

Ríos B., J. D. y E. Jr. Ventura R. 1989. Caracterización de las lluvias erosivas en Chapingo, Méx. *In:* Memorias del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (20-25 de noviembre de 1989). M. A. Vergara S.; G. Alcantar G.; y A. Aguilar S. (eds.). Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. p. 210.

Rivas T., D.; M. Martínez M.; E. García M.; F. González C. 1990. Infiltración en tres complejos naturales suelo-vegetación de la cuenca del río Texcoco. Agrociencia, serie Agua-Suelo-Clima 1(1):201-217.

Rodríguez P., O.; N. Fernández de La Paz; A. Fernández A. 1994. Evaluación de índices de erosividad de una cuenca alta de la Cordillera Central de Venezuela. Rev. Fac. Agron. (Maracay). Venezuela 20(3-4):177-187.

Roose, E. J. 1979. Application of the universal soil loss equation of Wischmeier and Smith in West Africa. *In:* Greenland, D. J. and LAL, R. (eds.). Soil conservation and management in the humid tropics. John Wiley & Sons. Gran Bretaña. pp. 177-187.

Rzedowski, J. 1988. Vegetación de México. Limusa, México. pp. 159-178.

SAG (Secretaría de Agricultura y Ganadería). 1975. Conservación del suelo y el agua. SAG. México. 183 p.

Santoyo C., V. H.; S. Díaz C. Y B. Rodríguez P. 1994. Sistema agroindustrial café en México. Colección: Estructura y dinámica de los sistemas agroindustriales. UACh, CIESTAAM, SARH. Chapingo, México. 157 p.

SECAB (Secretaría Ejecutiva del Convenio Andrés Bello). 1990. Especies vegetales promisorias. SEGAB. Bogota, Colombia. pp. 71-86, 195-254.

SEGOB (Secretaria de Gobernación). 1988. Colección enciclopédica de los municipios; los municipios de Veracruz. SEGOB. México. pp. 457-458.

SEGOB. 2001. Sistema nacional de información municipal. CD. Versión 4.0 mejorada.

SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1996. Programa Forestal y de Suelos 1995-2000. SEMARNAP. México. pp. 30-40.

SOIL SURVEY STAFF. 1998. Keys to soil taxonomy. USDA. 8 ed. 325 p.

Solano de la Sala T., J. A.; M. Martínez M.; J. L. Oropeza M.; M. Anaya G. 1990. Efecto de la relación precipitación-escorrentía en el proceso erosivo en diferentes usos del suelo en la cuenca del río Texcoco. Agrociencia, serie Agua-Suelo-Clima 1(3):25-41.

SPP. 1983a. Carta hidrológica de aguas superficiales. México. 1:250 000. Color. F14 11.

SPP. 1983b. Carta Geológica. México. Esc. 1:250 000. Color. F14 11.

Staver, C. 1997. *Arachis pintoi* asociado con café. *In:* CIDICCO. Experiencias sobre cultivos de cobertura y abonos verdes. CIDICCO. Honduras. 131 p.

Suárez De Castro, F. 1952. Pérdidas por erosión de elementos nutritivos bajo diferentes cubiertas vegetales. Agricultura tropical 8(8):31-36.

Suárez De Castro, F. 1979. Conservación de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica. 315 p.

Tothill, J. L. 1977. Determinación de la composición botánica de la pradera. Trad. por P. A. Martínez H. Zootecnia. UACh. Chapingo, Méx. pp. 6-24.

Uresti G., J. 1992. Evaluación semidetallada del riesgo potencial de erosión hídrica en el estado de Veracruz. *In:* Memoria de la V Reunión Científica del Sector Agropecuario y Forestal del Estado de México. INIFAP-Veracruz, Ver. pp. 107-122.

Uribe-Gómez, S.; N. Francisco-Nicolás; A. Turrent-Fernández. 2002. Pérdida de suelo y nutrimentos en un Entisol con prácticas de conservación en Los Tuxtlas, Veracruz, México. Agrociencia 36(2):161-168.

Useche, R. y J. Méndez. 1987. Evaluación preliminar del factor "C" en la ecuación universal de pérdida de suelo bajo diferentes prácticas de manejo en el cultivo del cafeto. Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. UNET. Táchira, Ven. Revista Científica UNET 1(10-1):67-75.

Villaseñor, A. 1987. Cafeticultura moderna en México. Agrocomunicación. Sáenz Colín y Asociados. Texcoco, México, pp. 469 y 531.

Weaver, J. E. y F. E. Clements. 1944. Ecología vegetal. Buenos Aires, Arg. Acme Agency. pp. 20 y 21.

Wischmeier, W. H. 1959. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. Soil Sci. Soc. of Amer. Proc. (23)3:246-249.

Wischmeier, W. H. 1960. Cropping-management factor evaluations for a universal soil-loss equation. Soil Sci. Soc. Proc. 24:322-326.

Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. USDA. Agr. Handbook. 282 p.

Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Agricultural Handbook No. 537. Sci. and Educ. Admin. U. S. Departament of Agriculture. Washington, D. C. 59 p.

Young, A. 1989. Agroforestry for soil conservation. ICRAF, Nairobi and Cab International, Uk. 276 p.

Zúñiga G., J. L.; R. Camacho C., S. Uribe G.; N. Francisco N. y A. Turrent F. 1993. Terrazas de muro vivo para sustentar la productividad en terrazas agrícolas de ladera. Folleto técnico no. 6. SARH-INIFAP. México. 29 p.

8. ANEXOS

Cuadro A1. Precipitación observada de enero a diciembre en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Núm. evento	Fecha dd/mm/a	Precipitación (mm)	Precipitación (%)	Núm. evento	Fecha dd/mm/a	Precipitación (mm)	Precipitación (%)
1	01-01-01	1.8	0.08	51	10-05-01	0.8	0.04
2	02-01-01	8,4	0,38	52	11-05-01	0,8	0,04
3	03-01-01	0,4	0,02	53	13-05-01	0,8	0,04
4	05-01-01	0,2	0,01	54	14-05-01	13,0	0,59
5	08-01-01	2,2	0,10	55	21-05-01	7,0	0,32
6	09-01-01	8,6	0,39	56	22-05-01	74,0	3,38
7	15-01-01	7,6	0,35	57	23-05-01	14,4	0,66
8	18-01-01	9,0	0,41	58	25-05-01	0,8	0,04
9	19-01-01	3,6	0,16	59	31-05-01	0,2	0,01
10	20-01-01	1,6	0,07	60	01-06-01	59,4	2,71
11	29-01-01	0,6	0,03	61	06-06-01	0,4	0,02
12	31-01-01	12,0	0,55	62	07-06-01	3,8	0,17
13	02-02-01	4,0	0,18	63	11-06-01	3,2	0,15
14	03-02-01	6,2	0,28	64	12-06-01	15,4	0,70
15	04-02-01	6,2	0,28	65	14-06-01	10,0	0,46
16	05-02-01	17,8	0,81	66	15-06-01	43,6	1,99
17	10-02-01	6,4	0,29	67	19-06-01	1,0	0,05
18	13-02-01	2,2	0,10	68	20-06-01	18,4	0,84
19	16-02-01	1,2	0,05	69	22-06-01	27,4	1,25
20	17-02-01	0,6	0,03	70	23-06-01	25,4	1,16
21	18-02-01	1,0	0,05	71	25-06-01	3,0	0,14
22	23-02-01	0,6	0,03	72	26-06-01	69,6	3,18
23	26-02-01	14,8	0,68	73	27-06-01	47,2	2,16
24	01-03-01	0,4	0,02	74	29-06-01	2,4	0,11
25	02-03-01	0,6	0,03	75	01-07-01	14,4	0,66
26	06-03-01	7,2	0,33	76	02-07-01	59,2	2,70
27	09-03-01	0,2	0,01	77	03-07-01	14,2	0,65
28	10-03-01	0,2	0,01	78	04-07-01	0,6	0,03
29	12-03-01	0,4	0,02	79	05-07-01	0,6	0,03
30	15-03-01	22,6	1,03	80	06-07-01	21,2	0,97
31	16-03-01	3,4	0,16	81	07-07-01	8,8	0,40
32	18-03-01	24,2	1,11	82	08-07-01	37,0	1,69
33	19-03-01	14,6	0,67	83	09-07-01	0,2	0,01
34	21-03-01	0,4	0,02	84	10-07-01	1,6	0,07
35	25-03-01	4,0	0,18	85	11-07-01	31,4	1,43
36	26-03-01	1,4	0,06	86	12-07-01	4,8	0,22
37	31-03-01	1,0	0,05	87	13-07-01	4,4	0,20
38	05-04-01	1,8	0,08	88	14-07-01	12,4	0,57
39	10-04-01	0,6	0,03	89	17-07-01	37,4	1,71
40	13-04-01	1,0	0,05	90	19-07-01	0,4	0,02
41	15-04-01	0,4	0,02	91	20-07-01	0,4	0,02
42	18-04-01	1,2	0,05	92	23-07-01	0,2	0,01
43	23-04-01	4,2	0,19	93	25-07-01	29,6	1,35
44	24-04-01	36,8	1,68	94	26-07-01	37,8	1,73
45	26-04-01	13,4	0,61	95	27-07-01	0,4	0,02
46	27-04-01	8,2	0,37	96	28-07-01	10,4	0,48
47	29-04-01	2,0	0,09	97	31-07-01	21,0	0,96
48	04-05-01	0,4	0,02	98	02-08-01	29,6	1,35
49	06-05-01	54,2	2,48	99	03-08-01	2,4	0,11
50	08-05-01	20,6	0,94	100	06-08-01	8,0	0,37

Continuación

Cuadro A1. Continuación.

Núm. evento	Fecha dd/mm/aa	Precipitación (mm)	Precipitación (%)	Núm. evento	Fecha dd/mm/aa	Precipitación (mm)	Precipitación (%)
101	08-08-01	7,6	0,35	140	08-10-01	3,6	0,16
102	09-08-01	11,2	0,51	141	09-10-01	0,2	0,01
103	10-08-01	8,2	0,37	142	10-10-01	1,6	0,07
104	11-08-01	14,6	0,67	143	11-10-01	1,0	0,05
105	12-08-01	1,4	0,06	144	14-10-01	13,6	0,62
106	14-08-01	25,6	1,17	145	15-10-01	4,0	0,18
107	15-08-01	0,2	0,01	146	16-10-01	13,0	0,59
108	16-08-01	33,4	1,53	147	25-10-01	31,4	1,43
109	23-08-01	17,6	0,80	148	26-10-01	37,8	1,73
110	24-08-01	0,8	0,04	149	27-10-01	12,8	0,58
111	25-08-01	20,6	0,94	150	28-10-01	10,4	0,48
112	26-08-01	29,6	1,35	151	29-10-01	12,6	0,58
113	27-08-01	2,6	0,12	152	03-11-01	26,0	1,19
114	01-09-01	12,2	0,56	153	04-11-01	12,0	0,55
115	02-09-01	4,2	0,19	154	06-11-01	0,2	0,01
116	03-09-01	23,6	1,08	155	09-11-01	8,2	0,37
117	04-09-01	14,0	0,64	156	11-11-01	2,0	0,09
118	09-09-01	70,0	3,20	157	16-11-01	2,6	0,12
119	10-09-01	57,2	2,61	158	17-11-01	61,2	2,80
120	11-09-01	45,0	2,06	159	20-11-01	7,2	0,33
121	12-09-01	29,0	1,33	160	22-11-01	0,6	0,03
122	13-09-01	1,2	0,05	161	23-11-01	0,2	0,01
123	14-09-01	60,0	2,74	162	27-11-01	0,2	0,01
124	15-09-01	0,4	0,02	163	28-11-01	5,4	0,25
125	19-09-01	13,6	0,62	164	29-11-01	1,0	0,05
126	20-09-01	0,6	0,03	165	30-11-01	0,2	0,01
127	21-09-01	34,2	1,56	166	05-12-01	2,6	0,12
128	22-09-01	10,2	0,47	167	07-12-01	0,2	0,01
129	23-09-01	54,8	2,50	168	08-12-01	8,0	0,37
130	24-09-01	65,2	2,98	169	14-12-01	2,6	0,12
131	25-09-01	6,0	0,27	170	15-12-01	0,4	0,02
132	26-09-01	10,8	0,49	171	16-12-01	0,2	0,01
133	28-09-01	14,2	0,65	172	17-12-01	0,4	0,02
134	30-09-01	2,4	0,11	173	23-12-01	3,4	0,16
135	01-10-01	0,6	0,03	174	25-12-01	2,2	0,10
136	04-10-01	2,6	0,12	175	26-12-01	0,6	0,03
137	05-10-01	0,2	0,01	176	27-12-01	0,2	0,01
138	06-10-01	16,8	0,77	177	29-12-01	0,4	0,02
139	07-10-01	0,2	0,01	178	31-12-01	3,0	0,14
					TOTALES:	**2188,6**	**100,00**

Cuadro A2. Parámetros de intensidad por evento de lluvia erosiva en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

				INTENSIDADES				
Núm. prog.	Fecha (dd/mm/aa)	Lámin (mm)	Duración (min)	Media aritmética (mm/h)	Media total (mm/h)	Mediana (mm/h)	Media podada al 50% (mm/h)	Media podada al 40% (mm/h)
1	05/02/01	17,8	665,52	413,09	1,60	7,28	105,55	200,29
2	26/02/01	14,8	161,25	368,61	5,51	22,86	25,47	122,79
3	15/03/01	22,6	477,52	317,61	2,84	13,24	14,52	56,62
4	18/03/01	24,2	702,66	448,97	2,07	8,02	177,30	267,95
5	19/03/01	14,6	1309,61	460,46	0,67	0,85	200,76	295,21
6	24/04/01	36,8	644,31	447,95	3,43	37,89	164,32	257,94
7	26/04/01	13,4	1695,82	415,13	0,47	0,97	128,08	128,08
8	06/05/01	54,4	465,71	386,97	7,01	84,71	83,93	158,72
9	08/05/01	20,6	492,56	449,08	2,51	18,95	187,55	261,33
10	14/05/01	13	102,09	305,67	7,64	10,14	11,83	13,46
11	22/05/01	74	877,98	430,04	5,06	49,66	138,12	234,03
12	23/05/01	14,4	762,10	436,52	1,13	22,86	143,27	251,25
13	01/06/01	59,4	202,31	462,91	17,62	90,00	194,55	286,82
14	12/06/01	15,4	172,87	498,09	5,35	11,71	274,52	352,48
15	15/06/01	43,6	338,91	395,72	7,72	55,38	68,40	179,94
16	20/06/01	18,4	469,41	393,09	2,35	49,66	54,91	177,64
17	22/06/01	27,4	77,51	418,47	21,21	62,61	105,78	216,56
18	23/06/01	25,4	252,87	445,34	6,03	125,45	163,64	256,44
19	26/06/01	69,6	794,05	398,31	5,26	30,00	72,61	184,94
20	27/06/01	47,2	250,29	373,72	11,31	49,66	53,71	127,17
21	01/07/01	14,4	338,47	507,31	2,55	16,00	300,05	361,67
22	02/07/01	59,2	470,43	359,76	7,55	30,00	31,25	118,29
23	03/07/01	14,2	260,33	415,77	3,27	6,52	127,49	212,37
24	08/07/01	37	324,82	390,32	6,83	55,47	80,80	166,17
25	11/07/01	31,4	170,38	416,29	11,06	70,29	140,04	203,42
26	17/07/01	37,4	553,93	256,46	4,05	62,61	62,43	63,23
27	25/07/01	29,6	332,00	384,25	5,35	31,30	42,20	164,63
28	26/07/01	37,8	758,95	379,48	2,99	47,23	49,22	146,37
29	31/07/01	21	132,65	461,08	9,50	75,79	183,04	274,90
30	02/08/01	29,6	258,54	408,92	6,87	99,43	123,11	195,81
31	11/08/01	14,6	155,53	274,31	5,63	22,86	23,60	24,32
32	14/08/01	25,6	358,81	349,41	4,28	90,00	96,08	96,62
33	16/08/01	33,4	57,00	423,63	35,16	87,35	123,07	221,89
34	23/08/01	17,6	1036,37	402,04	1,02	8,09	75,75	197,65
35	25/08/01	20,6	604,74	417,47	2,04	65,45	122,00	220,45
36	26/08/01	29,6	864,74	346,79	2,05	5,67	6,72	103,21
37	03/09/01	23,6	36,88	386,09	38,39	96,00	99,00	156,15
38	04/09/01	14	50,97	443,34	16,48	75,79	153,53	265,77
39	09/09/01	70	825,23	418,17	5,09	80,00	114,55	212,55
40	10/09/01	57,2	434,98	377,75	7,89	28,85	38,27	149,68
41	11/09/01	45	869,28	394,26	3,11	33,14	66,34	174,37
42	12/09/01	29	601,30	479,10	2,89	38,92	233,97	314,36
43	14/09/01	60	476,26	443,92	7,56	80,00	159,88	257,04
44	19/09/01	13,6	189,49	324,73	4,31	36,92	38,63	73,62
45	21/09/01	34,2	299,38	440,50	6,85	90,00	150,54	245,23
46	23/09/01	54,8	1158,93	321,98	2,84	8,18	8,63	52,61
47	24/09/01	65,2	1333,12	378,09	2,93	9,29	33,85	149,71
48	28/09/01	14,2	269,93	285,00	3,16	24,62	26,37	26,86
49	06/10/01	16,8	1006,07	358,77	1,00	18,00	21,83	107,85
50	14/10/01	13,6	803,18	363,99	1,02	5,00	51,47	154,46
51	16/10/01	13	896,16	372,02	0,87	20,72	22,45	133,31
52	25/10/01	31,4	494,11	358,39	3,81	25,05	44,81	118,45
53	26/10/01	37,8	1220,24	381,48	1,86	9,63	42,07	151,31
54	27/10/01	12,8	678,70	434,71	1,13	23,23	166,53	254,24
55	29/10/01	12,6	294,81	424,11	2,56	51,43	136,24	231,43
56	03/11/01	26	683,40	337,28	2,28	17,78	22,45	77,81
57	17/11/01	61,2	571,48	362,81	6,43	40,00	41,90	119,50
	TOTALES:	**1786.00**	**30786,88**	**22545,56**	**349,46**	**2338,49**	**5628,97**	**10226,95**

Cuadro A3. Índice de erosividad de la lluvia EI_{30} para eventos mayores o iguales a 12.7 mm de precipitación en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Núm. de evento	Fecha (dd/mm/aa)	Precipitación (mm)	Tiempo de EI_{30} (min)	Lámina para EI_{30} (mm)	I30 (mm h^{-1})	Ec total (MJ ha^{-1})	EI30 (MJ mm $ha^{-1}h^{-1}$)
1	05-02-01	17,80	30,29	5,2	10,30	3,47	35,77
2	26-02-01	14,80	30,93	10,8	20,95	3,30	69,23
3	16-03-01	22,60	29,30	9,2	18,84	4,77	89,91
4	18-03-01	24,20	30,43	4,6	9,07	4,87	44,21
5	19-03-01	14,60	30,63	0,6	1,18	2,26	2,65
6	24-04-01	36,80	30,27	21,6	42,82	9,31	398,80
7	26-04-01	13,40	27,92	1,4	3,01	1,98	5,97
8	06-05-01	54,40	30,06	45,4	90,62	14,50	1313,61
9	08-05-01	20,60	29,87	11	22,10	4,37	96,56
10	14-05-01	13,00	29,88	6	12,05	2,71	32,68
11	22-05-01	74,00	30,19	34,4	68,36	18,32	1252,51
12	23-05-01	14,40	29,08	10,2	21,04	3,19	67,16
13	01-06-01	59,40	30,03	41,2	82,33	15,61	1285,23
14	12-06-01	15,40	30,61	7,2	14,11	3,36	47,40
15	15-06-01	43,60	30,00	20,4	40,80	11,06	451,09
16	20-06-01	18,40	29,69	3	6,06	4,43	26,86
17	22-06-01	27,40	30,16	24,6	48,94	6,99	341,99
18	23-06-01	25,40	30,07	20,8	41,50	6,77	280,86
19	26-06-01	69,60	30,36	11,6	22,93	16,22	371,93
20	27-06-01	47,20	30,85	27,4	53,29	9,54	508,29
21	01-07-01	14,40	28,69	6,6	13,80	2,93	40,46
22	02-07-01	59,20	29,98	16	32,03	13,91	445,40
23	03-07-01	14,20	29,28	5,4	11,06	2,88	31,82
24	08-07-01	37,00	29,79	20,2	40,68	9,26	376,72
25	11-07-01	31,40	29,86	29,6	59,48	8,26	491,23
26	17-07-01	37,40	30,02	20	39,98	9,70	387,87
27	25-07-01	29,60	30,08	17	33,92	6,87	233,16
28	26-07-01	37,80	29,83	20,6	41,43	9,25	383,03
29	31-07-01	21,00	27,98	20,4	43,74	5,51	241,21
30	02-08-01	29,60	30,63	28,8	56,42	7,89	445,23
31	11-08-01	14,60	27,53	8,2	17,87	3,04	54,39
32	14-08-01	25,60	30,07	10,8	21,55	5,58	120,24
33	16-08-01	33,40	30,02	28,4	56,77	8,89	504,72
34	23-08-01	17,60	30,18	7,6	15,11	3,53	53,32
35	25-08-01	20,60	27,68	15,4	33,38	5,09	169,87
36	26-08-01	29,60	30,53	4,2	8,25	5,71	47,15
37	03-09-01	23,60	30,04	13,2	26,36	6,46	170,24
38	04-09-01	14,00	30,09	9,6	19,14	3,44	65,87
39	09-09-01	70,00	30,03	28,2	56,35	16,28	917,18
40	10-09-01	57,20	30,18	19	37,77	11,75	443,91
41	11-09-01	45,00	29,77	8,6	17,33	10,54	182,64
42	12-09-01	29,00	29,82	17,4	35,01	7,10	248,67
43	14-09-01	60,00	30,02	24,2	48,37	15,70	759,48
44	19-09-01	13,60	27,85	10	21,54	3,09	66,53
45	21-09-01	34,20	29,87	30,8	61,87	9,04	559,58
46	23-09-01	54,80	30,73	7,4	14,45	11,18	161,58
47	24-09-01	65,20	29,60	6,8	13,78	13,39	184,57
48	28-09-01	14,20	29,97	5,8	11,61	3,11	36,08
49	06-10-01	16,80	30,20	4,8	9,54	3,52	33,54
50	14-10-01	13,60	30,06	3,2	6,39	2,45	15,66
51	16-10-01	13,00	28,87	9	18,71	2,80	52,37
52	25-10-01	31,40	31,15	15,4	29,66	7,42	220,15
53	26-10-01	37,80	31,43	6	11,46	7,72	88,46
54	27-10-01	12,80	29,49	9,2	18,72	2,72	50,91
55	29-10-01	12,60	29,47	8,8	17,92	2,92	52,32
56	03-11-01	26,00	29,64	9,6	19,43	5,77	112,05
57	17-11-01	61,20	30,99	20,2	39,11	8,90	348,13
						Total:	**15518,43**

Cuadro A4. Ejemplo de lámina y tiempo seleccionados (franja iluminada) para el cálculo del EI_{30} en El Coyol, Tlachichilco, Ver., para el 5 de febrero del 2001.

Núm. prog.	Fecha (dd-mm-aa)	Hora (hh:mm:ss)	Lámina (mm)	Duración (min)	Intensidad (mm h^{-1})	Ec mm (MJ ha^{-1} mm^{-1})	Ectotal (MJ ha^{-1})
1	04-02-01	21:40:00	0.2	1300.00	0.01	0.06	0.01
2	04-02-01	21:40:00	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
3	04-02-01	23:00:35	0.2	80.57	0.15	0.05	0.01
4	05-02-01	2:35:27	0.2	214.86	0.06	0.01	0.00
5	05-02-01	2:43:13	0.2	7.78	1.54	0.14	0.03
6	05-02-01	3:46:26	0.2	63.22	0.19	0.06	0.01
7	05-02-01	3:49:44	0.2	3.30	3.64	0.17	0.03
8	05-02-01	3:54:40	0.2	4.93	2.43	0.15	0.03
9	05-02-01	3:57:18	0.2	2.63	4.56	0.18	0.04
10	05-02-01	4:07:36	0.2	10.30	1.17	0.12	0.02
11	05-02-01	4:09:11	0.2	1.58	7.58	0.20	0.04
12	05-02-01	4:09:12	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
13	05-02-01	4:10:07	0.2	0.92	13.09	0.22	0.04
14	05-02-01	4:10:07	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
15	05-02-01	4:11:04	0.2	0.94	12.74	0.22	0.04
16	05-02-01	4:13:14	0.2	2.17	5.54	0.18	0.04
17	05-02-01	4:13:14	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
18	05-02-01	4:17:57	0.2	4.71	2.55	0.15	0.03
19	05-02-01	4:17:57	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
20	05-02-01	4:25:02	0.2	7.08	1.69	0.14	0.03
21	05-02-01	4:47:43	0.2	22.68	0.53	0.09	0.02
22	05-02-01	4:59:05	0.2	11.37	1.06	0.12	0.02
23	05-02-01	4:59:05	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
24	05-02-01	5:05:37	0.2	6.53	1.84	0.14	0.03
25	05-02-01	5:09:58	0.2	4.34	2.76	0.16	0.03
26	05-02-01	5:15:28	0.2	5.51	2.18	0.15	0.03
27	05-02-01	5:23:36	0.2	8.13	1.48	0.13	0.03
28	05-02-01	5:27:01	0.2	3.42	3.51	0.17	0.03
29	05-02-01	5:32:36	0.2	5.58	2.15	0.15	0.03
30	05-02-01	5:35:33	0.2	2.95	4.07	0.17	0.03
31	05-02-01	5:35:34	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
32	05-02-01	5:36:31	0.2	0.97	12.41	0.21	0.04
33	05-02-01	5:38:35	0.2	2.06	5.83	0.19	0.04
34	05-02-01	5:38:36	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
35	05-02-01	5:40:05	0.2	1.49	8.04	0.20	0.04
36	05-02-01	5:42:12	0.2	2.12	5.67	0.18	0.04
37	05-02-01	5:48:00	0.2	5.79	2.07	0.15	0.03
38	05-02-01	5:48:00	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
39	05-02-01	6:14:26	0.2	26.43	0.45	0.09	0.02
40	05-02-01	6:16:19	0.2	1.88	6.37	0.19	0.04
41	05-02-01	6:16:19	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
42	05-02-01	6:19:24	0.2	3.09	3.88	0.17	0.03
43	05-02-01	6:24:38	0.2	5.22	2.30	0.15	0.03
44	05-02-01	6:37:54	0.2	13.28	0.90	0.12	0.02
45	05-02-01	6:52:17	0.2	14.38	0.83	0.11	0.02
46	05-02-01	6:55:45	0.2	3.46	3.47	0.17	0.03
47	05-02-01	6:55:45	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
48	05-02-01	6:56:54	0.2	1.15	10.43	0.21	0.04
49	05-02-01	6:56:54	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
50	05-02-01	6:57:46	0.2	0.86	13.98	0.22	0.04
51	05-02-01	6:57:46	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
52	05-02-01	6:58:42	0.2	0.92	13.09	0.22	0.04

Continuación

Cuadro A4. Continuación.

Núm. prog.	Fecha (dd-mm-aa)	Hora (hh:mm:ss)	Lámin (mm)	Duración (minutos)	Intensidad (mm h^{-1})	Ec mm (MJ ha^{-1} mm^{-1})	Ectotal (MJ ha^{-1})
53	05-02-01	6:59:33	0.2	0.87	13.85	0.22	0.04
54	05-02-01	7:00:16	0.2	0.70	17.14	0.23	0.05
55	05-02-01	7:00:16	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
56	05-02-01	7:01:04	0.2	0.80	15.00	0.22	0.04
57	05-02-01	7:01:04	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
58	05-02-01	7:01:53	0.2	0.81	14.85	0.22	0.04
59	05-02-01	7:01:53	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
60	05-02-01	7:02:55	0.2	1.03	11.71	0.21	0.04
61	05-02-01	7:02:55	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
62	05-02-01	7:03:38	0.2	0.71	16.94	0.23	0.05
63	05-02-01	7:04:35	0.2	0.95	12.63	0.22	0.04
64	05-02-01	7:05:32	0.2	0.94	12.74	0.22	0.04
65	05-02-01	7:06:31	0.2	1.00	12.00	0.21	0.04
66	05-02-01	7:07:30	0.2	0.98	12.31	0.21	0.04
67	05-02-01	7:09:13	0.2	1.72	6.99	0.19	0.04
68	05-02-01	7:10:57	0.2	1.73	6.92	0.19	0.04
69	05-02-01	7:15:07	0.2	4.17	2.88	0.16	0.03
70	05-02-01	7:18:41	0.2	3.57	3.36	0.17	0.03
71	05-02-01	7:24:36	0.2	5.93	2.03	0.15	0.03
72	05-02-01	7:26:02	0.2	1.43	8.42	0.20	0.04
73	05-02-01	7:26:02	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
74	05-02-01	7:31:09	0.2	5.11	2.35	0.15	0.03
75	05-02-01	7:31:09	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
76	05-02-01	7:44:26	0.2	13.28	0.90	0.12	0.02
77	05-02-01	7:44:27	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
78	05-02-01	7:49:07	0.2	4.67	2.57	0.15	0.03
79	05-02-01	7:49:08	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
80	05-02-01	7:52:19	0.2	3.20	3.75	0.17	0.03
81	05-02-01	7:58:07	0.2	5.79	2.07	0.15	0.03
82	05-02-01	7:58:07	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
83	05-02-01	8:06:26	0.2	8.31	1.44	0.13	0.03
84	05-02-01	8:16:46	0.2	10.33	1.16	0.12	0.02
85	05-02-01	8:16:46	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
86	05-02-01	8:25:32	0.2	8.76	1.37	0.13	0.03
87	05-02-01	8:25:32	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
88	05-02-01	8:45:31	0.2	19.97	0.60	0.10	0.02
89	05-02-01	8:45:31	0.2	0.01	1440.00	0.28	0.06
		Total de la franja iluminada:	**5.20***	**30.29****			

*Lámina de EI_{30}

**Tiempo de EI_{30}

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH.

Cuadro A5. Índice de erosividad de la lluvia KE>25 para eventos mayores o iguales a 12.7 mm de precipitación en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Número de evento	Fecha de evento (dd/mm/aa)	Lámina precipitada (mm)	Energía cinética (MJ ha^{-1} mm^{-1})	Energía cinética total (MJ ha^{-1})	KE>25 (MJ ha^{-1})
1	05-02-01	17,80	0,28	3,47	1,42
2	26-02-01	14,80	0,28	3,30	1,88
3	16-03-01	22,60	23,86	4,77	1,90
4	18-03-01	24,20	0,28	4,87	2,26
5	19-03-01	14,60	0,28	2,26	1,30
6	24-04-01	36,80	0,28	9,31	7,04
7	26-04-01	13,40	0,28	1,98	1,08
8	06-05-01	54,40	0,28	14,50	13,41
9	08-05-01	20,60	0,28	4,37	2,04
10	14-05-01	13,00	13,56	2,71	0,94
11	22-05-01	74,00	91,60	18,32	14,45
12	23-05-01	14,40	15,96	3,19	1,79
13	01-06-01	59,40	0,28	15,61	13,62
14	12-06-01	15,40	0,28	3,36	1,47
15	15-06-01	43,60	55,28	11,06	9,25
16	20-06-01	18,40	0,28	4,43	3,50
17	22-06-01	27,40	0,28	6,99	6,36
18	23-06-01	25,40	33,84	6,77	6,19
19	26-06-01	69,60	0,28	16,22	10,34
20	27-06-01	47,20	47,69	9,54	7,82
21	01-07-01	14,40	0,28	2,93	1,66
22	02-07-01	59,20	0,28	13,91	8,78
23	03-07-01	14,20	0,28	2,88	1,13
24	08-07-01	37,00	46,30	9,26	7,91
25	11-07-01	31,40	41,29	8,26	7,71
26	17-07-01	37,40	0,28	9,70	8,70
27	25-07-01	29,60	0,28	6,87	4,35
28	26-07-01	37,80	0,28	9,25	6,63
29	31-07-01	21,00	27,57	5,51	5,14
30	02-08-01	29,60	39,45	7,89	7,43
31	11-08-01	14,60	15,22	3,04	1,65
32	14-08-01	25,60	0,28	5,58	4,96
33	16-08-01	33,40	0,28	8,89	7,93
34	23-08-01	17,60	17,64	3,53	1,36
35	25-08-01	20,60	0,28	5,09	4,38
36	26-08-01	29,60	0,28	5,71	1,98
37	03-09-01	23,60	0,28	6,46	6,23
38	04-09-01	14,00	0,28	3,44	2,74
39	09-09-01	70,00	0,28	16,28	13,89
40	10-09-01	57,20	0,28	11,75	7,24
41	11-09-01	45,00	0,28	10,54	6,88
42	12-09-01	29,00	35,51	7,10	5,40
43	14-09-01	60,00	0,28	15,70	13,87
44	19-09-01	13,60	0,28	3,09	2,13
45	21-09-01	34,20	0,28	9,04	8,33
46	23-09-01	54,80	0,28	11,18	3,40
47	24-09-01	65,20	0,28	13,39	5,30
48	28-09-01	14,20	0,28	3,11	1,82
49	06-10-01	16,80	0,28	3,52	1,95
50	14-10-01	13,60	0,28	2,45	1,01
51	16-10-01	13,00	0,28	2,80	1,50
52	25-10-01	31,40	0,28	7,42	4,32
53	26-10-01	37,80	0,28	7,72	3,13
54	27-10-01	12,80	0,28	2,72	1,67
55	29-10-01	12,60	0,28	2,92	2,35
56	03-11-01	26,00	0,28	5,77	3,03
57	17-11-01	61,20	0,28	8,90	7,02
	Totales:	**1786.00**	**516,95**	**410,64**	**292,96**

Cuadro A6. Ejemplo de cálculo de la erosividad de la lluvia utilizando el índice KE>25 en El Coyol, Tlachichilco, Ver., para el 5 de febrero del 2001.*

Fecha (dd/mm/aa)	Hora (hh/mm/ss)	Lámin (mm)	Intensidad (mm h^{-1})	Ec mm (MJ ha_{-1} mm^{-1})	Ectotal (MJ ha^{-1})	KE>25 (MJ ha^{-1})
04-02-01	21:40:00	0,2				
04-02-01	**21:40:00**	**0,2**	**1440,00**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
04-02-01	23:00:35	0,2	0,15	0,05	0,01	0
05-02-01	2:35:27	0,2	0,06	0,01	0,00	0
05-02-01	2:43:13	0,2	1,54	0,14	0,03	0
05-02-01	3:46:26	0,2	0,19	0,06	0,01	0
05-02-01	3:49:44	0,2	3,64	0,17	0,03	0
05-02-01	3:54:40	0,2	2,43	0,15	0,03	0
05-02-01	3:57:18	0,2	4,56	0,18	0,04	0
05-02-01	4:07:36	0,2	1,17	0,12	0,02	0
05-02-01	4:09:11	0,2	7,58	0,20	0,04	0
05-02-01	**4:09:12**	**0,2**	**1440,00**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	4:10:07	0,2	13,09	0,22	0,04	0
05-02-01	**4:10:07**	**0,2**	**1440,00**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	4:11:04	0,2	12,74	0,22	0,04	0
05-02-01	4:13:14	0,2	5,54	0,18	0,04	0
05-02-01	**4:13:14**	**0,2**	**1440,00**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	4:17:57	0,2	2,55	0,15	0,03	0
05-02-01	**4:17:57**	**0,2**	**1440,00**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	4:25:02	0,2	1,69	0,14	0,03	0
05-02-01	4:47:43	0,2	0,53	0,09	0,02	0
05-02-01	4:59:05	0,2	1,06	0,12	0,02	0
05-02-01	**4:59:05**	**0,2**	**1440,00**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	5:05:37	0,2	1,84	0,14	0,03	0
05-02-01	5:09:58	0,2	2,76	0,16	0,03	0
05-02-01	5:15:28	0,2	2,18	0,15	0,03	0
05-02-01	5:23:36	0,2	1,48	0,13	0,03	0
05-02-01	5:27:01	0,2	3,51	0,17	0,03	0
05-02-01	5:32:36	0,2	2,15	0,15	0,03	0
05-02-01	5:35:33	0,2	4,07	0,17	0,03	0
05-02-01	**5:35:34**	**0,2**	**1440,00**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	5:36:31	0,2	12,41	0,21	0,04	0
05-02-01	5:38:35	0,2	5,83	0,19	0,04	0
05-02-01	**5:38:36**	**0,2**	**1440,00**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	5:40:05	0,2	8,04	0,20	0,04	0
05-02-01	5:42:12	0,2	5,67	0,18	0,04	0
05-02-01	5:48:00	0,2	2,07	0,15	0,03	0
05-02-01	**5:48:00**	**0,2**	**1440,00**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	6:14:26	0,2	0,45	0,09	0,02	0
05-02-01	6:16:19	0,2	6,37	0,19	0,04	0
05-02-01	**6:16:19**	**0,2**	**1440,00**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	6:19:24	0,2	3,88	0,17	0,03	0
05-02-01	6:24:38	0,2	2,30	0,15	0,03	0
05-02-01	6:37:54	0,2	0,90	0,12	0,02	0
05-02-01	6:52:17	0,2	0,83	0,11	0,02	0

*Periodo considerado de 24 horas (de las 8:00 am del 4 de febrero a las 8:00 am del 5 de febrero del 2001).

Continuación

Cuadro A6. Continuación.

Fecha (dd/mm/aa)	Hora (hh/mm/ss)	Lámin (mm)	Ec mm (MJ ha-1 mm-1)	Ectotal (MJ ha-1)	KE>25 (MJ ha-1)
05-02-01	6:55:45	0,2	0,17	0,03	0
05-02-01	**6:55:45**	**0,2**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	6:56:54	0,2	0,21	0,04	0
05-02-01	**6:56:54**	**0,2**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	6:57:46	0,2	0,22	0,04	0
05-02-01	**6:57:46**	**0,2**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	6:58:42	0,2	0,22	0,04	0
05-02-01	6:59:33	0,2	0,22	0,04	0
05-02-01	7:00:16	0,2	0,23	0,05	0
05-02-01	**7:00:16**	**0,2**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	7:01:04	0,2	0,22	0,04	0
05-02-01	**7:01:04**	**0,2**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	7:01:53	0,2	0,22	0,04	0
05-02-01	**7:01:53**	**0,2**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	7:02:55	0,2	0,21	0,04	0
05-02-01	**7:02:55**	**0,2**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	7:03:38	0,2	0,23	0,05	0
05-02-01	7:04:35	0,2	0,22	0,04	0
05-02-01	7:05:32	0,2	0,22	0,04	0
05-02-01	7:06:31	0,2	0,21	0,04	0
05-02-01	7:07:30	0,2	0,21	0,04	0
05-02-01	7:09:13	0,2	0,19	0,04	0
05-02-01	7:10:57	0,2	0,19	0,04	0
05-02-01	7:15:07	0,2	0,16	0,03	0
05-02-01	7:18:41	0,2	0,17	0,03	0
05-02-01	7:24:36	0,2	0,15	0,03	0
05-02-01	7:26:02	0,2	0,20	0,04	0
05-02-01	**7:26:02**	**0,2**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	7:31:09	0,2	0,15	0,03	0
05-02-01	**7:31:09**	**0,2**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	7:44:26	0,2	0,12	0,02	0
05-02-01	**7:44:27**	**0,2**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	7:49:07	0,2	0,15	0,03	0
05-02-01	**7:49:08**	**0,2**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	7:52:19	0,2	0,17	0,03	0
05-02-01	7:58:07	0,2	0,15	0,03	0
05-02-01	**7:58:07**	**0,2**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	8:06:26	0,2	0,13	0,03	0
05-02-01	8:16:46	0,2	0,12	0,02	0
05-02-01	**8:16:46**	**0,2**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	8:25:32	0,2	0,13	0,03	0
05-02-01	**8:25:32**	**0,2**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
05-02-01	8:45:31	0,2	0,10	0,02	0
05-02-01	**8:45:31**	**0,2**	**0,28**	**0,06**	**0,0566**
	Totales:	**17,8**	**0,28**	**3,47**	**1,42**

*Periodo considerado de 24 horas (de las 8:00 am del 4 de febrero a las 8:00 am del 5 de febrero del 2001).

Cuadro A7. Índice de erosividad de la lluvia AI_m para los eventos erosivos en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Número de evento	Fecha de evento (dd/mm/aa)	Lámina de lluvia (mm)	Intensidad media aritm ($mm\ h^{-1}$)	AI_m media aritmética ($cm^2\ h^{-1}$)	AI_m media total ($cm^2\ h^{-1}$)	AI_m mediana ($cm^2\ h^{-1}$)	AI_m media podada al 50% ($cm^2\ h^{-1}$)	AI_m media podada al 40% ($cm^2\ h^{-1}$)
1	05-02-01	17,80	413,1	73,53	0,3	1,3	18,8	35,7
2	26-02-01	14,80	368,6	54,55	0,8	3,4	3,8	18,2
3	16-03-01	22,60	317,6	71,78	0,6	3,0	3,3	12,8
4	18-03-01	24,20	449,0	108,65	0,5	1,9	42,9	64,8
5	19-03-01	14,60	460,5	67,23	0,1	0,1	29,3	43,1
6	24-04-01	36,80	447,9	164,85	1,3	13,9	60,5	94,9
7	26-04-01	13,40	415,1	55,63	0,1	0,1	17,2	17,2
8	06-05-01	54,40	387,0	210,51	3,8	46,1	45,7	86,3
9	08-05-01	20,60	449,1	92,51	0,5	3,9	38,6	53,8
10	14-05-01	13,00	305,7	39,74	1,0	1,3	1,5	1,7
11	22-05-01	74,00	430,0	318,23	3,7	36,7	102,2	173,2
12	23-05-01	14,40	436,5	62,86	0,2	3,3	20,6	36,2
13	01-06-01	59,40	462,9	274,97	10,5	53,5	115,6	170,4
14	12-06-01	15,40	498,1	76,71	0,8	1,8	42,3	54,3
15	15-06-01	43,60	395,7	172,53	3,4	24,1	29,8	78,5
16	20-06-01	18,40	393,1	72,33	0,4	9,1	10,1	32,7
17	22-06-01	27,40	418,5	114,66	5,8	17,2	29,0	59,3
18	23-06-01	25,40	445,3	113,12	1,5	31,9	41,6	65,1
19	26-06-01	69,60	398,3	277,22	3,7	20,9	50,5	128,7
20	27-06-01	47,20	373,7	176,40	5,3	23,4	25,4	60,0
21	01-07-01	14,40	507,3	73,05	0,4	2,3	43,2	52,1
22	02-07-01	59,20	359,8	212,98	4,5	17,8	18,5	70,0
23	03-07-01	14,20	415,8	59,04	0,5	0,9	18,1	30,2
24	08-07-01	37,00	390,3	144,42	2,5	20,5	29,9	61,5
25	11-07-01	31,40	416,3	130,72	3,5	22,1	44,0	63,9
26	17-07-01	37,40	256,5	95,92	1,5	23,4	23,3	23,6
27	25-07-01	29,60	384,3	113,74	1,6	9,3	12,5	48,7
28	26-07-01	37,80	379,5	143,44	1,1	17,9	18,6	55,3
29	31-07-01	21,00	461,1	96,83	2,0	15,9	38,4	57,7
30	02-08-01	29,60	408,9	121,04	2,0	29,4	36,4	58,0
31	11-08-01	14,60	274,3	40,05	0,8	3,3	3,4	3,6
32	14-08-01	25,60	349,4	89,45	1,1	23,0	24,6	24,7
33	16-08-01	33,40	423,6	141,49	11,7	29,2	41,1	74,1
34	23-08-01	17,60	402,0	70,76	0,2	1,4	13,3	34,8
35	25-08-01	20,60	417,5	86,00	0,4	13,5	25,1	45,4
36	26-08-01	29,60	346,8	102,65	0,6	1,7	2,0	30,6
37	03-09-01	23,60	386,1	91,12	9,1	22,7	23,4	36,9
38	04-09-01	14,00	443,3	62,07	2,3	10,6	21,5	37,2
39	09-09-01	70,00	418,2	292,72	3,6	56,0	80,2	148,8
40	10-09-01	57,20	377,7	216,07	4,5	16,5	21,9	85,6
41	11-09-01	45,00	394,3	177,42	1,4	14,9	29,9	78,5
42	12-09-01	29,00	479,1	138,94	0,8	11,3	67,8	91,2
43	14-09-01	60,00	443,9	266,35	4,5	48,0	95,9	154,2
44	19-09-01	13,60	324,7	44,16	0,6	5,0	5,3	10,0
45	21-09-01	34,20	440,5	150,65	2,3	30,8	51,5	83,9
46	23-09-01	54,80	322,0	176,45	1,6	4,5	4,7	28,8
47	24-09-01	65,20	378,1	246,52	1,9	6,1	22,1	97,6
48	28-09-01	14,20	285,0	40,47	0,4	3,5	3,7	3,8
49	06-10-01	16,80	358,8	60,27	0,2	3,0	3,7	18,1
50	14-10-01	13,60	364,0	49,50	0,1	0,7	7,0	21,0
51	16-10-01	13,00	372,0	48,36	0,1	2,7	2,9	17,3
52	25-10-01	31,40	358,4	112,54	1,2	7,9	14,1	37,2
53	26-10-01	37,80	381,5	144,20	0,7	3,6	15,9	57,2
54	27-10-01	12,80	434,7	55,64	0,1	3,0	21,3	32,5
55	29-10-01	12,60	424,1	53,44	0,3	6,5	17,2	29,2
56	03-11-01	26,00	337,3	87,69	0,6	4,6	5,8	20,2
57	17-11-01	61,20	362,8	222,04	3,9	24,5	25,6	73,1
			Totales:	**7056,18**	**119,13**	**814,90**	**1662,53**	**3183,47**

Cuadro A8. Ejemplo de cálculo de la erosividad de la lluvia utilizando el índice AI_m en El Coyol, Tlachichilco, Ver., para el 5 de febrero del 2001.

Núm. Prog.	Fecha (dd/mm/aa)	Lámina (mm)	Intensidad (mm h^{-1})	Núm. Prog.	Fecha (dd/mm/aa)	Lámina (mm)	Intensidad (mm h^{-1})	AI_m* (cm^2 h^{-1})
1	04-02-01	0,2		46	05-02-01	0,2	3,47	
2	04-02-01	0,2	1440,00	47	05-02-01	0,2	1440,00	
3	04-02-01	0,2	0,15	48	05-02-01	0,2	10,43	
4	05-02-01	0,2	0,06	49	05-02-01	0,2	1440,00	
5	05-02-01	0,2	1,54	50	05-02-01	0,2	13,98	
6	05-02-01	0,2	0,19	51	05-02-01	0,2	1440,00	
7	05-02-01	0,2	3,64	52	05-02-01	0,2	13,09	
8	05-02-01	0,2	2,43	53	05-02-01	0,2	13,85	
9	05-02-01	0,2	4,56	54	05-02-01	0,2	17,14	
10	05-02-01	0,2	1,17	55	05-02-01	0,2	1440,00	
11	05-02-01	0,2	7,58	56	05-02-01	0,2	15,00	
12	05-02-01	0,2	1440,00	57	05-02-01	0,2	1440,00	
13	05-02-01	0,2	13,09	58	05-02-01	0,2	14,85	
14	05-02-01	0,2	1440,00	59	05-02-01	0,2	1440,00	
15	05-02-01	0,2	12,74	60	05-02-01	0,2	11,71	
16	05-02-01	0,2	5,54	61	05-02-01	0,2	1440,00	
17	05-02-01	0,2	1440,00	62	05-02-01	0,2	16,94	
18	05-02-01	0,2	2,55	63	05-02-01	0,2	12,63	
19	05-02-01	0,2	1440,00	64	05-02-01	0,2	12,74	
20	05-02-01	0,2	1,69	65	05-02-01	0,2	12,00	
21	05-02-01	0,2	0,53	66	05-02-01	0,2	12,31	
22	05-02-01	0,2	1,06	67	05-02-01	0,2	6,99	
23	05-02-01	0,2	1440,00	68	05-02-01	0,2	6,92	
24	05-02-01	0,2	1,84	69	05-02-01	0,2	2,88	
25	05-02-01	0,2	2,76	70	05-02-01	0,2	3,36	
26	05-02-01	0,2	2,18	71	05-02-01	0,2	2,03	
27	05-02-01	0,2	1,48	72	05-02-01	0,2	8,42	
28	05-02-01	0,2	3,51	73	05-02-01	0,2	1440,00	
29	05-02-01	0,2	2,15	74	05-02-01	0,2	2,35	
30	05-02-01	0,2	4,07	75	05-02-01	0,2	1440,00	
31	05-02-01	0,2	1440,00	76	05-02-01	0,2	0,90	
32	05-02-01	0,2	12,41	77	05-02-01	0,2	1440,00	
33	05-02-01	0,2	5,83	78	05-02-01	0,2	2,57	
34	05-02-01	0,2	1440,00	79	05-02-01	0,2	1440,00	
35	05-02-01	0,2	8,04	80	05-02-01	0,2	3,75	
36	05-02-01	0,2	5,67	81	05-02-01	0,2	2,07	
37	05-02-01	0,2	2,07	82	05-02-01	0,2	1440,00	
38	05-02-01	0,2	1440,00	83	05-02-01	0,2	1,44	
39	05-02-01	0,2	0,45	84	05-02-01	0,2	1,16	
40	05-02-01	0,2	6,37	85	05-02-01	0,2	1440,00	
41	05-02-01	0,2	1440,00	86	05-02-01	0,2	1,37	
42	05-02-01	0,2	3,88	87	05-02-01	0,2	1440,00	
43	05-02-01	0,2	2,30	88	05-02-01	0,2	0,60	
44	05-02-01	0,2	0,90	89	05-02-01	0,2	1440,00	
45	05-02-01	0,2	0,83		**Totales:**	**17,8**	****413,09**	**73,53**

* Considerando las unidades del AI_m (cm^2 h^{-1}) este valor es el producto de:
(lámina/10)(Intensidad media aritmética**/10)

** Media aritmética de los 89 valores de intensidad del evento de lluvia.

Cuadro A9. Volumen total de agua (L) escurrido por evento y tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Núm. prog.	Fecha de bote	Tratamientos				
		T1	T2	T3	T4	T5
1	02/06/01	7.05	12.45	300.50	1349.50	12.35
2	16/06/01	15.18	118.25	327.58	560.09	6.87
3	21/06/01	0.00	73.69	29.89	0.00	0.00
4	23/06/01	0.00	118.25	97.85	55.48	0.00
5	24/06/01	15.18	118.25	246.33	232.01	68.49
6	27/06/01	1738.04	11.09	2494.30	3032.50	118.89
7	28/06/01	117.52	118.25	2494.30	2483.35	10.98
8	02/07/01	0.00	118.25	62.51	2483.09	0.00
9	03/07/01	117.52	23.34	2494.30	3186.07	1481.77
10	04/07/01	39.54	118.25	517.17	39.38	13.72
11	07/07/01	26.00	0.00	117.56	118.20	95.88
12	08/07/01	1.64	118.25	43.48	15.22	0.00
13	09/07/01	117.52	0.00	2494.30	2698.91	442.44
14	12/07/01	88.28	4.29	490.09	114.52	113.68
15	13/07/01	0.00	7.01	13.58	7.17	0.00
16	15/07/01	12.47	114.52	84.26	19.25	30.15
17	18/07/01	114.00	7.01	1867.97	2408.54	1477.94
18	25/07/01	0.00	2458.49	35.33	0.00	0.00
19	27/07/01	19.24	23.34	1272.12	1318.30	12.35
20	29/07/01	0.00	1193.15	53.00	2319.98	0.00
21	01/08/01	17.88	114.52	405.44	8.51	57.54
22	03/08/01	81.51	0.00	1869.33	1699.89	110.94
23	04/08/01	0.00	8.37	9.50	0.00	0.00
24	08/08/01	0.00	1719.43	86.98	28.64	15.09
25	10/08/01	9.76	12.45	58.44	20.59	42.48
26	11/08/01	0.00	113.16	19.02	0.00	0.00
27	12/08/01	55.79	111.79	114.17	0.00	113.68
28	15/08/01	112.64	1190.42	1163.79	2190.50	112.31
29	17/08/01	114.00	111.79	2438.09	2408.54	109.57
30	26/08/01	20.59	70.97	111.45	117.21	97.25
31	27/08/01	77.45	26.06	2412.37	1209.28	115.05
32	02/09/01	0.00	7.01	89.70	34.01	5.50
33	03/09/01	0.00	114.52	51.64	66.21	0.00
34	04/09/01	111.29	95.46	456.89	1180.68	112.31
35	05/09/01	53.08	16.54	297.10	773.18	75.34
36	10/09/01	2374.37	114.52	2439.45	3578.96	2299.84
37	11/09/01	108.58	114.52	2411.01	3552.54	2297.10
38	12/09/01	115.35	571.80	2383.93	3559.07	2353.17
39	13/09/01	112.64	625.83	2411.01	2409.89	115.05
40	15/09/01	2374.37	19.26	2411.01	3530.47	2406.50
41	20/09/01	0.00	125.40	21.74	25.96	0.00
42	22/09/01	111.29	49.20	2328.40	2621.68	873.48
43	23/09/01	27.36	114.52	242.93	446.11	41.11
44	24/09/01	115.35	328.67	2409.65	2979.21	2407.87
45	25/09/01	115.35	114.52	2409.65	3479.19	2353.17
46	27/09/01	115.35	114.52	2355.48	2408.54	113.68
47	29/09/01	74.74	2408.62	1055.45	2408.54	104.10
48	07/10/01	42.25	2240.48	114.17	664.16	61.65
49	09/10/01	0.00	2321.93	38.05	29.98	0.00
50	15/10/01	58.49	2340.98	114.17	664.16	10.98
51	17/10/01	53.08	2305.60	114.17	114.52	30.15
52	26/10/01	16.53	114.52	114.17	114.52	21.94
53	27/10/01	112.64	1518.69	2465.18	2409.89	115.05
54	28/10/01	115.35	69.61	1435.99	3293.97	115.05
55	30/10/01	57.14	2327.78	542.21	609.65	23.30
56	04/11/01	112.64	2235.64	1950.58	2409.89	115.05
57	05-11-01	115.35	8.37	840.14	2411.23	16.46
58	12/11/01	1.64	114.52	114.17	85.00	0.00
59	17/11/01	101.81	114.52	513.77	2729.61	115.05
60	18/11/01	2373.01	16.54	2382.57	3461.52	2405.13
61	21/11/01	7.05	0.00	32.61	36.69	0.00

Cuadro A10. Volumen total de agua escurrida (m^3) por evento de lluvia por tratamiento en los sistemas de café bajo sombra estudiados en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Núm. Prog.	Fecha de bote	Tratamientos				
		T1	T2	T3	T4	T5
1	02/06/01	0.01	0.01	0.30	1.35	0.01
2	16/06/01	0.02	0.12	0.33	0.56	0.01
3	21/06/01	0.00	0.07	0.03	0.00	0.00
4	23/06/01	0.00	0.12	0.10	0.06	0.00
5	24/06/01	0.02	0.12	0.25	0.23	0.07
6	27/06/01	1.74	0.01	2.49	3.03	0.12
7	28/06/01	0.12	0.12	2.49	2.48	0.01
8	02/07/01	0.00	0.12	0.06	2.48	0.00
9	03/07/01	0.12	0.02	2.49	3.19	1.48
10	04/07/01	0.04	0.12	0.52	0.04	0.01
11	07/07/01	0.03	0.00	0.12	0.12	0.10
12	08/07/01	0.00	0.12	0.04	0.02	0.00
13	09/07/01	0.12	0.00	2.49	2.70	0.44
14	12/07/01	0.09	0.00	0.49	0.11	0.11
15	13/07/01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
16	15/07/01	0.01	0.11	0.08	0.02	0.03
17	18/07/01	0.11	0.01	1.87	2.41	1.48
18	25/07/01	0.00	2.46	0.04	0.00	0.00
19	27/07/01	0.02	0.02	1.27	1.32	0.01
20	29/07/01	0.00	1.19	0.05	2.32	0.00
21	01/08/01	0.02	0.11	0.41	0.01	0.06
22	03/08/01	0.08	0.00	1.87	1.70	0.11
23	04/08/01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
24	08/08/01	0.00	1.72	0.09	0.03	0.02
25	10/08/01	0.01	0.01	0.06	0.02	0.04
26	11/08/01	0.00	0.11	0.02	0.00	0.00
27	12/08/01	0.06	0.11	0.11	0.00	0.11
28	15/08/01	0.11	1.19	1.16	2.19	0.11
29	17/08/01	0.11	0.11	2.44	2.41	0.11
30	26/08/01	0.02	0.07	0.11	0.12	0.10
31	27/08/01	0.08	0.03	2.41	1.21	0.12
32	02/09/01	0.00	0.01	0.09	0.03	0.01
33	03/09/01	0.00	0.11	0.05	0.07	0.00
34	04/09/01	0.11	0.10	0.46	1.18	0.11
35	05/09/01	0.05	0.02	0.30	0.77	0.08
36	10/09/01	2.37	0.11	2.44	3.58	2.30
37	11/09/01	0.11	0.11	2.41	3.55	2.30
38	12/09/01	0.12	0.57	2.38	3.56	2.35
39	13/09/01	0.11	0.63	2.41	2.41	0.12
40	15/09/01	2.37	0.02	2.41	3.53	2.41
41	20/09/01	0.00	0.13	0.02	0.03	0.00
42	22/09/01	0.11	0.05	2.33	2.62	0.87
43	23/09/01	0.03	0.11	0.24	0.45	0.04
44	24/09/01	0.12	0.33	2.41	2.98	2.41
45	25/09/01	0.12	0.11	2.41	3.48	2.35
46	27/09/01	0.12	0.11	2.36	2.41	0.11
47	29/09/01	0.07	2.41	1.06	2.41	0.10
48	07/10/01	0.04	2.24	0.11	0.66	0.06
49	09/10/01	0.00	2.32	0.04	0.03	0.00
50	15/10/01	0.06	2.34	0.11	0.66	0.01
51	17/10/01	0.05	2.31	0.11	0.11	0.03
52	26/10/01	0.02	0.11	0.11	0.11	0.02
53	27/10/01	0.11	1.52	2.47	2.41	0.12
54	28/10/01	0.12	0.07	1.44	3.29	0.12
55	30/10/01	0.06	2.33	0.54	0.61	0.02
56	04/11/01	0.11	2.24	1.95	2.41	0.12
57	05-11-01	0.12	0.01	0.84	2.41	0.02
58	12/11/01	0.00	0.11	0.11	0.09	0.00
59	17/11/01	0.10	0.11	0.51	2.73	0.12
60	18/11/01	2.37	0.02	2.38	3.46	2.41
61	21/11/01	0.01	0.00	0.03	0.04	0.00

Cuadro A11. Volumen de agua escurrida (m^3 ha^{-1}) por evento de lluvia en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

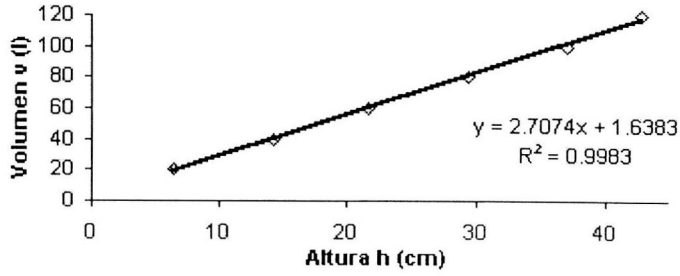
Núm. prog.	Fecha de bote	Tratamientos				
		T1	T2	T3	T4	T5
1	02/06/01	0.10	0.33	10.26	50.54	0.24
2	16/06/01	0.21	3.17	11.18	20.98	0.13
3	21/06/01	0.00	1.98	1.02	0.00	0.00
4	23/06/01	0.00	3.17	3.34	2.08	0.00
5	24/06/01	0.21	3.17	8.41	8.69	1.33
6	27/06/01	24.04	0.30	85.13	113.58	2.31
7	28/06/01	1.63	3.17	85.13	93.01	0.21
8	02/07/01	0.00	3.17	2.13	93.00	0.00
9	03/07/01	1.63	0.63	85.13	119.33	28.77
10	04/07/01	0.55	3.17	17.65	1.47	0.27
11	07/07/01	0.36	0.00	4.01	4.43	1.86
12	08/07/01	0.02	3.17	1.48	0.57	0.00
13	09/07/01	1.63	0.00	85.13	101.08	8.59
14	12/07/01	1.22	0.11	16.73	4.29	2.21
15	13/07/01	0.00	0.19	0.46	0.27	0.00
16	15/07/01	0.17	3.07	2.88	0.72	0.59
17	18/07/01	1.58	0.19	63.75	90.21	28.70
18	25/07/01	0.00	65.91	1.21	0.00	0.00
19	27/07/01	0.27	0.63	43.42	49.37	0.24
20	29/07/01	0.00	31.99	1.81	86.89	0.00
21	01/08/01	0.25	3.07	13.84	0.32	1.12
22	03/08/01	1.13	0.00	63.80	63.67	2.15
23	04/08/01	0.00	0.22	0.32	0.00	0.00
24	08/08/01	0.00	46.10	2.97	1.07	0.29
25	10/08/01	0.14	0.33	1.99	0.77	0.82
26	11/08/01	0.00	3.03	0.65	0.00	0.00
27	12/08/01	0.77	3.00	3.90	0.00	2.21
28	15/08/01	1.56	31.91	39.72	82.04	2.18
29	17/08/01	1.58	3.00	83.21	90.21	2.13
30	26/08/01	0.28	1.90	3.80	4.39	1.89
31	27/08/01	1.07	0.70	82.33	45.29	2.23
32	02/09/01	0.00	0.19	3.06	1.27	0.11
33	03/09/01	0.00	3.07	1.76	2.48	0.00
34	04/09/01	1.54	2.56	15.59	44.22	2.18
35	05/09/01	0.73	0.44	10.14	28.96	1.46
36	10/09/01	32.84	3.07	83.26	134.04	44.66
37	11/09/01	1.50	3.07	82.29	133.05	44.60
38	12/09/01	1.60	15.33	81.36	133.30	45.69
39	13/09/01	1.56	16.78	82.29	90.26	2.23
40	15/09/01	32.84	0.52	82.29	132.23	46.73
41	20/09/01	0.00	3.36	0.74	0.97	0.00
42	22/09/01	1.54	1.32	79.47	98.19	16.96
43	23/09/01	0.38	3.07	8.29	16.71	0.80
44	24/09/01	1.60	8.81	82.24	111.58	46.75
45	25/09/01	1.60	3.07	82.24	130.31	45.69
46	27/09/01	1.60	3.07	80.39	90.21	2.21
47	29/09/01	1.03	64.57	36.02	90.21	2.02
48	07/10/01	0.58	60.07	3.90	24.87	1.20
49	09/10/01	0.00	62.25	1.30	1.12	0.00
50	15/10/01	0.81	62.76	3.90	24.87	0.21
51	17/10/01	0.73	61.81	3.90	4.29	0.59
52	26/10/01	0.23	3.07	3.90	4.29	0.43
53	27/10/01	1.56	40.72	84.14	90.26	2.23
54	28/10/01	1.60	1.87	49.01	123.37	2.23
55	30/10/01	0.79	62.41	18.51	22.83	0.45
56	04/11/01	1.56	59.94	66.57	90.26	2.23
57	05-11-01	1.60	0.22	28.67	90.31	0.32
58	12/11/01	0.02	3.07	3.90	3.18	0.00
59	17/11/01	1.41	3.07	17.53	102.23	2.23
60	18/11/01	32.82	0.44	81.32	129.64	46.70
61	21/11/01	0.10	0.00	1.11	1.37	0.00

Cuadro A12. Lámina de agua escurrida (mm) por evento de lluvia en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Núm. Prog.	Fecha de bote	Tratamientos					Promedio (mm)
		T1	T2	T3	T4	T5	
1	02/06/01	0.01	0.03	1.03	5.05	0.02	1.23
2	16/06/01	0.02	0.32	1.12	2.10	0.01	0.71
3	21/06/01	0.00	0.20	0.10	0.00	0.00	0.06
4	23/06/01	0.00	0.32	0.33	0.21	0.00	0.17
5	24/06/01	0.02	0.32	0.84	0.87	0.13	0.44
6	27/06/01	2.40	0.03	8.51	11.36	0.23	4.51
7	28/06/01	0.16	0.32	8.51	9.30	0.02	3.66
8	02/07/01	0.00	0.32	0.21	9.30	0.00	1.97
9	03/07/01	0.16	0.06	8.51	11.93	2.88	4.71
10	04/07/01	0.05	0.32	1.77	0.15	0.03	0.46
11	07/07/01	0.04	0.00	0.40	0.44	0.19	0.21
12	08/07/01	0.00	0.32	0.15	0.06	0.00	0.10
13	09/07/01	0.16	0.00	8.51	10.11	0.86	3.93
14	12/07/01	0.12	0.01	1.67	0.43	0.22	0.49
15	13/07/01	0.00	0.02	0.05	0.03	0.00	0.02
16	15/07/01	0.02	0.31	0.29	0.07	0.06	0.15
17	18/07/01	0.16	0.02	6.38	9.02	2.87	3.69
18	25/07/01	0.00	6.59	0.12	0.00	0.00	1.34
19	27/07/01	0.03	0.06	4.34	4.94	0.02	1.88
20	29/07/01	0.00	3.20	0.18	8.69	0.00	2.41
21	01/08/01	0.02	0.31	1.38	0.03	0.11	0.37
22	03/08/01	0.11	0.00	6.38	6.37	0.22	2.61
23	04/08/01	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.01
24	08/08/01	0.00	4.61	0.30	0.11	0.03	1.01
25	10/08/01	0.01	0.03	0.20	0.08	0.08	0.08
26	11/08/01	0.00	0.30	0.06	0.00	0.00	0.07
27	12/08/01	0.08	0.30	0.39	0.00	0.22	0.20
28	15/08/01	0.16	3.19	3.97	8.20	0.22	3.15
29	17/08/01	0.16	0.30	8.32	9.02	0.21	3.60
30	26/08/01	0.03	0.19	0.38	0.44	0.19	0.25
31	27/08/01	0.11	0.07	8.23	4.53	0.22	2.63
32	02/09/01	0.00	0.02	0.31	0.13	0.01	0.09
33	03/09/01	0.00	0.31	0.18	0.25	0.00	0.15
34	04/09/01	0.15	0.26	1.56	4.42	0.22	1.32
35	05/09/01	0.07	0.04	1.01	2.90	0.15	0.83
36	10/09/01	3.28	0.31	8.33	13.40	4.47	5.96
37	11/09/01	0.15	0.31	8.23	13.31	4.46	5.29
38	12/09/01	0.16	1.53	8.14	13.33	4.57	5.55
39	13/09/01	0.16	1.68	8.23	9.03	0.22	3.86
40	15/09/01	3.28	0.05	8.23	13.22	4.67	5.89
41	20/09/01	0.00	0.34	0.07	0.10	0.00	0.10
42	22/09/01	0.15	0.13	7.95	9.82	1.70	3.95
43	23/09/01	0.04	0.31	0.83	1.67	0.08	0.58
44	24/09/01	0.16	0.88	8.22	11.16	4.68	5.02
45	25/09/01	0.16	0.31	8.22	13.03	4.57	5.26
46	27/09/01	0.16	0.31	8.04	9.02	0.22	3.55
47	29/09/01	0.10	6.46	3.60	9.02	0.20	3.88
48	07/10/01	0.06	6.01	0.39	2.49	0.12	1.81
49	09/10/01	0.00	6.23	0.13	0.11	0.00	1.29
50	15/10/01	0.08	6.28	0.39	2.49	0.02	1.85
51	17/10/01	0.07	6.18	0.39	0.43	0.06	1.43
52	26/10/01	0.02	0.31	0.39	0.43	0.04	0.24
53	27/10/01	0.16	4.07	8.41	9.03	0.22	4.38
54	28/10/01	0.16	0.19	4.90	12.34	0.22	3.56
55	30/10/01	0.08	6.24	1.85	2.28	0.05	2.10
56	04/11/01	0.16	5.99	6.66	9.03	0.22	4.41
57	05-11-01	0.16	0.02	2.87	9.03	0.03	2.42
58	12/11/01	0.00	0.31	0.39	0.32	0.00	0.20
59	17/11/01	0.14	0.31	1.75	10.22	0.22	2.53
60	18/11/01	3.28	0.04	8.13	12.96	4.67	5.82
61	21/11/01	0.01	0.00	0.11	0.14	0.00	0.05
	Totales:	**16.45**	**77.48**	**200.59**	**307.92**	**45.14**	**129.51**

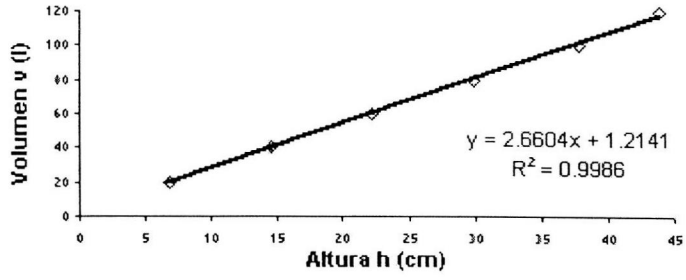
TANQUE 1-1

h (cm)	v (L)
6.40	20
14.20	40
21.70	60
29.40	80
37.00	100
42.80	120



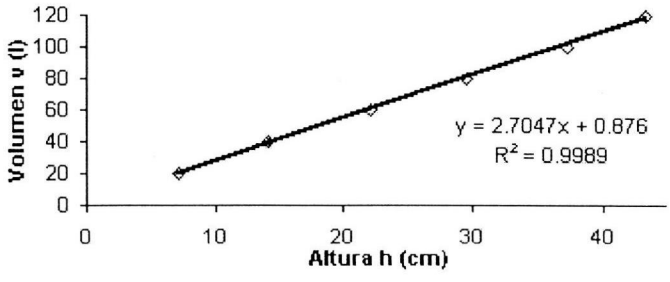
TANQUE 1-2

h (cm)	v (L)
6.82	20
14.45	40
22.27	60
29.97	80
37.80	100
43.82	120



TANQUE 2-1

h (cm)	v (L)
7.05	20
14.10	40
22.05	60
29.52	80
37.25	100
43.37	120



TANQUE 2-2

h (cm)	v (L)
7.07	20
14.85	40
22.45	60
30.00	80
37.80	100
43.52	120

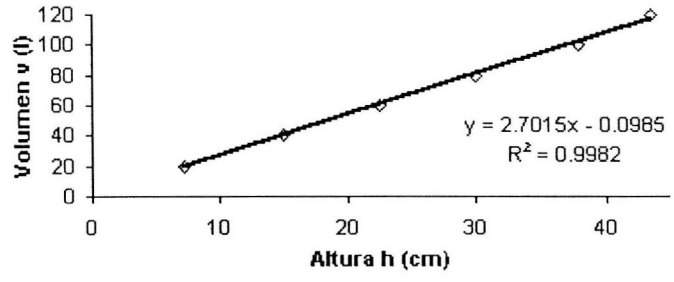
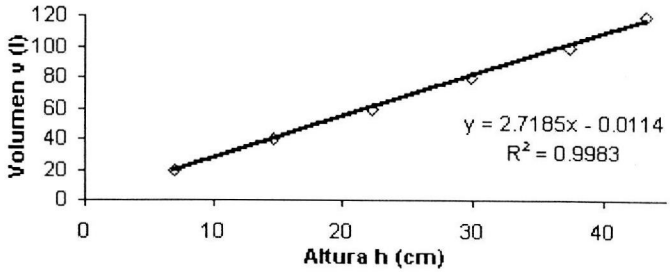
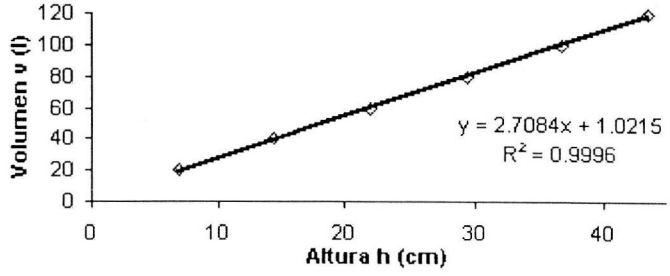


Figura A1. Calibración de los tanques muestreadores en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Relación volumen – altura. El primer dígito del título corresponde al número de tratamiento, el segundo al número de tanque en orden progresivo.

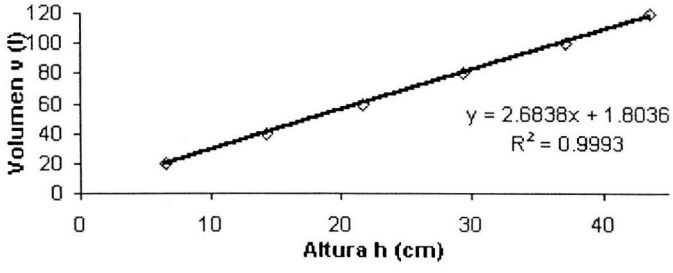
TANQUE 3-1	
h (cm)	v (L)
7.00	20
14.65	40
22.35	60
29.85	80
37.42	100
43.25	120



TANQUE 3-2	
h (cm)	v (L)
6.82	20
14.32	40
21.95	60
29.40	80
36.82	100
43.50	120



TANQUE 4-1	
h (cm)	v (L)
6.50	20
14.30	40
21.77	60
29.40	80
37.02	100
43.47	120



TANQUE 4-2	
h (cm)	v (L)
7.00	20
14.60	40
22.00	60
29.60	80
37.10	100
43.30	120

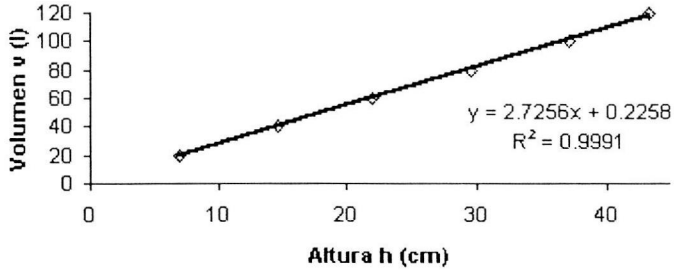
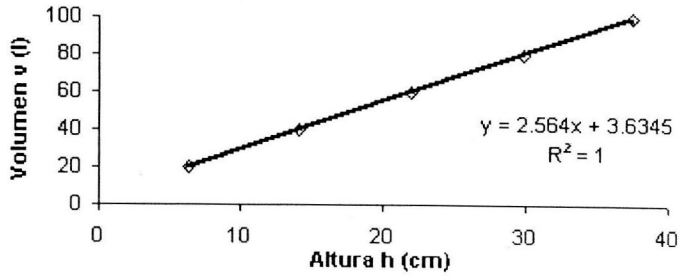
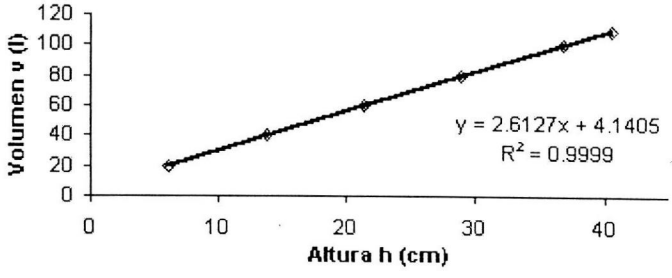


Figura A1. Continuación.

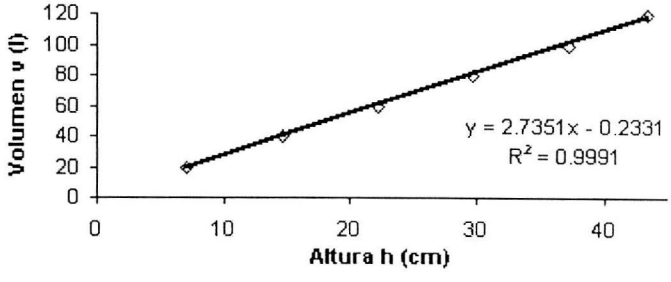
TANQUE 4-3	
h (cm)	v (L)
6.33	20
14.17	40
22.08	60
29.83	80
37.50	100



TANQUE 4-4	
h (cm)	v (L)
6.08	20
13.75	40
21.42	60
28.83	80
36.83	100
40.50	110



TANQUE 5-1	
h (cm)	v (L)
7.10	20
14.60	40
22.00	60
29.40	80
36.80	100
43.40	120



TANQUE 5-2	
h (cm)	v (L)
7.10	20
14.67	40
22.25	60
29.65	80
37.10	100
43.30	120

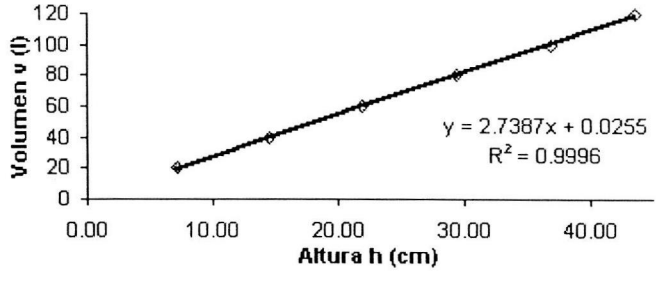


Figura A1. Continuación.

Cuadro A13. Coeficientes de escurrimiento (%) por evento y tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Núm. Evento	Fecha bote	Tratamientos				
		T1	T2	T3	T4	T5
1	02/06/01	0.000	0.002	0.047	0.231	0.001
2	16/06/01	0.001	0.014	0.051	0.096	0.001
3	21/06/01	0.000	0.009	0.005	0.000	0.000
4	23/06/01	0.000	0.014	0.015	0.009	0.000
5	24/06/01	0.001	0.014	0.038	0.040	0.006
6	27/06/01	0.110	0.001	0.389	0.519	0.011
7	28/06/01	0.007	0.014	0.389	0.425	0.001
8	02/07/01	0.000	0.014	0.010	0.425	0.000
9	03/07/01	0.007	0.003	0.389	0.545	0.131
10	04/07/01	0.002	0.014	0.081	0.007	0.001
11	07/07/01	0.002	0.000	0.018	0.020	0.009
12	08/07/01	0.000	0.014	0.007	0.003	0.000
13	09/07/01	0.007	0.000	0.389	0.462	0.039
14	12/07/01	0.006	0.001	0.076	0.020	0.010
15	13/07/01	0.000	0.001	0.002	0.001	0.000
16	15/07/01	0.001	0.014	0.013	0.003	0.003
17	18/07/01	0.007	0.001	0.291	0.412	0.131
18	25/07/01	0.000	0.301	0.006	0.000	0.000
19	27/07/01	0.001	0.003	0.198	0.226	0.001
20	29/07/01	0.000	0.146	0.008	0.397	0.000
21	01/08/01	0.001	0.014	0.063	0.001	0.005
22	03/08/01	0.005	0.000	0.291	0.291	0.010
23	04/08/01	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
24	08/08/01	0.000	0.211	0.014	0.005	0.001
25	10/08/01	0.001	0.002	0.009	0.004	0.004
26	11/08/01	0.000	0.014	0.003	0.000	0.000
27	12/08/01	0.004	0.014	0.018	0.000	0.010
28	15/08/01	0.007	0.146	0.181	0.375	0.010
29	17/08/01	0.007	0.014	0.380	0.412	0.010
30	26/08/01	0.001	0.009	0.017	0.020	0.009
31	27/08/01	0.005	0.003	0.376	0.207	0.010
32	02/09/01	0.000	0.001	0.014	0.006	0.000
33	03/09/01	0.000	0.014	0.008	0.011	0.000
34	04/09/01	0.007	0.012	0.071	0.202	0.010
35	05/09/01	0.003	0.002	0.046	0.132	0.007
36	10/09/01	0.150	0.014	0.380	0.612	0.204
37	11/09/01	0.007	0.014	0.376	0.608	0.204
38	12/09/01	0.007	0.070	0.372	0.609	0.209
39	13/09/01	0.007	0.077	0.376	0.412	0.010
40	15/09/01	0.150	0.002	0.376	0.604	0.213
41	20/09/01	0.000	0.015	0.003	0.004	0.000
42	22/09/01	0.007	0.006	0.363	0.449	0.077
43	23/09/01	0.002	0.014	0.038	0.076	0.004
44	24/09/01	0.007	0.040	0.376	0.510	0.214
45	25/09/01	0.007	0.014	0.376	0.595	0.209
46	27/09/01	0.007	0.014	0.367	0.412	0.010
47	29/09/01	0.005	0.295	0.165	0.412	0.009
48	07/10/01	0.003	0.274	0.018	0.114	0.005
49	09/10/01	0.000	0.284	0.006	0.005	0.000
50	15/10/01	0.004	0.287	0.018	0.114	0.001
51	17/10/01	0.003	0.282	0.018	0.020	0.003
52	26/10/01	0.001	0.014	0.018	0.020	0.002
53	27/10/01	0.007	0.186	0.384	0.412	0.010
54	28/10/01	0.007	0.009	0.224	0.564	0.010
55	30/10/01	0.004	0.285	0.085	0.104	0.002
56	04/11/01	0.007	0.274	0.304	0.412	0.010
57	05-11-01	0.007	0.001	0.131	0.413	0.001
58	12/11/01	0.000	0.014	0.018	0.015	0.000
59	17/11/01	0.006	0.014	0.080	0.467	0.010
60	18/11/01	0.150	0.002	0.372	0.592	0.213
61	21/11/01	0.000	0.000	0.005	0.006	0.000
	Totales:	**0.75**	**3.54**	**9.16**	**14.068**	**2.062**

Cuadro A14. Conductividad eléctrica, pH y salida de nutrimentos (nitratos y potasio) en el escurrimiento superficial por tratamiento y fecha de muestreo en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Tratamiento	Fecha	Conductividad (dS m^{-1})	pH	NO_3^- (ppm)	K^+ (meq/l)	NO_3^- (g m^{-3})	K^+ (g m^{-3})	NO_3^- (kg ha^{-1})	K^+ (kg ha^{-1})
T1	14/08/2001	0,11	4,30	1,09	0,09	1,09	3,51	0,03	0,08
	13/09/2001	0,13	4,20	1,51	0,01	1,51	0,39	0,03	0,01
	Promedio:	**0,12**	**4,25**	**1,30**	**0,05**	**1,30**	**1,95**	**0,03**	**0,04**
T2	14/08/2001	0,13	4,20	1,76	0,05	1,76	1,95	0,37	0,41
	13/09/2001	0,13	4,30	0,43	0,03	0,43	1,17	0,09	0,24
	Promedio:	**0,13**	**4,25**	**1,10**	**0,04**	**1,10**	**1,56**	**0,23**	**0,32**
T3	14/08/2001	0,14	4,50	1,09	0,05	1,09	1,95	0,74	1,33
	13/09/2001	0,12	4,40	0,26	0,03	0,26	1,17	0,18	1,16
	Promedio:	**0,13**	**4,45**	**0,68**	**0,04**	**0,68**	**1,56**	**0,46**	**1,25**
T4	14/08/2001	0,13	4,35	0,59	0,08	0,59	3,12	0,68	3,59
	13/09/2001	0,13	5,10	0,35	0,03	0,35	1,17	0,40	1,35
	Promedio:	**0,13**	**4,73**	**0,47**	**0,06**	**0,47**	**2,15**	**0,54**	**2,47**
T5	14/08/2001	0,10	4,40	0,76	0,04	0,76	1,56	0,07	0,14
	13/09/2001	0,14	5,72	0,23	0,01	0,23	0,39	0,02	0,03
	Promedio:	**0,12**	**5,06**	**0,50**	**0,03**	**0,50**	**0,98**	**0,04**	**0,08**

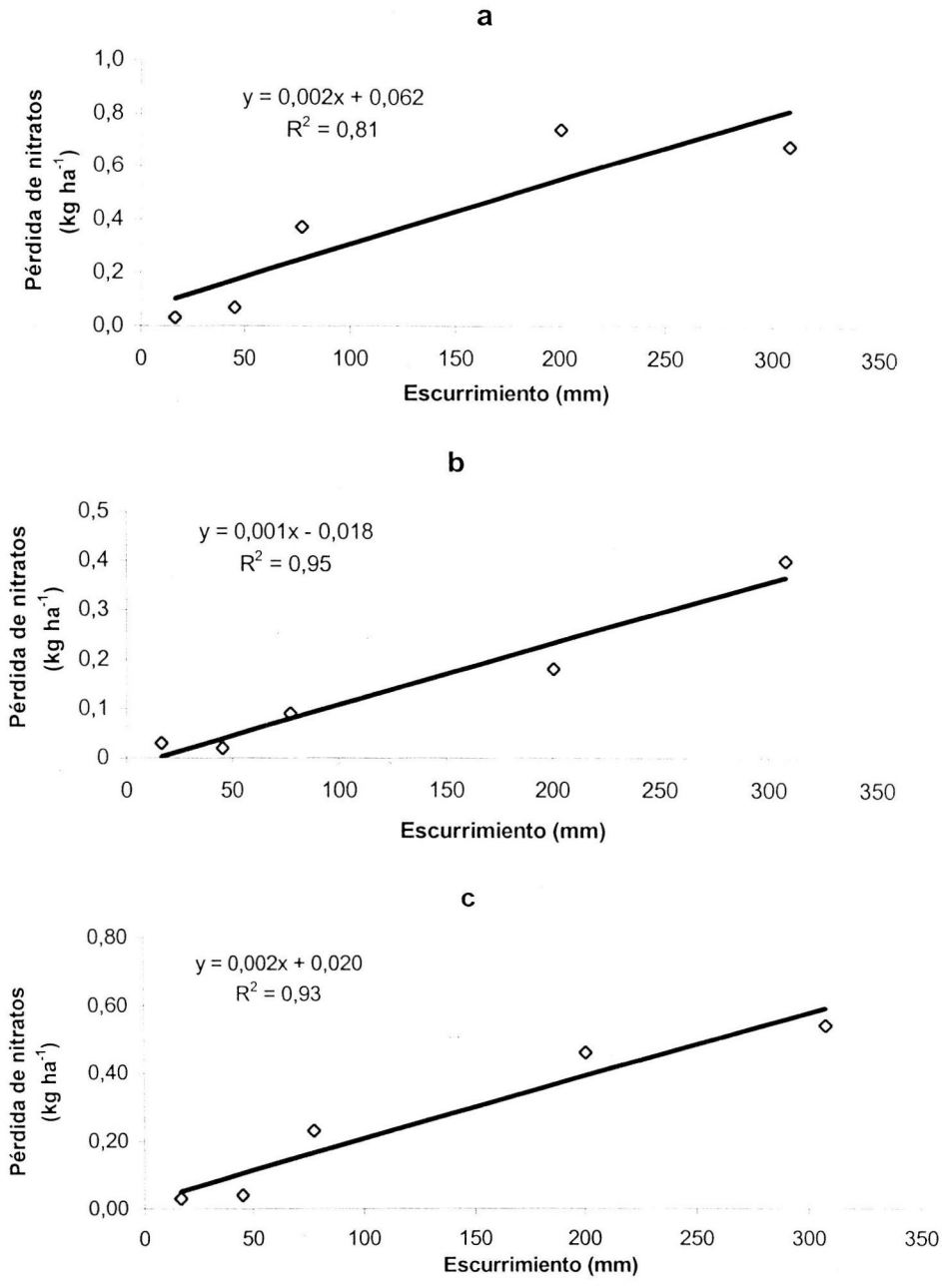


Figura A2. Relación de la pérdida de nitratos con el escurrimiento superficial en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. (a = 14 de agosto; b = 13 de septiembre; c = promedio). Año 2001.

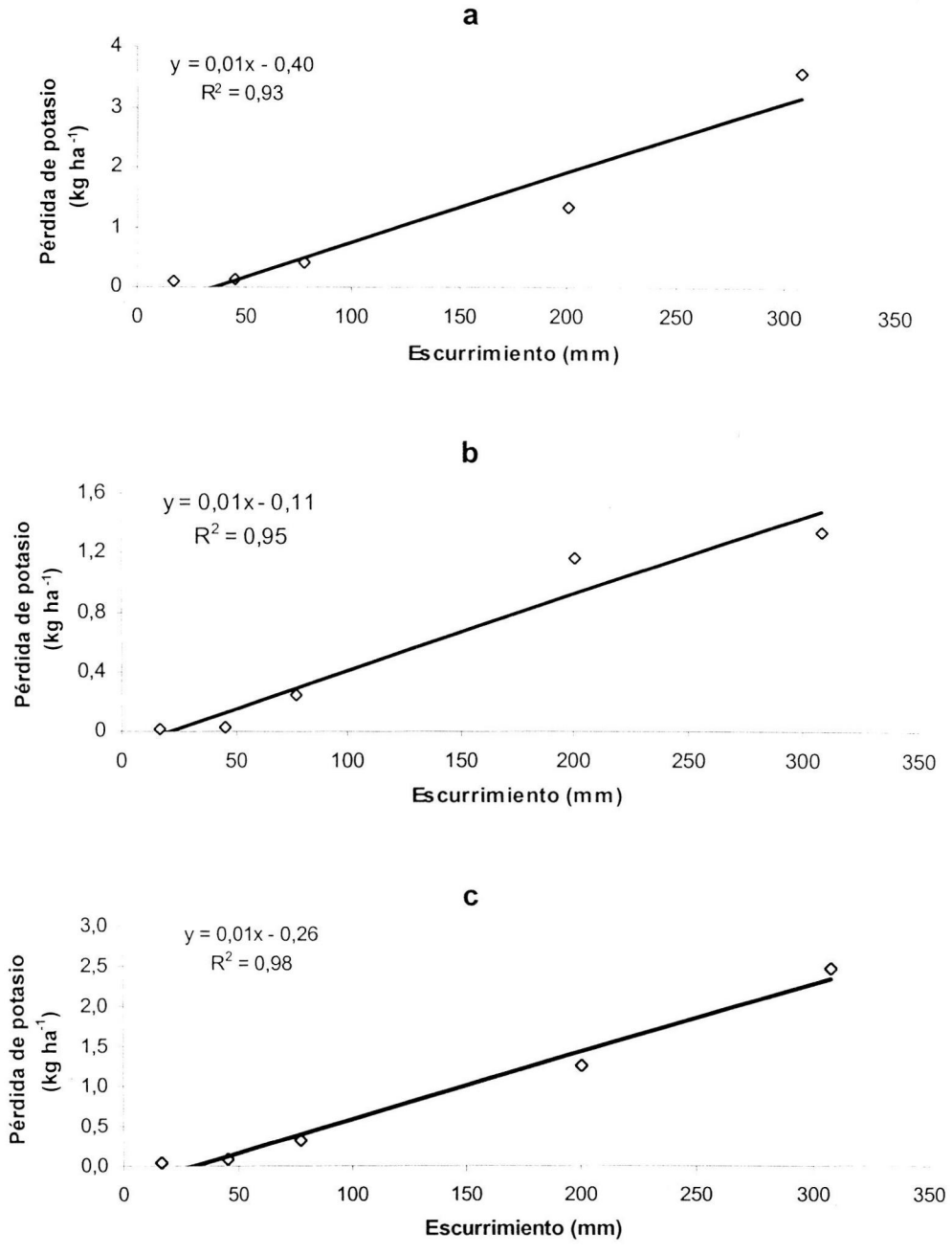


Figura A3. Relación de la pérdida de potasio con el escurrimiento superficial en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. (a = 14 de agosto; b = 13 de septiembre; c = promedio). Año 2001.

Cuadro A15. Cálculo de la condición de humedad antecedente (CHA) para todos los días del año 2001 en El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Número de Evento	Fecha (dd/mm/aa)	Lámina precip. (mm)	Lámina acumulada (mm)	Número de Evento	Fecha (dd/mm/aa)	Lámina precip. (mm)	Lámina acumulada (mm)
1	27-12-00	5,2		51	15-02-01	0	8,6
2	28-12-00	0		52	16-02-01	1,2	2,2
3	29-12-00	0,8		53	17-02-01	0,6	3,4
4	30-12-00	3		54	18-02-01	1	4
5	31-12-00	0		55	19-02-01	0	2,8
6	01-01-01	1,8	9	56	20-02-01	0	2,8
7	02-01-01	8,4	5,6	57	21-02-01	0	2,8
8	03-01-01	0,4	14	58	22-02-01	0	1,6
9	04-01-01	0	13,6	59	23-02-01	0,6	1
10	05-01-01	0,2	10,6	60	24-02-01	0	0,6
11	06-01-01	0	10,8	61	25-02-01	0	0,6
12	07-01-01	0	9	62	26-02-01	14,8	0,6
13	08-01-01	2,2	0,6	63	27-02-01	0	15,4
14	09-01-01	8,6	2,4	64	28-02-01	0	15,4
15	10-01-01	0	11	65	01-03-01	0,4	14,8
16	11-01-01	0	10,8	66	02-03-01	0,6	15,2
17	12-01-01	0	10,8	67	03-03-01	0	15,8
18	13-01-01	0	10,8	68	04-03-01	0	1
19	14-01-01	0	8,6	69	05-03-01	0	1
20	15-01-01	7,6	0	70	06-03-01	7,2	1
21	16-01-01	0	7,6	71	07-03-01	0	7,8
22	17-01-01	0	7,6	72	08-03-01	0	7,2
23	18-01-01	9	7,6	73	09-03-01	0,2	7,2
24	19-01-01	3,6	16,6	74	10-03-01	0,2	7,4
25	20-01-01	1,6	20,2	75	11-03-01	0	7,6
26	21-01-01	0	14,2	76	12-03-01	0,4	0,4
27	22-01-01	0	14,2	77	13-02-01	0	0,8
28	23-01-01	0	14,2	78	14-03-01	0	0,8
29	24-01-01	0	5,2	79	15-03-01	22,6	0,6
30	25-01-01	0	1,6	80	16-03-01	3,4	23
31	26-01-01	0	0	81	17-03-01	0	26,4
32	27-01-01	0	0	82	18-03-01	24,2	26
33	28-01-01	0	0	83	19-03-01	14,6	50,2
34	29-01-01	0,6	0	84	20-03-01	0	64,8
35	30-01-01	0	0,6	85	21-03-01	0,4	42,2
36	31-01-01	12	0,6	86	22-03-01	0	39,2
37	01-02-01	0	12,6	87	23-03-01	0	39,2
38	02-02-01	4	12,6	88	24-03-01	0	15
39	03-02-01	0	16,6	89	25-03-01	4	0,4
40	04-02-01	12,4	16	90	26-03-01	1,4	4,4
41	05-02-01	17,8	28,4	91	27-03-01	0	5,4
42	06-02-01	0	34,2	92	28-03-01	0	5,4
43	07-02-01	0	34,2	93	29-03-01	0	5,4
44	08-02-01	0	30,2	94	30-03-01	0	5,4
45	09-02-01	0	30,2	95	31-03-01	0,8	1,4
46	10-02-01	6,4	17,8	96	01-04-01	0	0,8
47	11-02-01	0	6,4	97	02-04-01	0	0,8
48	12-02-01	0	6,4	98	03-04-01	0	0,8
49	13-02-01	2,2	6,4	99	04-04-01	0	0,8
50	14-02-01	0	8,6	100	05-04-01	1,8	0,8

Continuación

Cuadro A15. Continuación.

Número de Evento	Fecha (dd/mm/aa)	Lámina precip. (mm)	Lámina acumulada (mm)	Número de Evento	Fecha (dd/mm/aa)	Lámina precip. (mm)	Lámina acumulada (mm)
101	06-04-01	0	1,8	151	26-05-01	0	96,2
102	07-04-01	0	1,8	152	27-05-01	0	89,2
103	08-04-01	0	1,8	153	28-05-01	0	15,2
104	09-04-01	0	1,8	154	29-05-01	0	0,8
105	10-04-01	0,6	1,8	155	30-05-01	0	0,8
106	11-04-01	0	0,6	156	31-05-01	0,2	0
107	12-04-01	0	0,6	157	01-06-01	59,4	0,2
108	13-04-01	1	0,6	158	02-06-01	0	59,6
109	14-04-01	0	1,6	159	03-06-01	0	59,6
110	15-04-01	0,4	1,6	160	04-06-01	0	59,6
111	16-04-01	0	1,4	161	05-06-01	0	59,6
112	17-04-01	0	1,4	162	06-06-01	0,4	59,4
113	18-04-01	1,2	1,4	163	07-06-01	3,8	0,4
114	19-04-01	0	1,6	164	08-06-01	0	4,2
115	20-04-01	0	1,6	165	09-06-01	0	4,2
116	21-04-01	0	1,2	166	10-06-01	0	4,2
117	22-04-01	0	1,2	167	06-11-01	3,2	4,2
118	23-04-01	4,2	1,2	168	12-06-01	15,4	7
119	24-04-01	36,8	4,2	169	13-06-01	0	18,6
120	25-04-01	0	41	170	14-06-01	10	18,6
121	26-04-01	13,4	41	171	15-06-01	43,6	28,6
122	27-04-01	8,2	54,4	172	16-06-01	0	72,2
123	28-04-01	0	62,6	173	17-06-01	0	69
124	29-04-01	2	58,4	174	18-06-01	0	53,6
125	30-04-01	0	23,6	175	19-06-01	1	53,6
126	01-05-01	0	23,6	176	20-06-01	18,4	44,6
127	02-05-01	0	10,2	177	21-06-01	0	19,4
128	03-05-01	0	2	178	22-06-01	27,4	19,4
129	04-05-01	0,4	2	179	23-06-01	25,4	46,8
130	05-05-01	0	0,4	180	24-06-01	0	72,2
131	06-05-01	54,4	0,4	181	25-06-01	3	71,2
132	07-05-01	0	54,8	182	26-06-01	69,6	55,8
133	08-05-01	20,6	54,8	183	27-06-01	47,2	125,4
134	09-05-01	0	75,4	184	28-06-01	0	145,2
135	10-05-01	0,8	75	185	29-06-01	2,4	119,8
136	11-05-01	0,8	75,8	186	30-06-01	0	122,2
137	12-05-01	0	22,2	187	01-07-01	14,4	119,2
138	13-05-01	0,8	22,2	188	02-07-01	59,2	64
139	14-05-01	13	2,4	189	03-07-01	14,2	76
140	15-05-01	0	15,4	190	04-07-01	0,6	90,2
141	16-05-01	0	14,6	191	05-07-01	0,6	88,4
142	17-05-01	0	13,8	192	06-07-01	21,2	89
143	18-05-01	0	13,8	193	07-07-01	8,8	95,8
144	19-05-01	0	13	194	08-07-01	37	45,4
145	20-05-01	0	0	195	09-07-01	0,2	68,2
146	21-05-01	7	0	196	10-07-01	1,6	67,8
147	22-05-01	74	7	197	11-07-01	31,4	68,8
148	23-05-01	14,4	81	198	12-07-01	4,8	79
149	24-05-01	0	95,4	199	13-07-01	4,4	75
150	25-05-01	0,8	95,4	200	14-07-01	12,4	42,4

Continuación

Cuadro A15. Continuación.

Número de Evento	Fecha (dd/mm/aa)	Lámina precip. (mm)	Lámina acumulada (mm)	Número de Evento	Fecha (dd/mm/aa)	Lámina precip. (mm)	Lámina acumulada (mm)
201	15-07-01	0	54,6	251	03-09-01	23,6	16,4
202	16-07-01	0	53	252	04-09-01	14	40
203	17-07-01	37,4	21,6	253	05-09-01	0	54
204	18-07-01	0	54,2	254	06-09-01	0	54
205	19-07-01	0,4	49,8	255	07-09-01	0	41,8
206	20-07-01	0,4	37,8	256	08-09-01	0	37,6
207	21-07-01	0	38,2	257	09-09-01	70	14
208	22-07-01	0	38,2	258	10-09-01	57,2	70
209	23-07-01	0,2	0,8	259	11-09-01	45	127,2
210	24-07-01	0	1	260	12-09-01	29	172,2
211	25-07-01	29,6	0,6	261	13-09-01	1,2	201,2
212	26-07-01	37,8	29,8	262	14-09-01	60	202,4
213	27-07-01	0,4	67,6	263	15-09-01	0,4	192,4
214	28-07-01	10,4	68	264	16-09-01	0	135,6
215	29-07-01	0	78,2	265	17-09-01	0	90,6
216	30-07-01	0	78,2	266	18-09-01	0	61,6
217	31-07-01	21	48,6	267	19-09-01	13,6	60,4
218	01-08-01	0	31,8	268	20-09-01	0,6	14
219	02-08-01	29,4	31,4	269	21-09-01	34,2	14,2
220	03-08-01	2,4	50,4	270	22-09-01	10,2	48,4
221	04-08-01	0	52,8	271	23-09-01	54,8	58,6
222	05-08-01	0	52,8	272	24-09-01	65,2	113,4
223	06-08-01	8	31,8	273	25-09-01	6	165
224	07-08-01	7,6	39,8	274	26-09-01	10,8	170,4
225	08-08-01	0	18	275	27-09-01	0	147
226	09-08-01	11,2	15,6	276	28-09-01	14,2	136,8
227	10-08-01	8,2	26,8	277	29-09-01	0	96,2
228	11-08-01	14,6	35	278	30-09-01	2,4	31
229	12-08-01	1,4	41,6	279	01-10-01	0,6	27,4
230	13-08-01	0	35,4	280	02-10-01	0	17,2
231	14-08-01	25,6	35,4	281	03-10-01	0	17,2
232	15-08-01	0,2	49,8	282	04-10-01	2,6	3
233	16-08-01	33,4	41,8	283	05-10-01	0,2	5,6
234	17-08-01	0	60,6	284	06-10-01	16,8	3,4
235	18-08-01	0	59,2	285	07-10-01	0,2	19,6
236	19-08-01	0	59,2	286	08-10-01	3,6	19,8
237	20-08-01	0	33,6	287	10-09-01	0,2	23,4
238	21-08-01	0	33,4	288	10-10-01	1,6	21
239	22-08-01	0	0	289	10-11-01	0,8	22,4
240	23-08-01	17,6	0	290	10-12-01	0	6,4
241	24-08-01	0,8	17,6	291	13-10-01	13,6	6,2
242	25-08-01	20,6	18,4	292	14-10-01	4	16,2
243	26-08-01	29,6	39	293	15-10-01	0	20
244	27-08-01	2,6	68,6	294	16-10-01	13	18,4
245	28-08-01	0	71,2	295	17-10-01	0	30,6
246	29-08-01	0	53,6	296	18-10-01	0	30,6
247	30-08-01	0	52,8	297	19-10-01	0	17
248	31-08-01	0	32,2	298	20-10-01	0	13
249	01-09-01	12,2	2,6	299	21-10-01	0	13
250	02-09-01	4,2	12,2	300	22-10-01	0	0

Continuación

Cuadro A15. Continuación.

Número de Evento	Fecha (dd/mm/aa)	Lámina precip. (mm)	Lámina acumulada (mm)	Número de Evento	Fecha (dd/mm/aa)	Lámina precip. (mm)	Lámina acumulada (mm)
301	23-10-01	0	0	351	12-12-01	0	8,2
302	24-10-01	0	0	352	13-12-01	0	8
303	25-10-01	31,4	0	353	14-12-01	2,6	0
304	26-10-01	37,8	31,4	354	15-12-01	0,4	2,6
305	27-10-01	12,8	69,2	355	16-12-01	0,2	3
306	28-10-01	10,4	82	356	17-12-01	0,4	3,2
307	29-10-01	12,6	92,4	357	18-12-01	0	3,6
308	30-10-01	0	105	358	19-12-01	0	3,6
309	31-10-01	0	73,6	359	20-12-01	0	1
310	01-11-01	0	35,8	360	21-12-01	0	0,6
311	02-11-01	0	23	361	22-12-01	0	0,4
312	03-11-01	26	12,6	362	23-12-01	3,2	0
313	04-11-01	12	26	363	24-12-01	0	3,2
314	05-11-01	0	38	364	25-12-01	2	3,2
315	06-11-01	0,2	38	365	26-12-01	0,6	5,2
316	07-11-01	0	38,2	366	27-12-01	0,2	5,8
317	08-11-01	0	38,2	367	28-12-01	0	6
318	09-11-01	8,2	12,2	368	29-12-01	0,4	2,8
319	10-11-01	0	8,4	369	30-12-01	0	3,2
320	11-11-01	2	8,4	370	31-12-01	2,8	2,8
321	12-11-01	0	10,2				
322	13-11-01	0	10,2				
323	14-11-01	0	10,2				
324	15-11-01	0	2				
325	16-11-01	2,4	2				
326	17-11-01	61,2	2,4				
327	18-11-01	0	63,6				
328	19-11-01	0	63,6				
329	20-11-01	0	63,6				
330	21-11-01	7,2	63,6				
331	22-11-01	0,4	68,4				
332	23-11-01	0,2	7,6				
333	24-11-01	0	7,8				
334	25-11-01	0	7,8				
335	26-11-01	0	7,8				
336	27-11-01	0,2	0,6				
337	28-11-01	5,4	0,4				
338	29-11-01	1	5,6				
339	30-11-01	0,2	6,6				
340	01-12-01	0	6,8				
341	02-12-01	0	6,8				
342	03-12-01	0	6,6				
343	04-12-01	0	1,2				
344	05-12-01	2,4	0,2				
345	06-12-01	0	2,4				
346	07-12-01	0,2	2,4				
347	08-12-01	8	2,6				
348	09-12-01	0	10,6				
349	10-12-01	0	10,6				
350	11-12-01	0	8,2				

Cuadro A16. Eventos con escurrimiento en condición de humedad antecedente I (seca) en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Fecha	CHA I	Escurrimiento (mm)					Q[1]	PP[2]
de lluvia	0.0 - 12.6 mm	T1	T2	T3	T4	T5	prom	(mm)
01-06-01	0,20	0,01	0,03	1,03	5,05	0,02	1,23	59,40
25-07-01	1,00	0,00	6,59	0,12	0,00	0,00	1,34	29,60
02-09-01	2,60	0,00	0,31	0,18	0,25	0,00	0,15	4,20
03-09-01	12,20	0,15	0,26	1,56	4,42	0,22	1,32	23,60
06-10-01	3,40	0,06	6,01	0,39	2,49	0,11	1,81	16,80
14-10-01	6,20	0,08	6,28	0,39	2,49	0,02	1,85	13,60
25-10-01	0,00	0,02	0,31	0,39	0,43	0,04	0,24	31,40
03-11-01	12,60	0,16	5,99	6,66	9,03	0,22	4,41	26,00
11-11-01	8,40	0,00	0,31	0,39	0,32	0,00	0,20	2,00
16-11-01	2,00	0,14	0,31	1,75	10,22	0,21	2,53	2,60
17-11-01	2,40	3,28	0,04	8,13	12,96	4,67	5,82	61,20

[1] Escurrimiento; [2] Precipitación

Cuadro A17. Eventos con escurrimiento en condición de humedad antecedente II (intermedia) en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Fecha	CHA II	Escurrimiento (mm)					Q[1]	PP[2]
de lluvia	12.7 - 32.8	T1	T2	T3	T4	T5	prom	(mm)
15-06-01	28,60	0,02	0,32	1,12	2,10	0,01	0,71	43,6
22-06-01	19,40	0,00	0,32	0,33	0,21	0,00	0,17	27,4
17-07-01	21,60	0,16	0,02	6,38	9,02	2,87	3,69	37,4
26-07-01	29,80	0,03	0,06	4,34	4,94	0,02	1,88	37,8
02-08-01	31,40	0,11	0,00	6,38	6,37	0,20	2,61	29,6
09-08-01	15,60	0,01	0,03	0,20	0,08	0,08	0,08	11,2
10-08-01	26,80	0,00	0,30	0,06	0,00	0,00	0,07	8,2
25-08-01	18,40	0,03	0,19	0,38	0,44	0,19	0,25	20,6
03-09-01	16,40	0,15	0,26	1,56	4,42	0,21	1,32	23,6
09-09-01	14,00	3,28	0,31	8,33	13,40	4,47	5,96	70,0
21-09-01	14,20	0,15	0,13	7,95	9,82	1,70	3,95	34,2
08-10-01	19,80	0,00	6,23	0,13	0,11	0,00	1,29	3,6
16-10-01	18,40	0,07	6,18	0,39	0,43	0,06	1,43	13,0
26-10-01	31,40	0,16	4,07	8,41	9,03	0,21	4,38	37,8
04-11-01	26,00	0,16	0,02	2,87	9,03	0,03	2,42	12,0

[1] Escurrimiento; [2] Precipitación

Cuadro A18. Eventos con escurrimiento en condición de humedad antecedente III (húmeda) en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Fecha de lluvia	CHA III > 38.2	Escurrimiento (mm)					Q[1] prom	PP[2] (mm)
		T1	T2	T3	T4	T5		
20-06-01	44,60	0,00	0,20	0,10	0,00	0,00	0,06	18,4
23-06-01	46,80	0,02	0,32	0,84	0,87	0,13	0,44	25,4
26-06-01	55,80	2,40	0,03	8,51	11,36	0,23	4,51	69,6
27-06-01	125,40	0,16	0,32	8,51	9,30	0,02	3,66	47,2
01-07-01	119,20	0,00	0,32	0,21	9,30	0,00	1,97	14,4
02-07-01	64,00	0,16	0,06	8,51	11,93	2,88	4,71	59,2
03-07-01	76,00	0,05	0,32	1,77	0,15	0,03	0,46	14,2
06-07-01	89,00	0,04	0,00	0,40	0,44	0,18	0,21	21,2
07-07-01	95,80	0,00	0,32	0,15	0,06	0,00	0,11	8,8
08-07-01	45,40	0,16	0,00	8,51	10,11	0,86	3,93	37,0
11-07-01	68,80	0,12	0,01	1,67	0,43	0,21	0,49	31,4
12-07-01	79,00	0,00	0,02	0,05	0,03	0,00	0,02	4,8
14-07-01	42,40	0,02	0,31	0,29	0,07	0,06	0,15	12,4
28-07-01	68,00	0,00	3,20	0,18	8,69	0,00	2,41	10,4
31-07-01	48,60	0,02	0,31	1,38	0,03	0,11	0,37	21,0
03-07-01	50,40	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,01	2,4
08-08-01	39,80	0,00	4,61	0,30	0,11	0,03	1,01	7,6
11-08-01	35,00	0,08	0,30	0,39	0,00	0,21	0,20	14,6
14-08-01	35,40	0,16	3,19	3,97	8,20	0,21	3,15	25,6
16-08-01	41,80	0,16	0,30	8,32	9,02	0,20	3,60	33,4
26-08-01	39,00	0,11	0,07	8,23	4,53	0,21	2,63	29,6
04-09-01	40,00	0,07	0,04	1,01	2,90	0,14	0,83	14,0
10-09-01	70,00	0,15	0,31	8,23	13,31	4,46	5,29	57,2
11-09-01	127,20	0,16	1,53	8,14	13,33	4,57	5,55	45,0
12-09-01	172,20	0,16	1,68	8,23	9,03	0,22	3,86	29,0
14-09-01	202,40	3,28	0,05	8,23	13,22	4,67	5,89	60,0
19-09-01	60,40	0,00	0,34	0,07	0,10	0,00	0,10	13,6
22-09-01	48,40	0,04	0,31	0,83	1,67	0,08	0,59	10,2
23-09-01	58,60	0,16	0,88	8,22	11,16	4,68	5,02	54,8
24-09-01	113,40	0,16	0,31	8,22	13,03	4,57	5,26	65,2
26-09-01	170,40	0,16	0,31	8,04	9,02	0,21	3,55	10,8
28-09-01	136,80	0,10	6,46	3,60	9,02	0,20	3,88	14,2
27-10-01	69,20	0,16	0,19	4,90	12,34	0,21	3,56	12,8
29-10-01	92,40	0,08	6,24	1,85	2,28	0,04	2,10	12,6
20-11-01	63,60	0,01	0,00	0,11	0,14	0,00	0,05	7,2

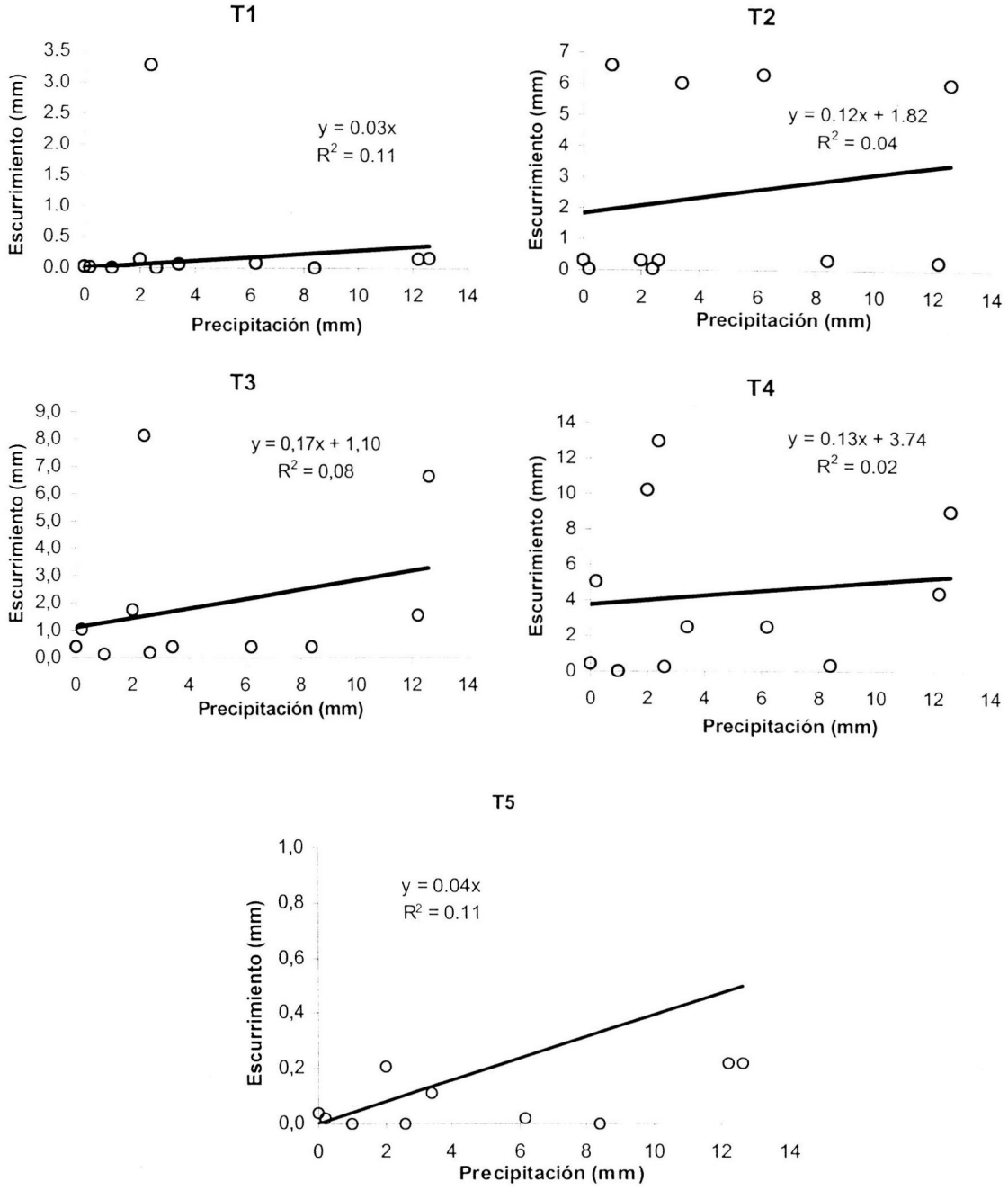


Figura A4. Relación escurrimiento - precipitación bajo la condición de humedad antecedente I por tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

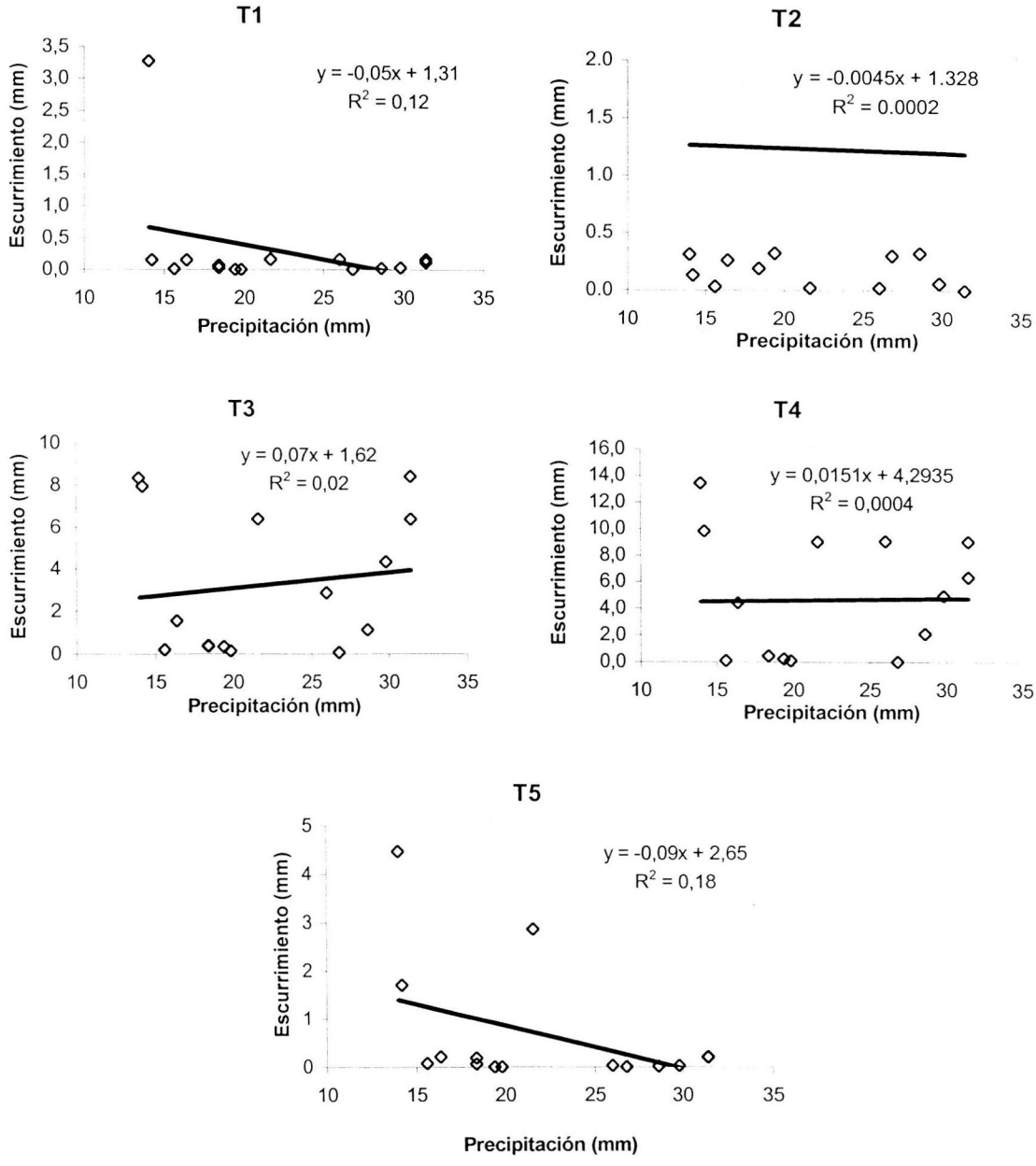


Figura A5. Relación escurrimiento - precipitación bajo la condición de humedad antecedente II por tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

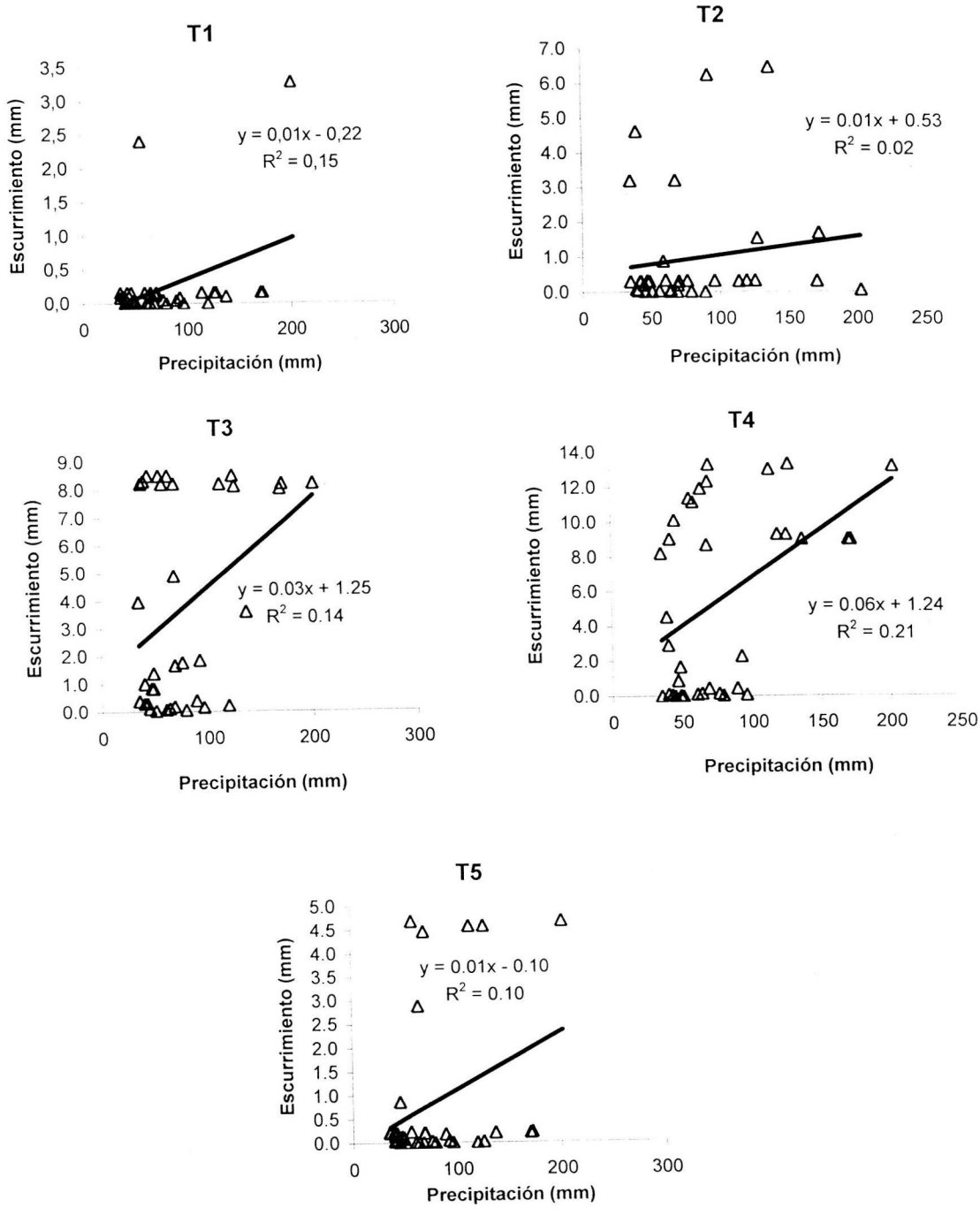


Figura A6. Relación escurrimiento - precipitación bajo la condición de humedad antecedente III por tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Cuadro A19. Concentración de sedimentos (g) por litro de agua muestreada (L) por tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2000.

No. prog.	Fecha bote	Tratamiento				
		T1	T2	T3	T4	T5
1	02/06/01	0.00	0.89	2.95	4.48	0.22
2	16/06/01	0.18	0.98	2.95	0.51	0.29
3	21/06/01	0.00	2.02	4.59	0.00	0.00
4	23/06/01	0.00	8.50	0.15	0.49	0.00
5	24/06/01	0.07	1.12	6.58	9.22	1.90
6	27/06/01	4.11	4.77	6.79	1.86	0.42
7	28/06/01	0.22	1.54	1.64	2.69	1.16
8	02/07/01	0.00	0.84	0.15	0.00	0.00
9	03/07/01	4.06	0.18	3.31	0.16	0.97
10	04/07/01	2.29	1.18	1.28	0.40	0.47
11	07/07/01	2.62	1.58	3.52	2.82	2.28
12	08/07/01	0.00	0.00	1.16	0.05	0.00
13	09/07/01	3.77	1.41	3.33	3.09	1.27
14	12/07/01	1.66	0.00	4.41	0.02	5.24
15	13/07/01	0.00	0.14	0.56	0.08	0.00
16	15/07/01	0.15	0.65	0.90	0.08	0.68
17	18/07/01	0.04	4.03	1.20	0.03	0.13
18	25/07/01	0.00	0.13	0.08	0.00	0.00
19	27/07/01	0.07	0.10	0.42	0.09	0.39
20	29/07/01	0.00	0.15	0.16	0.09	0.00
21	01/08/01	0.67	1.08	2.59	0.49	0.50
22	03/08/01	0.91	0.80	1.68	0.41	0.40
23	04/08/01	0.00	0.00	3.80	0.00	0.00
24	08/08/01	0.00	3.13	1.89	0.77	1.69
25	10/08/01	1.70	1.28	1.21	1.22	1.23
26	11/08/01	0.00	4.10	1.57	0.00	0.00
27	12/08/01	1.40	1.15	1.41	0.00	1.09
28	15/08/01	1.64	0.82	1.47	0.53	1.17
29	17/08/01	0.70	0.54	1.90	0.26	0.73
30	26/08/01	0.68	0.76	0.90	0.34	0.67
31	27/08/01	0.31	0.41	0.66	0.51	0.00
32	02/09/01	0.00	0.65	0.62	0.56	0.66
33	03/09/01	0.00	0.84	1.27	0.85	0.00
34	04/09/01	0.83	0.50	1.14	0.39	0.42
35	05/09/01	0.75	0.57	0.70	0.32	0.73
36	10/09/01	0.27	0.66	0.72	0.52	0.24
37	11/09/01	1.03	3.62	4.00	4.00	0.14
38	12/09/01	1.01	1.23	1.91	1.52	0.88
39	13/09/01	0.51	0.78	1.76	1.08	0.44
40	15/09/01	4.96	2.79	5.00	0.85	0.23
41	20/09/01	0.00	2.13	2.02	1.99	0.00
42	22/09/01	2.39	1.81	2.35	1.89	1.21
43	23/09/01	1.57	2.93	2.15	1.17	1.96
44	24/09/01	1.36	4.94	4.69	2.98	0.74
45	25/09/01	1.20	1.87	3.03	3.31	0.97
46	27/09/01	1.24	1.74	1.49	1.13	1.47
47	29/09/01	2.71	2.65	2.07	1.93	1.89
48	07/10/01	1.92	1.23	1.72	1.33	1.56
49	09/10/01	0.00	0.00	1.13	1.24	0.00
50	15/10/01	0.98	0.57	0.60	1.79	0.68
51	17/10/01	1.26	0.90	0.84	1.01	1.00
52	26/10/01	0.72	1.58	1.21	0.99	0.73
53	27/10/01	0.68	2.22	1.08	1.57	0.67
54	28/10/01	0.56	1.04	1.01	0.84	0.49
55	30/10/01	0.70	1.96	0.35	0.52	0.29
56	04/11/01	0.99	1.82	0.91	1.05	1.15
57	05-11-01	0.45	0.96	0.63	0.61	0.69
58	12/11/01	0.00	0.78	0.35	0.30	0.00
59	17/11/01	0.98	1.42	1.03	0.87	1.64
60	18/11/01	0.62	1.14	1.36	0.83	0.29
61	21/11/01	0.49	0.78	1.17	0.71	0.00

Cuadro A20. Pérdida de suelo (kg) por evento de lluvia que provocó escurrimiento por tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

No. prog.	Fecha bote	Tratamiento				
		T1	T2	T3	T4	T5
1	02/06/01	0.00	0.01	0.89	6.04	0.00
2	16/06/01	0.00	0.12	0.97	0.28	0.00
3	21/06/01	0.00	0.15	0.14	0.00	0.00
4	23/06/01	0.00	1.01	0.01	0.03	0.00
5	24/06/01	0.00	0.13	1.62	2.14	0.13
6	27/06/01	7.14	0.05	16.94	5.65	0.05
7	28/06/01	0.03	0.18	4.09	6.68	0.01
8	02/07/01	0.00	0.10	0.01	0.00	0.00
9	03/07/01	0.48	0.00	8.26	0.51	1.44
10	04/07/01	0.09	0.14	0.66	0.02	0.01
11	07/07/01	0.07	0.00	0.41	0.33	0.22
12	08/07/01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
13	09/07/01	0.44	0.00	8.32	8.34	0.56
14	12/07/01	0.15	0.00	2.16	0.00	0.60
15	13/07/01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
16	15/07/01	0.00	0.07	0.08	0.00	0.02
17	18/07/01	0.00	0.03	2.24	0.07	0.19
18	25/07/01	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00
19	27/07/01	0.00	0.00	0.53	0.12	0.00
20	29/07/01	0.00	0.18	0.01	0.21	0.00
21	01/08/01	0.01	0.12	1.05	0.00	0.03
22	03/08/01	0.07	0.00	3.14	0.70	0.04
23	04/08/01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
24	08/08/01	0.00	5.38	0.16	0.02	0.03
25	10/08/01	0.02	0.02	0.07	0.03	0.05
26	11/08/01	0.00	0.46	0.03	0.00	0.00
27	12/08/01	0.08	0.13	0.16	0.00	0.12
28	15/08/01	0.18	0.98	1.71	1.16	0.13
29	17/08/01	0.08	0.06	4.63	0.63	0.08
30	26/08/01	0.01	0.05	0.10	0.04	0.07
31	27/08/01	0.02	0.01	1.59	0.62	0.00
32	02/09/01	0.00	0.00	0.06	0.02	0.00
33	03/09/01	0.00	0.10	0.07	0.06	0.00
34	04/09/01	0.09	0.05	0.52	0.46	0.05
35	05/09/01	0.04	0.01	0.21	0.25	0.05
36	10/09/01	0.64	0.08	1.76	1.86	0.55
37	11/09/01	0.11	0.41	9.64	14.21	0.32
38	12/09/01	0.12	0.70	4.55	5.41	2.07
39	13/09/01	0.06	0.49	4.24	2.60	0.05
40	15/09/01	11.78	0.05	12.06	3.00	0.55
41	20/09/01	0.00	0.27	0.04	0.05	0.00
42	22/09/01	0.27	0.09	5.47	4.95	1.06
43	23/09/01	0.04	0.34	0.52	0.52	0.08
44	24/09/01	0.16	1.62	11.30	8.88	1.78
45	25/09/01	0.14	0.21	7.30	11.52	2.28
46	27/09/01	0.14	0.20	3.51	2.72	0.17
47	29/09/01	0.20	6.38	2.18	4.65	0.20
48	07/10/01	0.08	2.76	0.20	0.88	0.10
49	09/10/01	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00
50	15/10/01	0.06	1.33	0.07	1.19	0.01
51	17/10/01	0.07	2.08	0.10	0.12	0.03
52	26/10/01	0.01	0.18	0.14	0.11	0.02
53	27/10/01	0.08	3.37	2.66	3.78	0.08
54	28/10/01	0.06	0.07	1.45	2.77	0.06
55	30/10/01	0.04	4.56	0.19	0.32	0.01
56	04/11/01	0.11	4.07	1.78	2.53	0.13
57	05-11-01	0.05	0.01	0.53	1.47	0.01
58	12/11/01	0.00	0.09	0.04	0.03	0.00
59	17/11/01	0.10	0.16	0.53	2.37	0.19
60	18/11/01	1.47	0.02	3.24	2.87	0.70
61	21/11/01	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00

Cuadro A21. Pérdida de suelo (kg ha^{-1}) por evento de lluvia y tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

No. prog.	Fecha de bote	Tratamiento T1	T2	T3	T4	T5	Promedio
1	02-06-01	0,00	0,30	30,21	226,40	0,05	51,39
2	16-06-01	0,04	3,11	33,00	10,62	0,04	9,36
3	21-06-01	0,00	4,00	4,68	0,00	0,00	1,74
4	23-06-01	0,00	26,95	0,50	1,02	0,00	5,69
5	24-06-01	0,01	3,55	55,31	80,08	2,52	28,29
6	27-06-01	98,81	1,42	578,03	211,64	0,97	178,17
7	28-06-01	0,36	4,89	139,74	250,20	0,25	79,09
8	02-07-01	0,00	2,68	0,31	0,00	0,00	0,60
9	03-07-01	6,59	0,11	281,98	18,96	27,98	67,13
10	04-07-01	1,25	3,73	22,55	0,58	0,12	5,65
11	07-07-01	0,94	0,00	14,13	12,49	4,24	6,36
12	08-07-01	0,00	0,00	1,72	0,03	0,00	0,35
13	09-07-01	6,13	0,00	283,89	312,40	10,92	122,67
14	12-07-01	2,03	0,00	73,83	0,08	11,56	17,50
15	13-07-01	0,00	0,03	0,26	0,02	0,00	0,06
16	15-07-01	0,03	1,99	2,60	0,06	0,40	1,01
17	18-07-01	0,06	0,76	76,31	2,53	3,71	16,67
18	25-07-01	0,00	8,44	0,10	0,00	0,00	1,71
19	27-07-01	0,02	0,06	18,02	4,42	0,09	4,52
20	29-07-01	0,00	4,89	0,29	7,79	0,00	2,59
21	01-08-01	0,01	0,27	2,51	0,01	0,38	0,64
22	03-08-01	1,03	0,00	107,18	26,10	0,86	27,03
23	04-08-01	0,00	0,00	1,23	0,00	0,00	0,25
24	08-08-01	0,00	144,28	5,61	0,83	0,50	30,24
25	10-08-01	0,23	0,43	2,41	0,94	1,01	1,01
26	11-08-01	0,00	12,44	1,02	0,00	0,00	2,69
27	12-08-01	1,08	3,45	5,49	0,00	2,41	2,49
28	15-08-01	2,56	26,17	58,39	43,48	2,55	26,63
29	17-08-01	1,10	1,62	158,10	23,45	1,55	37,17
30	26-08-01	0,19	1,45	3,42	1,49	1,27	1,56
31	27-08-01	0,33	0,29	54,34	23,10	0,00	15,61
32	02-09-01	0,00	0,12	1,90	0,71	0,07	0,56
33	03-09-01	0,00	2,58	2,24	2,11	0,00	1,39
34	04-09-01	1,28	1,28	17,78	17,25	0,92	7,70
35	05-09-01	0,55	0,25	7,10	9,27	1,07	3,65
36	10-09-01	8,87	2,03	59,95	69,70	10,72	30,25
37	11-09-01	1,55	11,11	329,15	532,22	6,24	176,05
38	12-09-01	1,61	18,86	155,40	202,61	40,21	83,74
39	13-09-01	0,79	13,09	144,83	97,48	0,98	51,43
40	15-09-01	162,89	1,44	411,44	112,39	10,75	139,78
41	20-09-01	0,00	7,16	1,50	1,93	0,00	2,12
42	22-09-01	3,68	2,39	186,75	185,58	20,52	79,78
43	23-09-01	0,59	9,00	17,83	19,55	1,56	9,71
44	24-09-01	2,17	43,53	385,71	332,51	34,60	159,70
45	25-09-01	1,91	5,74	249,19	431,32	44,32	146,50
46	27-09-01	1,98	5,34	119,78	101,93	3,24	46,46
47	29-09-01	2,80	171,12	74,57	174,10	3,82	85,28
48	07-10-01	1,12	73,88	6,70	33,08	1,87	23,33
49	09-10-01	0,00	0,00	1,47	1,39	0,00	0,57
50	15-10-01	0,79	35,77	2,34	44,53	0,14	16,72
51	17-10-01	0,93	55,63	3,27	4,33	0,59	12,95
52	26-10-01	0,16	4,85	4,71	4,25	0,31	2,86
53	27-10-01	1,06	90,39	90,87	141,70	1,50	65,10
54	28-10-01	0,89	1,94	49,50	103,63	1,09	31,41
55	30-10-01	0,55	122,32	6,48	11,87	0,13	28,27
56	04-11-01	1,54	109,08	60,58	94,77	2,57	53,71
57	05-11-01	0,72	0,22	18,06	55,09	0,22	14,86
58	12-11-01	0,00	2,39	1,36	0,96	0,00	0,94
59	17-11-01	1,38	4,36	18,06	88,94	3,66	23,28
60	18-11-01	20,35	0,51	110,59	107,61	13,54	50,52
61	21-11-01	0,05	0,00	1,30	0,98	0,00	0,47
	Totales:	**343,02**	**1053,65**	**4557,57**	**4242,51**	**278,05**	**2094,96**

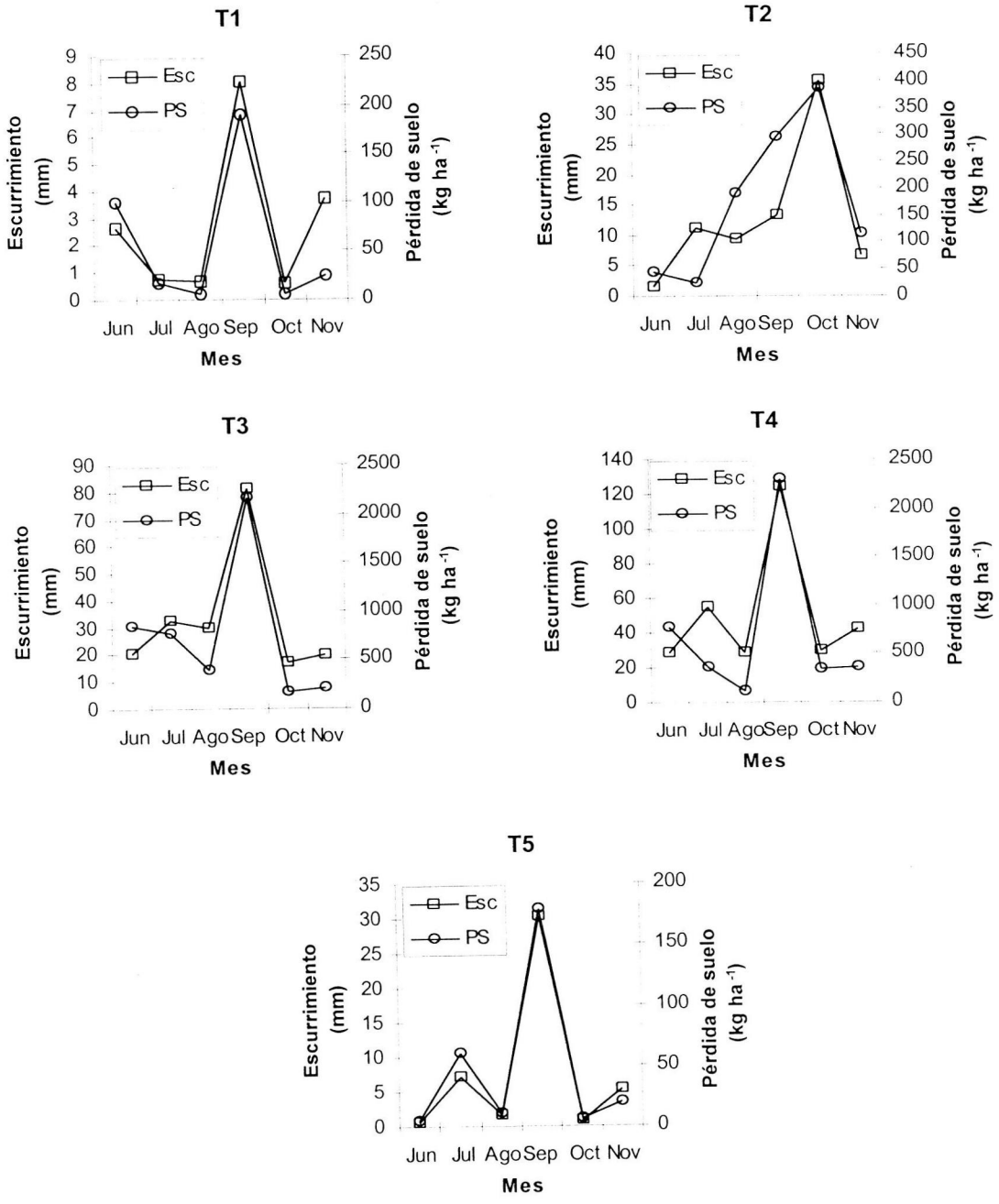


Figura A7. Relación entre pérdida de suelo y escurrimiento por tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

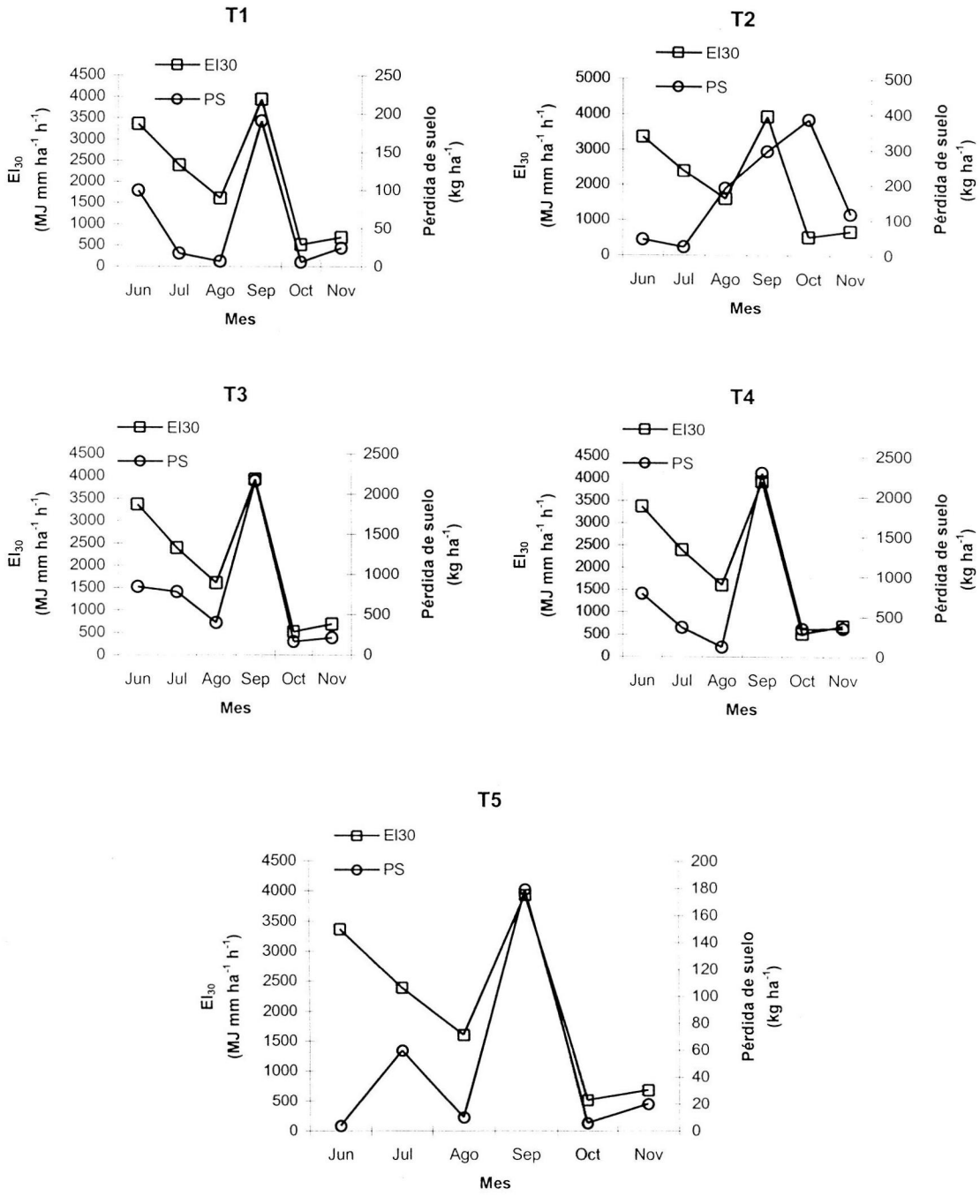


Figura A8. Relación entre pérdida de suelo acumulada y EI_{30} acumulado por mes por tratamiento en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

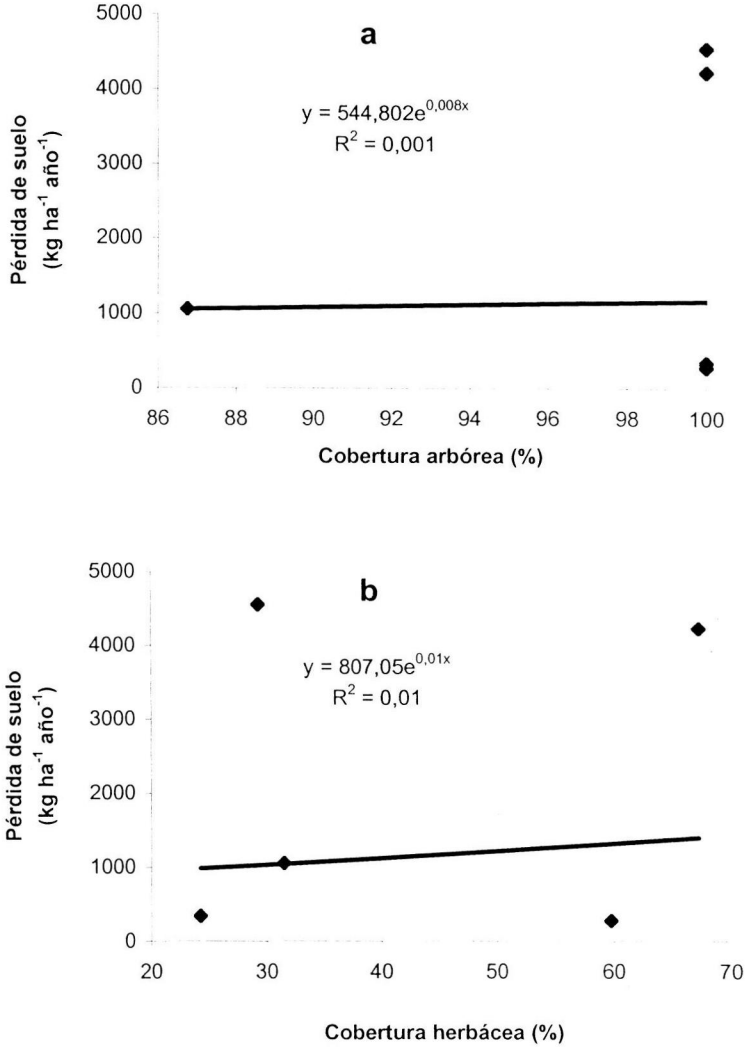


Figura A9. Efecto de la cobertura arbórea (a) y herbácea (b) sobre la pérdida de suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001. Promedio de los muestreos de mayo, agosto, septiembre y noviembre.

Cuadro A22. Densidad aparente y contenido de humedad del suelo por tratamiento de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Veracruz. Año 2001.

JULIO	Profundidad (cm)							
	0		-10		-30		-60	
Tratamiento	Dap[1]	Hg[2]	Dap[1]	Hg[2]	Dap[1]	Hg[2]	Dap[1]	Hg[2]
T1	1.02	45	1.26	32	1.40	28	1.53	25
T2	1.18	36	1.34	31	1.66	26	1.47	25
T3	1.13	37	1.38	31	1.33	33	1.31	34
T4	1.25	35	1.10	38	1.34	30	1.32	26
T5	1.08	41	1.35	26	1.39	26	1.60	22

NOVIEMBRE	Profundidad (cm)							
	0		-10		-30		-60	
Tratamiento	Dap[1]	Hg[2]	Dap[1]	Hg[2]	Dap[1]	Hg[2]	Dap[1]	Hg[2]
T1	0.84	62	1.18	33	1.29	31	1.38	30
T2	1.09	44	1.28	32	1.39	27	1.51	24
T3	1.02	47	1.19	34	1.26	33	1.31	29
T4	1.07	47	1.20	37	1.31	32	1.39	27
T5	1.07	45	1.18	35	1.31	32	1.42	28

PROMEDIO (jul – nov)	Profundidad (cm)							
	0		-10		-30		-60	
Tratamiento	Dap[1]	Hg[2]	Dap[1]	Hg[2]	Dap[1]	Hg[2]	Dap[1]	Hg[2]
T1	0.93	53	1.22	32	1.34	29	1.45	28
T2	1.13	40	1.31	32	1.52	27	1.49	25
T3	1.07	42	1.23	33	1.30	33	1.31	32
T4	1.16	41	1.15	37	1.33	31	1.35	27
T5	1.08	43	1.26	30	1.35	29	1.51	25

1) **Dap** = Densidad aparente (g/cm^3)
2) **Hg** = Contenido de humedad (%)

Cuadro A23. Densidad aparente (Dap) y contenido de humedad (Hg) promedio por tipo de suelo, en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

		Profundidad (cm)							
		0		-10		-30		-60	
Suelo	**Tratamiento**	**Dap**	**Hg**	**Dap**	**Hg**	**Dap**	**Hg**	**Dap**	**Hg**
		($g\ cm^{-3}$)	(%)	($g\ cm^{-3}$)	(%)	($g\ cm^{-3}$)	(%)	($g\ cm^{-3}$)	(%)
Mollisol	T1	0,93	53	1,22	32	1,35	29	1,46	28
	T2	1,14	40	1,31	32	1,53	27	1,49	25
	Prom	**1,04**	**47**	**1,27**	**32**	**1,43**	**28**	**1,48**	**26**
Inceptisol	T3	1,08	42	1,24	33	1,30	33	1,31	32
	T4	1,16	41	1,15	37	1,33	31	1,36	27
	T5	1,08	43	1,27	30	1,35	29	1,51	24
	Prom	**1,11**	**42**	**1,22**	**33**	**1,33**	**31**	**1,39**	**28**

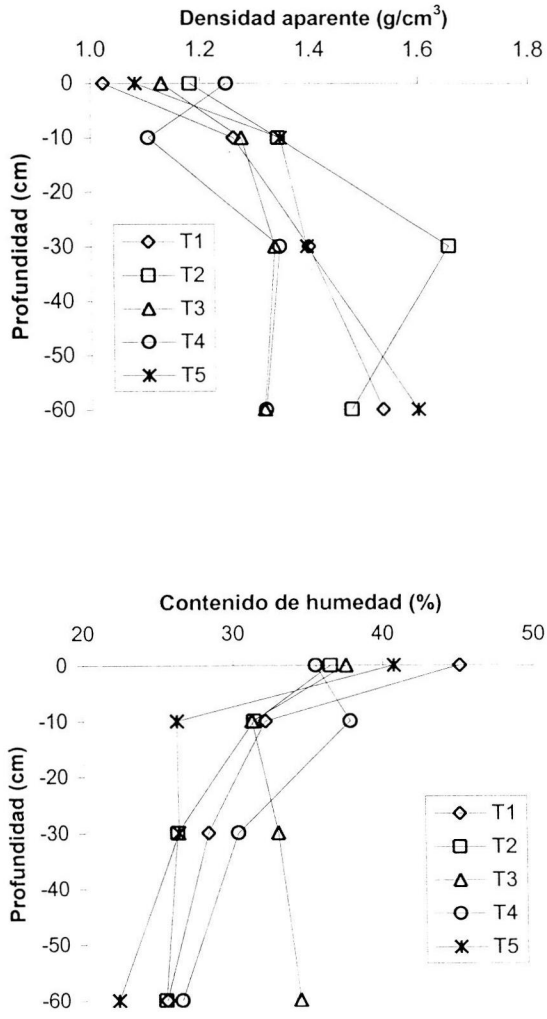


Figura A10. Densidad aparente y contenido de humedad por tratamiento en el mes de julio en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

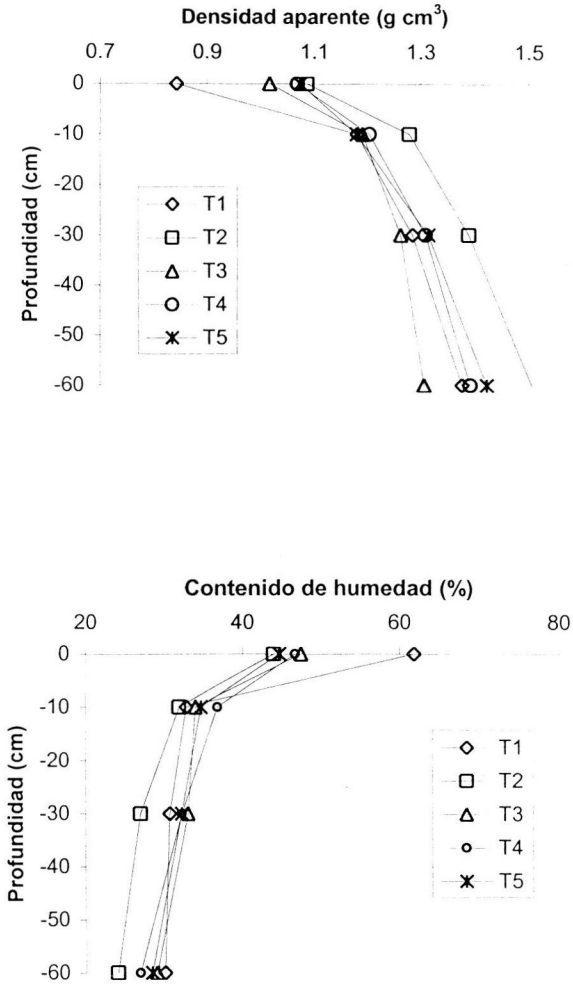


Figura A11. Densidad aparente y contenido de humedad por tratamiento en el mes de noviembre en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

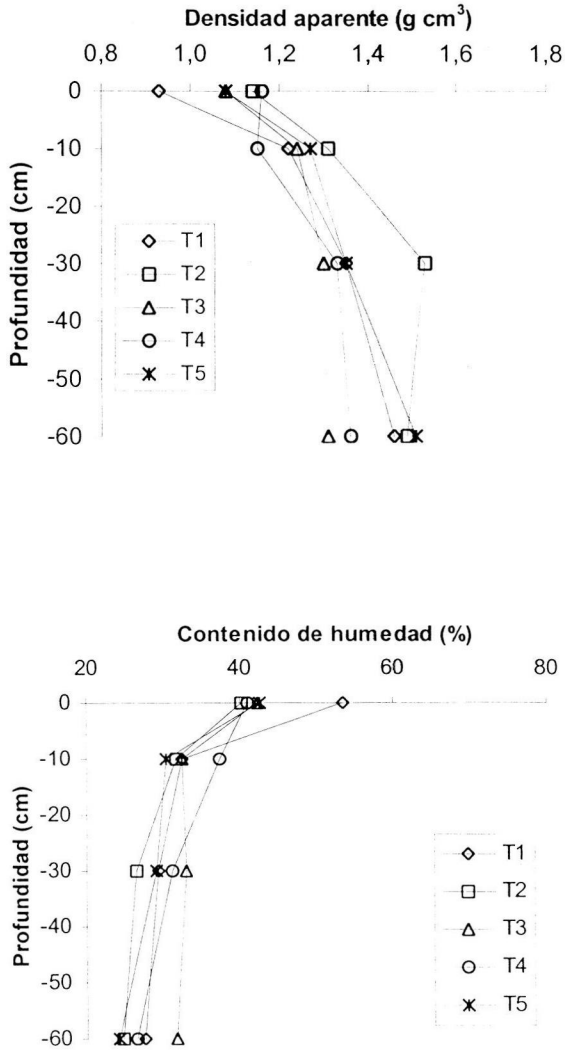


Figura A12. Densidad aparente y contenido de humedad por tratamiento promedio (julio y noviembre) en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Cuadro A24. Promedios de infiltración por tratamiento en el mes de julio en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Tratamiento 1				Tratamiento 2				Tratamiento 3				Tratamiento 4				Tratamiento 5			
Tiempo	R1	R2	Prom	Tiempo	R1	R2	Prom	Tiempo	R1	R2	Prom	Tiempo	R1	R2	Prom	Tiempo	R1	R2	Prom
(min)	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(min)	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(min)	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(min)	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(min)	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})
1	46.70	24.88	35.79	1	11.05	34.23	22.64	1	9.09	7.55	8.32	1	8.07	0.00	8.07	1	45.09	13.23	29.16
2	33.39	15.74	24.56	2	4.76	17.40	11.08	2	6.01	7.49	6.75	2	6.44	0.00	6.44	2	23.03	10.07	16.55
3	27.44	12.04	19.74	3	2.90	11.71	7.31	3	4.72	7.46	6.09	3	5.65	0.00	5.65	3	15.55	8.59	12.07
4	23.88	9.95	16.91	4	2.05	8.85	5.45	4	3.98	7.44	5.71	4	5.14	0.00	5.14	4	11.76	7.67	9.72
5	21.43	8.59	15.01	5	1.56	7.11	4.34	5	3.48	7.42	5.45	5	4.78	0.00	4.78	5	9.47	7.02	8.25
10	15.32	5.43	10.38	10	0.67	3.62	2.14	10	2.30	7.36	4.83	10	3.82	0.00	3.82	10	4.84	5.35	5.09
15	12.59	4.15	8.37	15	0.41	2.43	1.42	15	1.81	7.33	4.57	15	3.35	0.00	3.35	15	3.27	4.56	3.91
20	10.96	3.43	7.20	20	0.29	1.84	1.06	20	1.52	7.31	4.42	20	3.05	0.00	3.05	20	2.47	4.07	3.27
25	9.84	2.96	6.40	25	0.22	1.48	0.85	25	1.33	7.29	4.31	25	2.84	0.00	2.84	25	1.99	3.73	2.86
30	9.01	2.63	5.82	30	0.18	1.24	0.71	30	1.20	7.27	4.24	30	2.67	0.00	2.67	30	1.67	3.47	2.57
40	7.84	2.17	5.00	40	0.12	0.93	0.53	40	1.01	7.25	4.13	40	2.43	0.00	2.43	40	1.26	3.10	2.18
50	7.03	1.87	4.45	50	0.09	0.75	0.42	50	0.88	7.23	4.06	50	2.26	0.00	2.26	50	1.02	2.84	1.93
60	6.44	1.66	4.05	60	0.08	0.63	0.35	60	0.79	7.22	4.01	60	2.13	0.00	2.13	60	0.85	2.64	1.75
75	5.78	1.43	3.61	75	0.06	0.51	0.28	75	0.69	7.20	3.95	75	1.99	0.00	1.99	75	0.69	2.42	1.55
90	5.29	1.27	3.28	90	0.05	0.42	0.24	90	0.62	7.19	3.90	90	1.87	0.00	1.87	90	0.58	2.25	1.41
105	4.91	1.15	3.03	105	0.04	0.36	0.20	105	0.57	7.18	3.87	105	1.78	0.00	1.78	105	0.50	2.12	1.31
120	4.60	1.05	2.83	120	0.03	0.32	0.18	120	0.52	7.16	3.84	120	1.70	0.00	1.70	120	0.44	2.01	1.22

R1 = Repetición 1
R2 = Repetición 2

Cuadro A25. Promedios de infiltración por tratamiento en el mes de noviembre en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Tratamiento 1				Tratamiento 2				Tratamiento 3				Tratamiento 4				Tratamiento 5			
Tiempo	R1	R2	Prom	Tiempo	R1	R2	Prom	Tiempo	R1	R2	Prom	Tiempo	R1	R2	Prom	Tiempo	R1	R2	Prom
(min)	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(min)	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(min)	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(min)	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(min)	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})	(cm h^{-1})
1	7.082	3.104	5.09	1	101.945	7.983	54.96	1	4.654	5.745	5.20	1	12.30	0.00	12.30	1	29.175	18.674	23.92
2	2.043	1.963	2.00	2	30.968	5.290	18.13	2	1.684	1.716	1.70	2	10.42	0.00	10.42	2	8.697	5.809	7.25
3	0.987	1.501	1.24	3	15.425	4.158	9.79	3	0.929	0.846	0.89	3	9.45	0.00	9.45	3	4.285	2.934	3.61
4	0.589	1.241	0.92	4	9.407	3.506	6.46	4	0.609	0.512	0.56	4	8.82	0.00	8.82	4	2.593	1.807	2.20
5	0.395	1.071	0.73	5	6.410	3.071	4.74	5	0.439	0.347	0.39	5	8.36	0.00	8.36	5	1.756	1.241	1.50
10	0.114	0.677	0.40	10	1.947	2.035	1.99	10	0.159	0.104	0.13	10	7.08	0.00	7.08	10	0.524	0.386	0.45
15	0.055	0.518	0.29	15	0.970	1.599	1.28	15	0.088	0.051	0.07	15	6.42	0.00	6.42	15	0.258	0.195	0.23
20	0.033	0.428	0.23	20	0.591	1.348	0.97	20	0.057	0.031	0.04	20	5.99	0.00	5.99	20	0.156	0.120	0.14
25	0.022	0.370	0.20	25	0.403	1.181	0.79	25	0.041	0.021	0.03	25	5.68	0.00	5.68	25	0.106	0.082	0.09
30	0.016	0.328	0.17	30	0.295	1.060	0.68	30	0.032	0.015	0.02	30	5.44	0.00	5.44	30	0.077	0.061	0.07
40	0.009	0.271	0.14	40	0.180	0.894	0.54	40	0.021	0.009	0.02	40	5.08	0.00	5.08	40	0.047	0.037	0.04
50	0.006	0.234	0.12	50	0.122	0.783	0.45	50	0.015	0.006	0.01	50	4.81	0.00	4.81	50	0.032	0.026	0.03
60	0.005	0.207	0.11	60	0.089	0.702	0.40	60	0.011	0.005	0.01	60	4.61	0.00	4.61	60	0.023	0.019	0.02
75	0.003	0.179	0.09	75	0.061	0.615	0.34	75	0.008	0.003	0.01	75	4.37	0.00	4.37	75	0.016	0.013	0.01
90	0.002	0.159	0.08	90	0.045	0.552	0.30	90	0.006	0.002	0.00	90	4.18	0.00	4.18	90	0.011	0.010	0.01
105	0.002	0.143	0.07	105	0.034	0.504	0.27	105	0.005	0.002	0.00	105	4.03	0.00	4.03	105	0.009	0.007	0.01
120	0.001	0.131	0.07	120	0.027	0.465	0.25	120	0.004	0.001	0.00	120	3.90	0.00	3.90	120	0.007	0.006	0.01

R1 = Repetición 1
R2 = Repetición 2

Cuadro A26. Datos de infiltración (cm h^{-1}) por tratamiento en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Tiempo	T1			T2			T3			T4			T5		
(min)	Julio	Noviem	Prom	Julio	Noviem	Prom	Julio	Noviem	Prom	Julio	Noviem	Prom	Julio	Noviem	Prom
1	35.79	5.09	20.44	22.64	21.54	22.09	8.32	5.20	6.76	8.07	12.30	10.18	11.24	23.92	17.58
2	24.56	2.00	13.28	11.08	12.18	11.63	6.75	1.70	4.23	6.44	10.42	8.43	9.42	7.25	8.34
3	19.74	1.24	10.49	7.31	8.90	8.11	6.09	0.89	3.49	5.65	9.45	7.55	8.50	3.61	6.05
4	16.91	0.92	8.91	5.45	7.18	6.31	5.71	0.56	3.13	5.14	8.82	6.98	7.90	2.20	5.05
5	15.01	0.73	7.87	4.34	6.10	5.22	5.45	0.39	2.92	4.78	8.36	6.57	7.47	1.50	4.48
10	10.38	0.40	5.39	2.14	3.77	2.95	4.83	0.13	2.48	3.82	7.08	5.45	6.26	0.45	3.36
15	8.37	0.29	4.33	1.42	2.88	2.15	4.57	0.07	2.32	3.35	6.42	4.89	5.65	0.23	2.94
20	7.20	0.23	3.71	1.06	2.39	1.73	4.42	0.04	2.23	3.05	5.99	4.52	5.26	0.14	2.70
25	6.40	0.20	3.30	0.85	2.07	1.46	4.31	0.03	2.17	2.84	5.68	4.26	4.97	0.09	2.53
30	5.82	0.17	2.99	0.71	1.85	1.28	4.24	0.02	2.13	2.67	5.44	4.06	4.75	0.07	2.41
40	5.00	0.14	2.57	0.53	1.55	1.04	4.13	0.02	2.07	2.43	5.08	3.76	4.42	0.04	2.23
50	4.45	0.12	2.29	0.42	1.36	0.89	4.06	0.01	2.03	2.26	4.81	3.54	4.17	0.03	2.10
60	4.05	0.11	2.08	0.35	1.22	0.78	4.01	0.01	2.01	2.13	4.61	3.37	3.99	0.02	2.00
75	3.61	0.09	1.85	0.28	1.07	0.67	3.95	0.01	1.98	1.99	4.37	3.18	3.77	0.01	1.89
90	3.28	0.08	1.68	0.24	0.96	0.60	3.90	0.00	1.95	1.87	4.18	3.02	3.60	0.01	1.81
105	3.03	0.07	1.55	0.20	0.88	0.54	3.87	0.00	1.94	1.78	4.03	2.90	3.46	0.01	1.74
120*	2.83	0.07	1.45	0.18	0.81	0.49	3.84	0.00	1.92	1.70	3.90	2.80	3.35	0.01	1.68

Cuadro A27. Valores de infiltración (cm h^{-1}) por tipo de suelo en sistemas de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Tiempo	Mollisol			Inceptisol			
(min)	T1	T2	Promedio	T3	T4	T5	Promedio
1	19,30	19,22	19,26	4,69	10,15	10,58	8,47
2	13,23	11,17	12,20	4,04	8,42	7,93	6,80
3	10,60	8,13	9,37	3,70	7,55	6,69	5,98
4	9,06	6,49	7,78	3,48	6,99	5,94	5,47
5	8,02	5,45	6,74	3,32	6,58	5,41	5,10
10	5,50	3,17	4,33	2,86	5,46	4,05	4,13
15	4,41	2,31	3,36	2,63	4,89	3,42	3,65
20	3,77	1,84	2,80	2,47	4,53	3,04	3,35
25	3,34	1,55	2,44	2,35	4,27	2,77	3,13
30	3,02	1,34	2,18	2,26	4,06	2,57	2,96
40	2,58	1,07	1,83	2,13	3,76	2,28	2,72
50	2,29	0,90	1,59	2,03	3,54	2,07	2,55
60	2,07	0,78	1,42	1,95	3,37	1,92	2,41
75	1,83	0,65	1,24	1,86	3,17	1,75	2,26
90	1,66	0,57	1,11	1,79	3,02	1,62	2,14
105	1,53	0,50	1,01	1,73	2,90	1,52	2,05
120*	1,42	0,45	0,94	1,68	2,80	1,44	1,97

* Infiltración básica

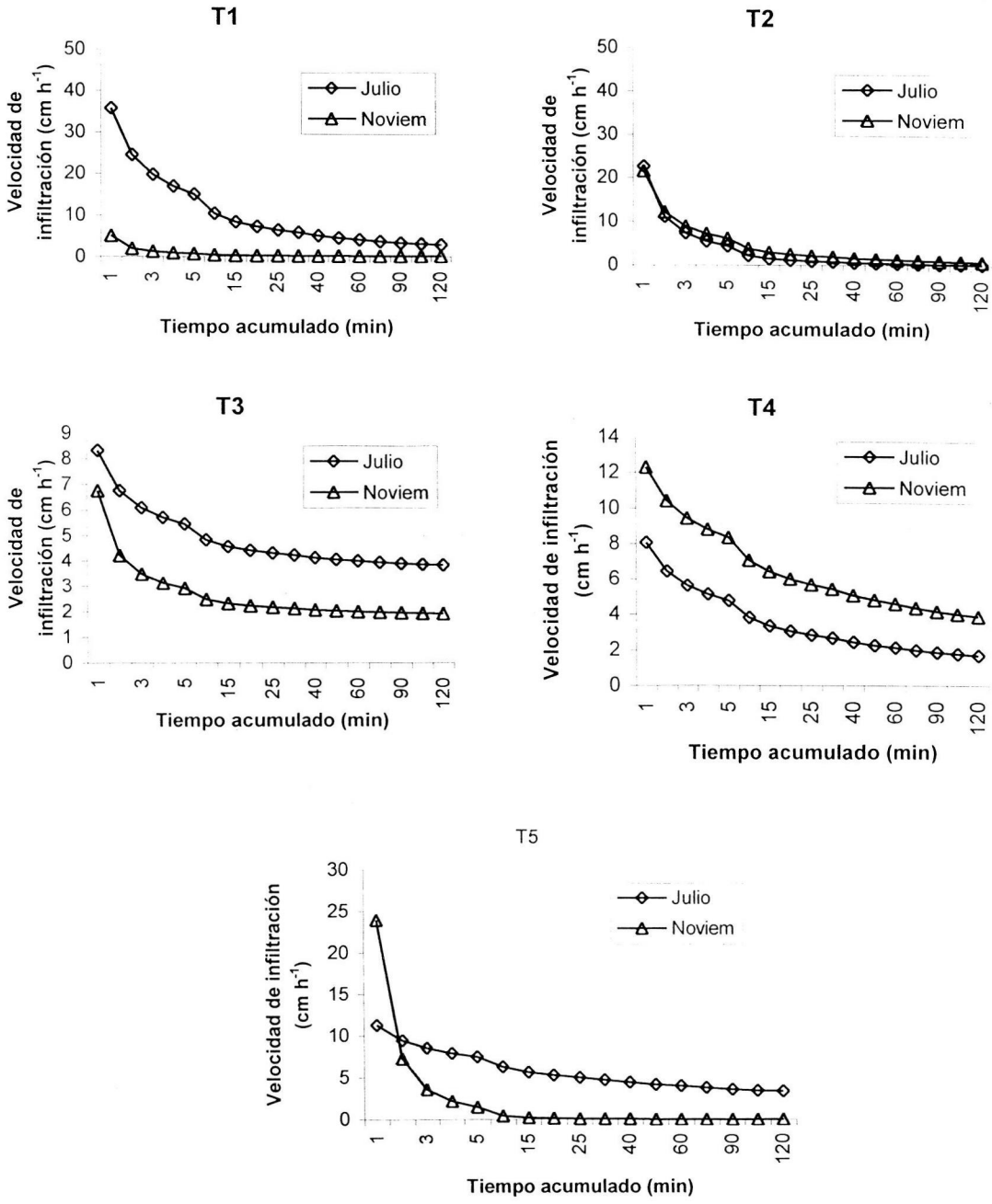


Figura A13. Relación velocidad de infiltración – tiempo por tratamiento en julio y noviembre en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

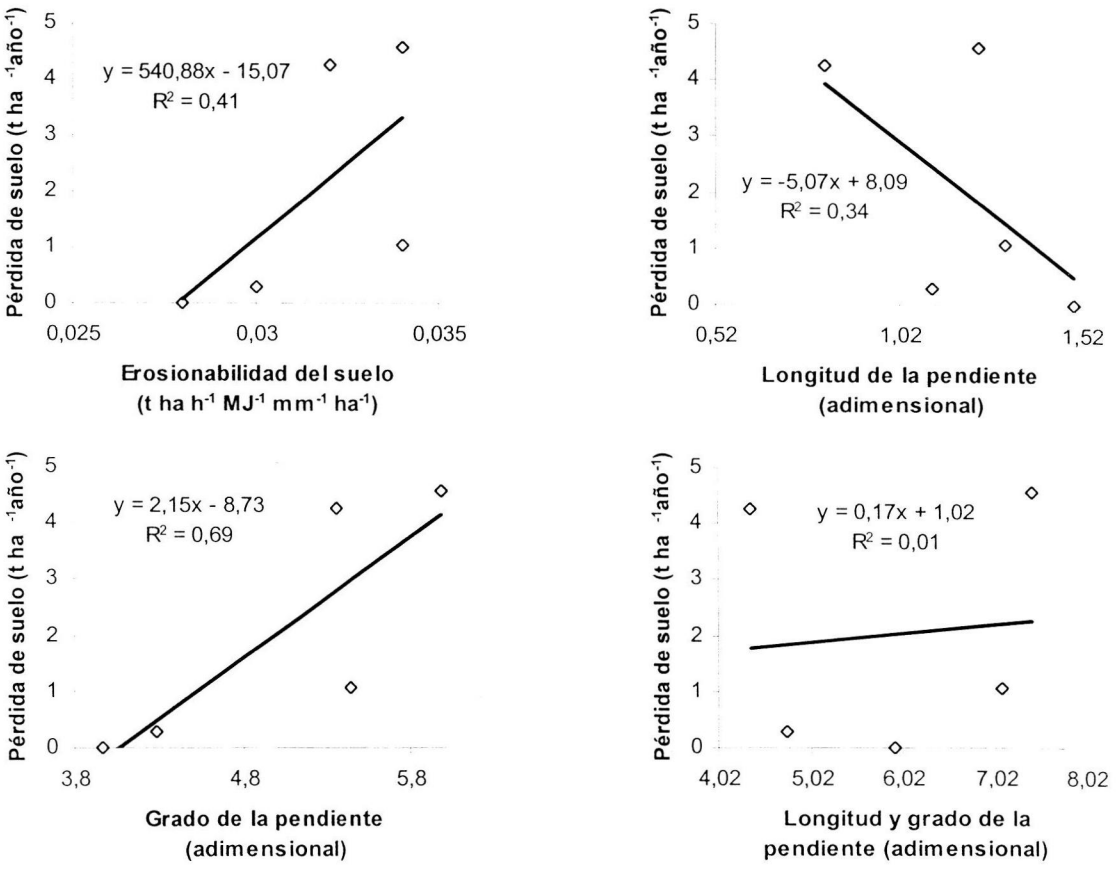


Figura A14. Relación entre la pérdida de suelo observada y la erosionabilidad del suelo, longitud y grado de la pendiente en sistemas agroforestales de café bajo sombra en El Coyol, Tlachichilco, Ver. Año 2001.

Cuadro A28. Datos del muestreo de vegetación UNO (arbórea, arbustiva y herbáceo). MAYO DEL 2001.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: Línea de Canfield.
T1. Sistema rusticano. Longitud del intervalo **(sentido de la pendiente)** = 40.30 m

No.	Nombre común	Nombre científico	LI	I	M	LI	I	M	AR/arb palm	edad	nat/int	altura	usos principales
1	Café	*Coffea arabica* L	235	376	300				arb	50	INT	3.4	
		var. typica				745	310	360	arb	50	INT	3.5	
			986	170	170				arb	50	INT	3.5	
						1160	190	140	arb	50	INT	3.5	producción
			1370	360	310				arb	50	INT	3	de
						1570	450	300	arb	50	INT	3.5	café
			1830	210	260				arb	50	INT	2.7	
						1980	200	160	arb	50	INT	2.5	
			2230	190	180				arb	50	INT	3	
						2540	370	190	arb	50	INT	3	
			2735	330	400				arb	50	INT	3	
						3020	260	230	arb	50	INT	2.5	
			3610	292	235				arb	50	INT	4	
						3973	150	150	arb	50	INT	3	
2	Jobo	*Spondias monbin*	710	1120	1250				AR	11	NAT	12	comestible, made-rable, sombra
3	Zapote amarillo		1100	840	700				AR	25	NAT	15	comestible , sombra
4	Chalahuite bejuco	*Inga spp*	2530	520	300				AR	10	NAT	12	sombra, leña
						2650	580	800	AR	15	NAT	15	fijacion de N
5	Chalahuite grande	*Inga spp*	3520	1440	1120				AR	15	NAT	15	sombra
													fijacion de N
6	Palo de agua	*Bernoulia flammea*				3850	1100	860	AR	60	NAT	1700	leña leña, sombra

LI ------- Longitud interceptada (cm)
I -------- Anchura máxima perpendicular al punto de intercepción (copa) (cm)
M --------- Longitud máxima sobre la línea (cm)

Cuadro A28. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T1. Sistema rusticano. Longitud del intervalo **(perpendicular a la pendiente)** = 13.40 m.

No.	Nombre común	Nombre científico	LI	I	M	LI	I	M	AR/arb palm	edad	nat/int	altura	usos principales
1	Café tipica	*Coffea arabica* L	60	150	130				arb	50	INT	2.8	
		var. typica				300	240	290	arb	50	INT	3	producción
			326	390	210				arb	50	INT	3.5	de
						920	425	350	arb	50	INT	4	café
			1250	230	260				arb	50	INT	4	
						1530	160	190	arb	51	INT	2.77	
2	Chalahuite bejuco	*Inga spp*	800	400	360				AR	16	NAT	12	sombra
						1170	370	220	AR	5	NAT	4.5	fijación de N
			1280	420	370				AR	9	NAT	12	leña
3	Chalahuite chico	*Inga spp*	150	380	290				AR	8	NAT	7	sombra
						430	380	260	AR	10	NAT	12	fijación de N
			650	370	340				AR	6	NAT	8	leña

LI ------- Longitud interceptada (cm)
I -------- Anchura máxima perpendicular al punto de intercepción (copa) (cm)
M --------- Longitud máxima sobre la línea (cm)
La edad se da en años
La altura se da en metros

Cuadro A28. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**

T2. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palo de agua.

Longitud del intervalo **(sentido de la pendiente)** = 34.57 m

No.	Nombre común	Nombre científico	LI	I	M	LI	I	M	AR/arb palm	edad	nat/int	altura	usos principales
1	Café garnica	*Coffea arabica* L	140	190	180				arb	13	INT	2.3	
		var. Garnica				370	250	210	arb	13	INT	2.2	producción
			600	190	140				arb	13	INT	1.2	de
						680	270	150	arb	13	INT	2	café
			1000	180	115				arb	13	INT	2.1	
						1120	216	207	arb	13	INT	2.64	
			1210	245	150				arb	13	INT	2.6	
						1820	235	160	arb	13	INT	2.5	
			2360	180	215				arb	13	INT	2.13	
						2840	150	149	arb	3	INT	2	
			3104	150	140				arb	4	INT	1.67	
						3305	130	120	arb	4	INT	1.9	
3	Chalahuite bejuco	*Inga spp*	200	315	380				AR	10	NAT	8	sombra
						670	600	690	AR	10	NAT	8	fijacion de N
			1380	580	370				AR	10	NAT	8	leña
						1880	760	500	AR	8	NAT	9	
			2830	1060	1150				AR	9	NAT	9	
4	Palo de agua	*Eupatorium morifolium* Mill	410	860	60				arb	4	NAT	1.35	
						1630	1200	70	arb	4	NAT	1.9	barreras vivas
			2600	840	90				arb	4	NAT	2.25	
						3220	655	90	arb	4	NAT	1.65	
6	Ramon	*Brassicum alicastrum*				1230	210	180	AR	15	NAT	4.5	forraje (hoja) medicinal (resina)
7	Plátano	*Musa spp*	1990	390	230				******	2	INT	4	sombra/comestible
8	Quebrache	*Copaifera*	2180	725	230				AR	13	NAT	6	sombra/leña
		Hymenaefolia				2830	1060	1150	AR	16	NAT	9	construcción

LI ------- Longitud interceptada (cm)
I -------- Anchura máxima perpendicular al punto de intercepción (copa) (cm)
M --------- Longitud máxima sobre la línea (cm)
La edad se en años
La altura se da en metros

Cuadro A28. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T2. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palo de agua.
Longitud del intervalo **(perpendicular a la pendiente)** = 13.45 m.

No.	Nombre común	Nombre científico	LI	I	M	LI	I	M	AR/arb palm	edad	nat/int	altura	usos principales
1	Plátano	*Musa spp*	180	350	200				arb	5	INT	5.5	sombra/comestible
						667	310	360	arb	2	INT	4.4	
2	Café	*Coffea arabica* L	127	130	140				arb	13	INT	2.23	
						333	240	90	arb	13	INT	2.23	producción
			500	140	170				arb	13	INT	2.2	de café
						900	170	160	arb	13	INT	1.83	
			1110	260	120				arb	13	INT	2.3	
						1296	190	160	arb	13	INT	1.95	
3	Chalahuite de B.	*Inga spp*	300	500	420				AR	6	NAT	8	sombra, leña, fija N
4	Quebrache	Copaifera hymenaefolia	920	500	730				AR	2	NAT	1.95	sombra, leña, fija N

LI ------- Longitud interceptada (cm)
I -------- Anchura máxima perpendicular al punto de intercepción (copa) (cm)
M --------- Longitud máxima sobre la línea (cm)
La edad se en años
La altura se da en metros

Cuadro A28. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T3. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de canavalia.
Longitud del intervalo **(sentido de la pendiente)** = 29.60 m

No.	Nombre común	Nombre científico	LI	I	M	LI	I	M	AR/arb palm	edad	nat/int	altura	usos principales
1	Tesgua	*Miconia argentea* (Sw) DC	0	260	390				AR	3	NAT	5	leña, sombra
						370	300	295	AR	2	NAT	3	comestible-fruto
			1565	320	270				AR	4	NAT	5	
2	Guasima	*Guasuma umbiflora*				170	395	390	AR	4	NAT	5.5	leña, construcción.
			1900	710	407				AR	7	NAT	5	
3	Rabo de cojolite	*Cupania dentata* Moc	1140	500	440				AR	7	NAT	6	leña, sombra
						2780	325	130	AR	6	NAT	5	
4	Ramon	*Brosimun*	1667	300	260				AR	5	NAT	4	forraje (hojas)
		alicastrum Sw				2460	500	470	AR	6	NAT	6	medicinal (resina)
5	Café	*Coffea arabica* L	1930	1180	88				arb	2	INT	1.05	producción
						2250	150	146	arb	2	INT	1.58	de café
			2720	94	40				arb	2	INT	1.27	
6	Jabon	-------	2880	510	250				AR	8	NAT	8	aseo

LI ------- Longitud interceptada (cm)
I -------- Anchura máxima perpendicular al punto de intercepción (copa) (cm)
M --------- Longitud máxima sobre la línea (cm)
La edad se en años
La altura se da en metros

Cuadro A28. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T3. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de canavalia.
Longitud del intervalo **(perpendicular a la pendiente)** = 11.00 m

No.	Nombre común	Nombre científico	LI	I	M	LI	I	M	AR/arb palm	edad	nat/int	altura	usos principales
1	Café	*Coffea arabica* L	100	177	133				arb	3	INT	1.7	producción de
						600	132	122	arb	2	INT	1.2	café
2	Chalahuite de B.	*Inga spp*	1050	320	490				AR	5	NAT	7	sombra/leña/fijaN
3	Chaca	*Bursera simaruba*	190	240	150				AR	2	NAT	3	postes
4	Guasima	*Guasuma umbiflora*				340	460	440	AR	5	NAT	5	
5	Guaxem	*Leucaena* spp	670	242	180				AR	2	NAT	2.1	

LI ------- Longitud interceptada (cm)
I -------- Anchura máxima perpendicular al punto de intercepción (copa) (cm)
M --------- Longitud máxima sobre la línea (cm)
La edad se en años
La altura se da en metros

Cuadro A28. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**

T4. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de cacahuatillo.
Longitud del intervalo **(sentido de la pendiente)** = 15.50 m.

No.	Nombre común	Nombre científico	LI	I	M	LI	I	M	AR/arb palm	edad	nat/int	altura	usos principales
1	Café	*Coffea arabica* L	56	285	150				arb	13	INT	2.38	
						339	340	370	arb	13	INT	2.46	producción
			880	150	130				arb	13	INT	1.7	de café
						1177	170	190	arb	13	INT	1.8	
			1390	220	100				arb	13	INT	2.2	
2	Chalahuite de B.	*Inga spp*	725	1255	1500				AR	16	NAT	8	sombra/fija N
3	Chaca	*Bursera simaruba*	685	940	860				arb	5	NAT	8	postes

T4. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de cacahuatillo.
Longitud del intervalo **(sentido de la pendiente)** = 15.20 m

No.	Nombre Común	Nombre Científico	LI	I	M	LI	I	M	AR/arb palm	edad	nat/int	altura	usos principales
1	Naranja	*Citrus cinensis* L	260	240	180				AR	3	INT	3.5	comestible/sombra
2	Café	*Coffea arabica* L	80	120	70				arb	13	INT	1.34	
						423	150	185	arb	13	INT	2	producción de
			767	214	107				arb	13	INT	1.2	café
						1107	110	160	arb	13	INT	1.25	
			1480	150	120				arb	13	INT	1.9	
						1680	150	130	arb	13	INT	2.2	
3	Chaca	*Bursera simaruba*	966	940	860				AR	5	NAT	8	postes
4	Chalahuite de bejuco	*Inga spp*	910	1255	1500				AR	16	NAT	8	sombra, leña, fija N

Cuadro A28. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T5. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palma camedor y palo de agua.
Longitud del intervalo **(sentido de la pendiente)** = 26.00 m

No.	Nombre común	Nombre científico	LI	I	M	LI	I	M	AR/arb palm	edad	nat/int	altura	usos principales
1	Suchicuauhil	*Cordia alliodora*	90	300	170				AR	4	INT	8	maderable
2	Café	*Coffea arabica* L	166	230	200				arb	8	INT	2.5	
						450	150	176	arb	8	INT	2.5	producción de
			645	180	175				arb	8	INT	2.5	café
						800	180	200	arb	8	INT	2	
			934	200	180				arb	8	INT	2.2	
						1145	150	170	arb	8	INT	1.9	
			1350	170	180				arb	8	INT	2.5	
						1750	180	150	arb	8	INT	2.2	
			1750	180	150				arb	8	INT	2.2	
3	Palma camedor	*Chamaedorea elegans*	765	52	30				arb	4	INT	0.9	
						1600	50	50	arb	4	INT	0.6	ornato
			1800	45	70				arb	4	INT	0.7	
						2190	80	80	arb	4	INT	0.96	
4	Chalahuite	*Inga spp*	850	790	450				AR	5	NAT	12	sombra, leña
	vaina chica					1805	380	130	AR	4	NAT	9	fijacion de N
5	Jobo prieto	------	2220	280	300				AR	2	NAT	4	sombra
6	Alzafrima	------	2435	140	70				AR	1	NAT	2.4	
7	Guaxem	*Leucaena spp*	1100	260	200				AR	3	NAT	5	
8	Xalame	--------	1325	360	460					2	NAT	5	indicador
						2030	240	240	AR	1	NAT	3.4	de agua
9	Pioche	*Melia azedarach* L	1860	240	280				AR	3	NAT	3.4	leña, sombra

LI ------- Longitud interceptada (cm)
I -------- Anchura máxima perpendicular al punto de intercepción (copa) (cm)
M --------- Longitud máxima sobre la línea (cm)
La edad se en años
La altura se da en metros

Cuadro A28. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T5. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palma camedor y palo de agua.
Longitud del intervalo **(perpendicular a la pendiente)** = 26.20 m

No.	Nombre común	Nombre científico	LI	I	M	LI	I	M	AR/arb palm	edad	nat/int	altura	usos principales
1	Café	*Coffea arabica* L	90	340	190				arb	8	INT	2.2	
						340	160	190	arb		INT	2.5	producción de
			550	190	185				arb	8	INT	2.45	café
						630	153	160	arb	8	INT	1.9	
			840	160	140				arb	8	INT	2.3	
						1026	220	200	arb	8	INT	2.8	
			1435	200	190				arb	8	INT	2.4	
						1640	130	100	arb	8	INT	1.6	
			2040	180	150				arb	8	INT	2.3	
						2260	180	160	arb	8	INT	2.4	
			2510	200	180				arb	8	INT	2.3	
2	Chalahuite V.C.	*Inga spp*	1280	240	240				ARB	5	NAT	8	sombra, fija N
						1960	490	360	ARB	6	NAT	8	leña
			2430	670	460				ARB	6	NAT	8	construcción
													maderable
3	Pioche	*Melia azedarach* L	650	370	300				ARB	10	NAT	12	maderable
													leña

LI ------- Longitud interceptada (cm)
I -------- Anchura máxima perpendicular al punto de intercepción (copa) (cm)
M --------- Longitud máxima sobre la línea (cm)
La edad se en años
La altura se da en metros

Cuadro 28. Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: área mínima.

T1. Sistema rusticano.

Sitio	No. sp.	Nombre común	plantas/spp	ancho (cm)	largo (cm)	altura (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	X1	6	8	13	10	
				18	19	20	342
				8	14	12	112
				10	16	13	160
				8	12	11	96
				15	20	20	300
	2	plátano de ardilla	9	9	16	13	144
				8	15	12	120
				7	20	9	140
				5	11	7	55
				10	20	14	200
				7	19	12	133
				9	17	14	153
				9	14	9	126
				9	17	15	153
	3	pesma (helecho)	2	9	11	10	99
				3	6	12	18
2	1	café (mariposa)	12	6	10	10	60
				5	7	14	35
				5	6	11	30
				7	10	13	70
				7	10	13	70
				4	6	13	24
				5	9	10	45
				5	7	12	35
				4	8	9	32
				4	5.5	10	22
				4	6	10	24
				3.5	6	7	21
	2	pesma (helecho)	2	13.5	16	12	216
				9	16	7	144
3	1	bejuco de uva	2	17	25	24	425
				11	11	18	121
	2	plátano de ardilla	5	13	28	14	364
				8	17	9	136
				13	23	10	299
				18	40	10	720
				7	24	10	168
	3	siempreviva	3	10	28	5	280
				11	14	5	154
				10	13	5	130
	4	pasto	1	27	40	25	1080
	5	x2	1	24	30	26	720
						C. TOTAL=	**7880**

Cuadro 28. Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: **área mínima.**

T2. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palo de agua.

Sitio	No.sp.	Nombre común	plantas /spp	ancho (cm)	largo (cm)	altura (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	Llerba santa	8	13	24	14	312
				24	37	27	888
				17	26	17	442
				9	23	11	207
				30	42	33	1260
				13	38	35	494
				11	28	21	308
				18	40	39	720
	2	Pesma	1	15	22	20	330
	3	Bejuco	1	11	37	5	407
	4	X1	1	6	17	12	102
	5	Pasto	1	20	40	15	800
	6	X2	2	6	17	14	102
				6	6	20	36
2	1	X3	7	8	11	10	88
				11	6	13	66
				7	13	15	91
				10	10	11	100
				9	14	13	126
				20	23	30	460
				14	21	33	294
	2	X4	1	14	17	22	238
	3	Café	2	6	6	6	36
		pesetilla		4	4	5	16
3	1	Pasto	2	20	40	15	800
				15	60	20	900
						C. TOTAL=	**9623**

Cuadro A28. Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: **Área Mínima.**

T3. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de canavalia.

Sitio	No.sp.	Nombre común	plantas /spp	ancho (cm)	largo (cm)	altura (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	espino	4	18	24	23	432
		pico de		24	17	21	408
		tecolote		15	13	24	195
				37	39	130	1443
	2	planta x	1	16	15	25	240
	3	mozote	1	19	19	17	361
	4	pasto en	3	26	19	15	494
		macollos		24	14	18	336
				23	23	16	529
	5	siempreviva	1	13	28	5	364
	6	p. borrega	1	13	7	22	91
	7	guázima	1	6	8.5	10	51
2	1	cuerno de	2	47	32	5	1504
		venado		34	41	5	1394
	2	siempreviva	5	35	14	5	490
				18	10	5	180
				7	7	5	49
				20	11	5	220
				9	7	5	63
	3	planta x2	1	20	15	65	300
	4	plátano de ardilla	1	22	18	5	396
	5	jonote	1	30	26	43	780
	6	planta x3	1	40	30	36	1200
	7	3 hojas	1	20	11	19	220
	8	guaxem	1	21	13	18	273
	9	tronador	1	29	14	19	406
	10	planta x4	1	16	10	12	160
3	1	planta x5	3	19	22	65	418
				16	13	67	208
				21	15	64	315
	2	tronador	3	15	16	13	240
				12	11	11	132
				17	15	13	255
	3	pasto	2	17	21	10	357
				22	13	19	286
	4	siempreviva	3	8	6	6	48
				8	7	6	56
				11	6	13	66
	5	jabón	2	13	11	11	143
				11	8	5	88
	6	capulín	1	11	8	16	88
						C. TOTAL=	**15279**

Cuadro A28. Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: **área mínima.**
T4. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de cacahuatillo.

Sitio	No.sp.	Nombre común	plantas /spp	ancho (cm)	largo (cm)	altura (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	cacahuatillo	2	12	40	10	480
				11	47	6	517
	2	x1	5	8	17	16	136
				16	19	23	304
				11	25	17	275
				9	11	11	99
				8	12	10	96
	3	x2	2	8	11	9	88
				5	11	10	55
	4	pasto	1	20	40	6	800
2	1	cacahuatillo	1	80	100	11	8000
	2	pasto	2	15	15	13	225
				15	20	24	300
	3	x2	1	12	22	34	264
3	1	cacahuatillo	3	18	100	12	1800
				12	80	10	960
				13	40	8	520
	2	siempreviva	3	20	39	5	780
				14	17	5	238
				20	35	5	700
	3	x3	1	17	45	15	765
	4	pasto	3	13	25	12	325
				12	25	10	300
				21	25	24	525
						C. TOTAL=	**18552**

Cuadro A28. Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: **área mínima.**

T5. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palma camedor y palo de agua.

Sitio	No.sp.	Nombre común	plantas /spp	ancho (cm)	largo (cm)	altura (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	barbarón		7	22	25	154
	2	siempreviva	1	5	17	38	85
	3	pasto	1	73	80	37	5840
2	1	siempreviva	7	15	22	5	330
				12	28	5	336
				14	24	5	336
				10	20	5	200
				5	30	5	150
				15	29	5	435
				12	26	5	312
	2	cuerno de venado	2	20	35	11	700
				30	48	10	1440
	3	café (pesetilla)	4	8	16	10	128
				3	5	5	15
				5	9	7	45
				13	19	13	247
	4	cinta	3	10	50	10	500
				10	62	5	620
				13	32	5	416
	5	frijol arroz	1	20	27	20	540
	6	palma camedor	1	18	18	23	324
3	1	palo de agua	2	26	34	31	884
				16	28	22	448
	2	siempreviva	12	10	10	5	100
				10	18	5	180
				15	29	15	435
				13	23	5	299
				10	21	5	210
				10	14	5	140
				10	10	9	100
				12	25	5	300
				12	20	5	240
				15	28	5	420
				14	26	5	364
				14	10	4	140
				5	13	10	65
	3	cuerno de venado	4	10	17	12	170
				7	11	5	77
				13	16	10	208
				8	15	9	120
	4	tronador	1	14	19	29	266
	5	helecho	1	16	20	20	320
	6	pasto	1	20	33	25	660
						C. TOTAL=	**19299**

Cuadro A29. Datos del muestreo de vegetación DOS (arbóreo, arbustivo y herbáceo). AGOSTO DEL 2001.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: Línea de Canfield.
T1. Sistema rusticano. Longitud del intervalo **(sentido de la pendiente)** = 43.97 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Café (12)	*Coffea arabica* L.	0.43	0.80	1.70	arb	50	int	2.88	producción de fruto
		var típica	3.54	2.24	2.35	arb	50	int	3.44	
			7.55	1.19	0.60	arb	50	int	3.20	
			14.12	3.00	3.00	arb	50	int	3.00	
			15.54	2.90	1.85	arb	50	int	3.70	
			17.98	2.10	2.30	arb	50	int	3.60	
			22.25	2.70	2.30	arb	50	int	3.05	
			26.30	2.56	1.60	arb	50	int	3.15	
			29.30	1.80	2.20	arb	50	int	3.05	
			32.97	2.60	3.00	arb	50	int	3.10	
			34.30	2.30	2.60	arb	50	int	2.55	
			41.76	2.10	2.20	arb	50	int	3.10	
				24.19	23.50					
2	Ramón (1)	*Brosimum alicastrum* Sw.	4.30	2.30	2.05	AR	15	nat	5.56	forraje (hoja), medicinal (resina)
3	Zapote amarillo (1)	*Pouteria campechiana* Kunth	9.95	8.25	9.05	AR	25	nat	9.62	producción de fruto
4	Chalahuite chico (2)	*Inga sp*	24.98	2.18	7.15	AR	16	nat	13.54	sombra, fija N, leña
	Ch. grande (jinicuil)	*Inga sp*	34.60	12.10	13.60	AR	16	nat	10.93	sombra, fija N, leña
				14.28	20.75					
5	Palo de agua (1)	*Dendropanax arboreus* (L) Planch et Decne	37.56	8.20	9.50	AR	60	nat	16.67	leña, sombra

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A29. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: Línea de Canfield.
T1. Sistema rusticano. Longitud del intervalo **(perpendicular a la pendiente)** = 17.10 m

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	Edad (años)	Nat/ int**	Altura (m)	Usos principales
1	Café típica (7)	*Coffea arabica L.*	1.16	2.70	3.20	arb	50	int	3.60	producción de fruto
		variedad típica	3.87	2.20	4.20	arb	50	int	3.80	
			6.60	1.80	2.00	arb	50	int	3.80	
			10.10	2.20	1.70	arb	50	int	3.90	
			10.50	2.90	4.10	arb	50	int	3.25	
			13.30	1.80	1.70	arb	50	int	3.68	
			16.07	1.5	1.7	arb	50	int	2.80	
				15.10	18.60					
2	Chalahuite de bejuco	*Inga spp*	3.35	1.70	2.40	AR	15	nat	6.14	sombra, fija N, leña
3			7.70	2.60	2.80	AR	15	nat	12.73	
			13.60	3.70	6.50	AR	15	nat	10.07	
				8.00	11.70					

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A29. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T2. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palo de agua. Longitud del intervalo (sentido de la pendiente) = 34.24 m

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Café garnica (7)	*Coffea arabica L.*	1.20	2.80	2.60	arb	12	int	1.90	producción de fruto
		variedad garnica	3.70	2.50	2.40	arb	12	int	2.30	
			5.70	1.50	1.50	arb	12	int	1.40	
			10.10	2.20	2.10	arb	12	int	2.00	
			11.45	1.20	1.60	arb	12	int	2.10	
			12.13	1.10	1.60	arb	12	int	2.00	
			17.10	2.20	1.90	arb	12	int	2.50	
				13.50	13.70					
2	Palo de agua (cerco)	*Eupatorium mirifolium*	4.60	0.90	0.60	arb	4	nat	2.60	barreras vivas
	4		16.20	0.60	0.60	arb	4	nat	1.70	
			26.00	0.70	0.60	arb	4	nat	2.70	
			31.90	0.80	0.76	arb	4	nat	2.50	
				3.00	2.56					
3	Chalahuite de bejuco	*Inga sp* (3)	6.70	7.30	7.00	AR	6	nat	7.81	sombra, leña, fija N
	Ch. de bejuco		17.00	4.20	7.80	AR	10	nat	8.27	
	Ch. de bejuco		28.00	12.80	9.80	AR	12	nat	9.37	
				24.30	24.60					
4	Ramón (1)	*Brosimum alicastrum*	15.70	2.50	3.00	AR	15	nat	3.30	forraje (hoja) medicinal (resina)
5	Plátano (1)	*Musa sp*	19.80	4.20	3.25	palm	2	int	4.30	sombra y producción de fruto comestible
6	Quebrache (1)	*Copaifera hymenaefolia*	20.90	2.40	1.70	AR	13	nat	4.40	sombra, leña, construcción.

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa;
int = especie introducida.

Cuadro A29. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T2. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palo de agua.
Longitud del intervalo **(perpendicular a la pendiente)** = 13.20 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Plátano (2)	*Musa spp*	2.20	3.60	4.70	palm	3	int	6.68	sombra y producción
			6.90	3.00	3.50	palm	3	int	4.06	de fruto comestible
				6.60	8.20					
2	Café (5)	*Coffea arabica* L.	2.15	1.10	0.95	arb	12	int	1.75	producción de fruto
		var. Garnica	3.60	1.50	2.00	arb	12	int	2.40	
			7.50	2.30	2.70	arb	12	int	2.50	
			9.20	1.30	2.49	arb	12	int	2.20	
			11.40	1.30	1.20	arb	12	int	1.80	
				7.50	9.34					

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida

Cuadro A29. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T3. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de canavalia.
Longitud del intervalo **(sentido de la pendiente)** = 29.00 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Tesgua (3)	*Miconia argenta* (Sw)	0.00	1.50	2.90	AR	5	Nat	4.70	leña, sombra
		Dc	2.85	2.40	2.50	AR	5	Nat	4.45	
			15.00	2.90	3.80	AR	5	Nat	5.56	
				6.80	9.20					
2	Guázima (3)	*Guazuma ulmifolia* Lam	1.54	1.50	2.70	AR	4	nat	5.20	leña, construcción
			1.30	3.40	4.90	AR	4	nat	6.00	
			18.30	4.90	6.60	AR	4	nat	4.00	
				9.80	14.20					
3	Café (3)	*Coffea arabica* L.	4.80	0.90	0.80	arb	2	int	0.82	producción de fruto
		Var. Oro azteca,	21.77	1.50	1.50	arb	2	int	1.70	
		bourbon y garnica	23.10	1.40	1.40	arb	2	int	1.50	
				3.80	3.70					
4	Chalahuite chico (2)	*Inga sp*	26.80	3.40	4.80	AR	10	nat	7.00	sombra, leña, fija N
			28.00	3.00	5.00	AR	10	nat	8.00	
				6.40	9.80					

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida

Cuadro A29. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T3. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de canavalia.
Longitud del intervalo **(perpendicular a la pendiente)** = 11.00 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Café (3)	*Coffea arabica* L.	0.70	1.60	1.60	arb	2	int	1.76	producción de fruto
		var. Oro azteca,	5.70	1.00	1.00	arb	2	int	1.35	
		bourbon, garnica	9.20	1.20	1.10	arb	2	int	1.10	
2	Chaca (1)	*Bursera simaruba*	1.60	3.80 1.70	3.70 3.40	AR	2	nat	3.40	postes
3	Guázima (1)	*Guasuma umbiflora*	3.35	8.10	7.30	AR	5	nat	4.50	leña, construcción
4	Chalahuite bejuco (1)	*Inga sp*	10.20	4.90	4.20	AR	5	nat	5.00	sombra, leña, fija N

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A29. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T4. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de cacahuatillo.
Longitud del intervalo **(sentido de la pendiente)** = 16.30 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Chaca (1)	*Bursera simaruba*	7.80	14.40	9.40	AR	5	nat	7.36	postes
2	Chalahuite bejuco (1)	*Inga sp*	8.20	15.80	15.00	AR	16	nat	5.01	sombra, fija N, leña
3	Ramón (1)	*Brosimum alicastrum* Sw.	4.20	3.80	3.80	AR	10	nat	4.68	forraje (hoja) medicinal (resina)
4	Café (5)	*Coffea arabica* L var. Catuaí y garnica	1.50	1.00	2.70	arb	13	int	1.90	producción de fruto
			4.40	2.70	2.90	arb	13	int	1.90	
			9.70	1.10	1.30	arb	13	int	1.65	
			12.80	1.80	1.70	arb	13	int	2.05	
			16.00	1.60	1.50	arb	13	int	1.60	
				8.20	10.10					

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A29. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T4. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de cacahuatillo.
Longitud del intervalo **(perpendicular a la pendiente)** = 15.80 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Café (5)	*Coffea arabica* L.	1.50	1.00	2.70	arb	13	int	1.90	producción de fruto
		var. Catuaí y garnica	4.40	2.70	2.90	arb	13	int	1.90	
			9.70	1.10	1.30	arb	13	int	1.65	
			12.80	1.80	1.70	arb	13	int	2.05	
			16.00	1.60	1.50	arb	13	int	1.60	
				8.20	10.10					
2	Chaca (1)	*Bursera simaruba* (L)	7.80	14.40	9.40	AR	5	nat	9.20	postes
3	Chalahuite (1)	*Inga sp*	8.20	15.80	15.00	AR	16	nat	8.50	sombra, fija N, leña
4	Ramón (1)	*Brosimum alicastrum*	4.20	3.80	3.80	AR	10	nat	4.60	forraje (hojas)
		Sw.								medicinal (resina)

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A29. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T5. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palma camedor y palo de agua. Longitud del intervalo **(sentido de la pendiente)** = 24.50 m.

Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
Xochitlcahuitl (1)	*Cordia alliodora*	0.35	2.30	2.80	AR	4	int	8.12	maderable
Café (7)	*Coffea arabica L*	2.12	2.10	2.16	arb	8	int	2.07	producción de fruto
	var. Garnica, catuaí y	3.90	1.33	1.70	arb	8	int	2.50	
	mundo novo	5.90	2.00	2.20	arb	8	int	2.10	
		7.20	1.40	2.10	arb	8	int	2.06	
		13.75	0.73	0.90	arb	8	int	0.90	
		15.80	1.30	2.00	arb	8	int	2.10	
		18.60	1.80	1.50	arb	8	int	1.70	
			10.66	12.56					
Palma camedor (5)	*Chamaedorea elegans*	5.90	0.80	0.78	arb	4	int	1.20	ornato
		8.40	0.60	10.80	arb	4	int	0.90	
		16.20	0.77	0.85	arb	4	int	0.95	
		18.90	0.45	0.95	arb	4	int	0.75	
		22.85	0.80	1.10	arb	4	int	0.95	
			3.42	14.48					
Chalahuite chico (7)	*Inga sp*	7.95	5.30	10.60	AR	10	nat	8.00	sombra, leña, fija N
		11.76	2.50	2.40	AR	10	nat	7.70	
		12.55	4.00	3.60	AR	10	nat	9.20	
		14.25	3.50	3.10	AR	6	nat	8.36	
		17.10	3.24	2.56	AR	6	nat	8.50	
		17.04	1.50	1.24	AR	3	nat	3.30	
		21.60	2.95	3.83	AR	6	nat	7.68	
			22.99	27.33					
Guaje (1)	*Inga sp*	12.30	7.30	4.20	AR	6	nat	6.50	
Cedro (1)	*Cedrela odorata*	16.60	0.80	0.90	AR	2	int	1.90	maderable
Pioche, candalilla (1)	*Melia azedarach* L	22.95	2.30	2.40	AR	3	nat	8.88	leña y sombra
Palo de agua (cerco)	*Eupatorium morifolium* Mill	23.40	1.10	0.60	arb	6	int	1.35	barreras vivas

Cuadro 29. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T5. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palma camedor y palo de agua.
Longitud del intervalo (perpendicular a la pendiente) = 23.50 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Chalahuite chico (5)	*Inga sp*	0.30	0.90	1.89	AR	3	nat	3.07	sombra, leña, fija N
			2.30	0.58	0.97	AR	2	nat	1.70	
			4.00	1.30	1.95	AR	1	nat	2.70	
			10.68	3.50	3.10	AR	5	nat	1.70	
			16.72	2.70	6.00	AR	3	nat	2.70	
				8.98	13.91					
2	Café (11)	*Coffea arabica* L.	0.85	2.00	2.80	arb	8	int	2.40	producción de fruto
		var. Catuaí garnica y	2.85	1.56	1.80	arb	8	int	2.15	
		mundo novo	4.80	0.80	2.10	arb	8	int	1.70	
			6.83	1.73	1.74	arb	8	int	3.10	
			8.90	1.87	1.37	arb	8	int	2.30	
			12.83	0.85	0.95	arb	8	int	2.50	
			14.55	1.15	1.10	arb	8	int	1.75	
			17.10	1.30	1.30	arb	8	int	2.40	
			18.8	1.58	1.83	arb	8	int	2.50	
			21.00	1.55	1.17	arb	8	int	2.10	
			22.70	1.60	1.46	arb	8	int	2.49	
				15.99	17.62					
4	Pioche (3)	*Melia azedarach* L	1.87	2.90	4.20	AR	5	nat	10.27	leña, sombra
			15.20	2.47	2.50	AR	5	nat	8.06	
			18.15	3.40	4.48	AR	5	nat	11.74	
				8.77	11.18					
5	Jobo prieto (1)		5.70	2.60	3.00	AR	3	nat	5.44	sombra
6	Palma camedor (6)	*Chamaedorea elegans*	9.32	0.67	0.56	arb	4	int	1.00	ornato
		Mart	10.40	0.84	0.78	arb	4	int	1.00	
			11.30	0.66	0.70	arb	4	int	0.85	
			11.90	0.68	1.06	arb	4	int	0.60	
			18.00	0.80	0.75	arb	4	int	0.80	
			22.4	0.8	0.68	arb	4	int	0.80	
				4.45	4.53					

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A29. Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: **área mínima**
T1. Sistema rusticano

Sitio	No.sp	Nombre común	ind/sitio*	ind/ha**	ancho (cm)	largo (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	café pesetilla	8	80000	4	6	24
					4	6	24
					4.5	6	27
					4	6.5	26
					4	5	20
					4	4.5	18
					3.5	5	17.5
					3.5	4.5	15.75
	2	plántula de café	1	10000	4.5	10	45
	3	chalahuite			10	11	110
	4	X1			4	5	20
2	1	siempre viva	1	10000	13	30	390
	2	plántula de café	14	140000	10	10	100
					10	10	100
					10	12	120
					6	7	42
					5.5	5.5	30.25
					9	9	81
					4.5	5	22.5
					12	13	156
					5	6	30
					5	8	40
					6	8	48
					6	7.5	45
					4	5	20
					6	6	36
	3	X2	4	40000	19	27	513
					15	23	345
					14	15	210
					12	18	216
	4	bejuco	1	10000	10	60	600
	5	pasto	2	20000	8	17	136
					5	8	40
3	1	café pesetilla	1	10000	4	6	24
	2	plántula de café	4	40000	5	8	40
					6	7.5	45
					6.5	6.5	42.25
					6	8	48
	3	X2	4	40000	18	18	324
					14	25	350
					11.00	12	132
					12	15	180
	4	X3	6	60000	9	11	99
					17	12	204
					12	7	84
					11	8	88
					9	19	171
					14	20	280
						C. TOTAL=	**5779**

*Individuos por sitio; **Individuos por hectárea.

Cuadro A29. Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: **área mínima**
T2. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palo de agua.

Sitio	No.sp	Nombre común	ind/sitio*	ind/ha**	ancho (cm)	largo (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	X1	1	10000	13	28	364
					17	30	510
	2	X2 (elegante)	2	20000	30	50	1500
					17	19	323
2	1	pasto	3	30000	20	17	340
					20	25	500
					10	25	250
	2	café pesetilla	3	30000	6	8	48
					7	6	42
					3	6	18
3	1	café pesetilla	5	50000	6	13	78
					4	6	24
					3	5	15
					2	6	12
					5	7	35
						C. TOTAL=	**4059**

*Individuos por sitio; **Individuos por hectárea.
Ancho, largo y cobertura se dan en cm

Cuadro A29. Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: **área mínima**
T3. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de canavalia.

Sitio	No.sp	Nombre común	ind/sitio*	ind/ha**	ancho (cm)	largo (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	canavalia	4	40000	12	30	360
					10	24	240
					9	20	180
					14	25	350
	2	pasto 1 (macoyos)	1	10000	20	25	500
	3	pesna	2	20000	24	24	576
					12	20	240
	4	X1	4	40000	16	30	480
					10	20	200
					10	25	250
					15	20	300
	5	pasto2	8	80000	5	8	40
					10	12	120
					5	10	50
					6	10	60
					8	13	104
					6	12	72
					9	12	108
					6	8	48
2	1	canavalia	4	40000	12	27	324
					11	18	198
					7	10	70
					9	12	108
	2	X1	3	30000	11	14	154
					10	27	270
					14	25	350
	3	siempre viva	4	40000	10	18	180
					5	26	130
					4	10	40
					5	8	40
	4	pasto 1	5	50000	5	8	40
					4	9	36
					7	17	119
					6	7	42
					6	9	54
	5	cuerno de venado	1	10000	5	11	55
	6	X2	1	10000	12	14	168
	7	X3	1	10000	6	9	54
3	1	canavalia	2	20000	22	23	506
					14	29	406
	2	pasto 1	4	40000	16	23	368
					17	12	204
					15	13	195
					19	22	418
	3	bejuco	2	20000	1.5	23	34.5
					13	15	195
						C. TOTAL=	**9037**

*Individuos por sitio; **Individuos por hectárea

Cuadro A29. Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: **área mínima**
T4. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de cacahuatillo.

Sitio	No.sp	Nombre común	ind/sitio*	ind/ha**	ancho (cm)	largo (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	siempre viva	1	10000	12	16	192
	2	X1	1	10000	15	20	300
	3	X2	1	10000	12	12	144
	4	pasto 1	1	10000	3	8	24
	5	cacahuatillo	3	30000	46	70	3220
					38	70	2660
					30	40	1200
2	1	pasto 1	4	40000	4	6	24
					6	6	36
					6	10	60
					5	8	40
	2	cacahuatillo	3	30000	52	60	3120
					38	50	1900
					40	50	2000
3	1	café pesetilla	3	30000	4	5	20
					4	6	24
					4	6	24
	2	cacahuatillo	1	10000	40	70	2800
						C. TOTAL=	**17788**

*Individuos por sitio; **Individuos por hectárea

Cuadro A29. Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: **área mínima**
T5. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palma camedor y palo de agua.

Sitio	No. sp.	Nombre común	ind/sitio*	ind/ha**	ancho (cm)	largo (cm)	cobertura (cm^2)
1	2	chalahuite	1	10000	10	34	340
	3	siempre viva	5	50000	10	16	160
					14	27	378
					11	30	330
					5	20	100
					5	13	65
	4	pasto 1	2	20000	14	22	308
					14	22	308
	5	frijol	1	10000	14	18	252
	6	palo de agua	2	20000	9	14	126
					11	15	165
2	1	pesna	9	90000	23	18	414
					37	23	851
					26	16	416
					25	16	400
					20	13	260
					15	14	210
					30	15	450
					15	12	180
					20	8	160
	2	tres hojas	2	20000	15	17	255
					17	17	289
	3	palo de agua	2	20000	15	12	180
					24	30	720
	4	siempre viva	3	30000	45	28	1260
					40	20	800
					33	22	726
3	1	X1	4	40000	10	11	110
					10	17	170
					6	7	42
					3	6	18
	2	tesgua	1	10000	14	20	280
	3	jonote	3	30000	3	7	21
					9	10	90
					9	12	108
	4	café pesetilla	1	10000	5	4	20
	5	pasto 1	1	10000	6	8	48
	6	pesna	3	30000	10	15	150
					6	12	72
					3	6	18
	7	pasto 2	1	10000	20	28	560
						C. TOTAL=	**11810**

*Individuos por sitio; **Individuos por hectárea

Cuadro A30. Datos del muestreo de vegetación TRES (arbóreo, arbustivo y herbáceo). SEPTIEMBRE DEL 2001.

Vegetación arbórea y arbustiva

Método utilizado: **Línea de Canfield.**

T1. Sistema rusticano. Longitud del intervalo **(sentido de la pendiente)** = 43.75 m

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Café típica	*Coffea arabica L.*	0.80	3.20	0.95	arb	50	int	4.50	producción de fruto
		variedad typica	3.80	3.10	3.95	arb	50	int	4.20	
			4.41	2.34	2.45	arb	50	int	4.00	
			7.88	0.70	2.10	arb	50	int	3.90	
			10.30	6.00	6.50	arb	50	int	5.00	
			10.75	1.00	2.30	arb	50	int	3.50	
			14.60	5.00	3.70	arb	50	int	2.90	
			15.70	3.00	3.70	arb	50	int	3.65	
			18.30	2.65	3.20	arb	50	int	3.45	
			22.40	2.40	2.45	arb	50	int	3.28	
			22.70	3.60	3.40	arb	51	int	3.45	
			24.20	5.00	2.50	arb	52	int	3.30	
			26.75	4.60	4.82	arb	50	int	3.50	
			29.60	1.80	3.10	arb	50	int	3.15	
			29.70	4.30	3.80	arb	50	int	3.50	
			33.52	2.60	3.50	arb	50	int	3.10	
			34.20	2.80	2.10	arb	50	int	2.40	
			36.60	2.40	3.20	arb	50	int	3.70	
			37.10	2.50	3.10	arb	50	int	3.55	
			38.70	3.40	3.20	arb	50	int	3.70	
			41.98	3.10	2.30	arb	50	int	3.70	
				65.49	66.32					
2	Ramón	*Brassimum alicastrum*	4.50	2.50	4.80	AR	15	nat	3.50	forraje (hoja) y medicinal (resina)
3	Naranja criolla	*Citrus spp*	6.45	0.50	0.45	AR			0.90	producción de fruto
4	Zapote amarillo	*Pouteria campechiana* Kunth	10.20	10.50	12.60	AR	25	nat		sombra, producción de fruto comestible
5	Chalahuite de bejuco	*Inga spp*	25.20	7.50	3.70	AR	10	nat		sombra, leña, fija N
		Inga spp	26.10	9.00	7.00	AR	15	nat		sombra, leña, fija N
		Inga spp	27.20	9.80	5.00	AR	10	nat		sombra, leña, fija N
	Chalahuite grande	*Inga spp*	34.85	14.30	10.00	AR	15	nat		sombra, leña, fija N
	Chalahuite chico	*Inga spp*	41.40	6.70	2.60	AR	13	nat		sombra, leña, fija N
				47.30	28.30					
6	Palo de agua	*Dendropanax arboreus*	20.90	0.60	0.58	AR	60	nat	1.50	leña, sombra
		(L) Planch et Decne	29.25	0.70	0.60	AR	60	nat	0.85	
			37.60	10.00	12.00	AR	60	nat		
				11.30	13.18					

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)

I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)

M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.

**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A30. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T1. Sistema rusticano. Longitud del intervalo **(perpendicular a la pendiente)** = 34.30 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Café típica	*Coffea arabica L.*	0.65	1.90	1.60	arb	50	int	3.25	producción de fruto
		variedad typica	3.06	4.55	3.90	arb	50	int	3.40	
			6.85	3.40	2.50	arb	50	int	4.00	
			9.60	4.95	5.00	arb	50	int	3.84	
			12.58	1.60	1.50	arb	50	int	2.10	
			15.00	3.30	2.10	arb	50	int	4.10	
				19.70	16.60					
2	Chalahuite	*Inga spp*	2.60	2.80	3.35	AR	15	nat		sombra, fija N, leña
			4.55	5.30	5.20	AR	15	nat		
			5.95	6.70	5.50	AR	15	nat		
			7.00	4.95	12.70	AR	15	nat		
			8.10	4.20	10.00	AR	15	nat		
				23.95	36.75					

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A30. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T2. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palo de agua.
Longitud del intervalo (sentido de la pendiente) = 34.30 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Café garnica	*Coffea arabica L.* variedad garnica	1.80	2.83	3.00	arb	12	int	2.10	producción de fruto
			4.10	2.85	2.63	arb	12	int	2.30	
			5.90	2.00	1.65	arb	12	int	1.55	
			7.00	2.60	1.90	arb	12	int	2.20	
			8.35	1.70	1.80	arb	12	int	1.85	
			9.23	1.80	1.85	arb	12	int	2.24	
			10.30	2.45	2.20	arb	12	int	2.40	
			11.70	2.55	3.00	arb	12	int	2.75	
			13.90	1.90	2.20	arb	12	int	2.43	
			17.30	3.05	3.18	arb	12	int	2.70	
			18.60	2.85	2.25	arb	12	int	2.30	
			21.00	2.30	2.20	arb	12	int	2.70	
			22.10	2.10	2.60	arb	12	int	2.70	
			27.30	2.35	2.40	arb	12	int	2.50	
				33.33	32.86					
2	Palo de agua (cerco)	*Eupatorium morifolium* Mill	4.80	12.50	1.00	arb	3	nat	2.70	barreras vivas
			16.70	12.50	2.80	arb	3	nat	2.60	
			26.60	12.50	2.20	arb	3	nat	2.00	
			32.75	12.50	2.50	arb	3	nat	3.75	
				50.00	8.50					
3	Ramón	*Brassimum alicastrum*	12.60	1.90	4.20	AR	15	nat	3.50	forraje (hojas) medicinal (resina)
4	Pioche	*Melia azedarach* L	15.00	2.80	3.50	AR	12	nat		maderable, sombra
5	Chalahuite de bejuco	*Inga spp*	16.70	12.50	7.60	AR	7	nat		sombra, fija N, leña
			28.83	9.30	14.20		8	nat		
				21.80	21.80					
6	Plátano	*Musa spp*	20.30	3.70	4.20	palm	2	nat	5.00	sombra, producción de fruto comestible
7	Quebrache	*Copaifera hymenaefolia*	21.20	7.00	8.00	AR	15	nat		sombra, leña, maderable
8	Cedro	*Cedrela odorata*	21.39	0.70	0.90	AR	3	int	1.80	sombra, maderable

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A30. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T2. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palo de agua. Longitud del intervalo **(perpendicular a la pendiente)** = 12.40 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Café	*Coffea arabica* L.	0.80	1.05	1.30	arb	12	int	1.60	producción de fruto
		var. Garnica	1.10	0.70	0.70	arb	12	int	1.50	
			2.95	2.80	1.70	arb	12	int	2.40	
			5.10	3.30	1.80	arb	12	int	2.05	
			6.90	3.00	2.70	arb	12	int	2.30	
			8.90	3.20	3.00	arb	12	int	2.80	
			10.80	1.50	1.50	arb	12	int	1.90	
				15.55	12.70					
2	Chaca	*Bursera simaruba*	1.45	4.40	1.40	AR		nat		postes
3	Plátano	*Musa spp*	1.80	5.00	3.30	palm	2	int		sombra y producción
			6.30	4.00	3.90	palm	2	int	4.20	de fruto comestible
				9.00	7.20					

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A30. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T3. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de canavalia.
Longitud del intervalo (sentido de la pendiente) = 28.50 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Tesgua	*Miconia argenta* (Sw)	1.45	3.20	3.00	AR	5	Nat	3.00	leña, sombra
		Dc	15.08	3.20	3.10	AR	5	Nat		
				6.40	6.10					
2	Guázima	*Guazuma ulmifolia* Lam	1.10	3.50	3.65	AR	4	nat	3.70	leña, construcción
			3.00	3.30	3.70	AR	4	nat	4.56	
			18.20	8.00	6.60	AR	4	nat		
				14.80	13.95					
3	Café	*Coffea arabica* L.	2.20	0.60	0.63	arb	2	int	0.70	producción de fruto
		Var. Oro azteca,	3.00	1.33	0.90	arb	2	int	1.52	
		bourbon y garnica	8.02	0.49	0.60	arb	2	int	0.58	
			13.57	0.98	1.15	arb	2	int	1.20	
			15.24	0.12	0.08	arb	2	int	0.16	
			17.12	1.08	0.80	arb	2	int	1.20	
			18.90	1.40	1.60	arb	2	int	1.20	
			21.80	1.70	1.65	arb	2	int	1.80	
			26.60	0.95	0.95	arb	2	int	1.50	
				8.65	8.36					
4	Guaxem, jonote	*Heliocarpus donell-smithii* Rose	5.40	3.85	5.20	AR	3	nat	4.80	madera construcción sombra
5	Cedro	*Cedrela odorata*	10.35	1.60	1.82	AR		int	2.85	maderable
6	Rabo de Cojolite, Chaca	*Bursera simaruba* (L) Sarg	10.80	3.50	5.30	AR	6	nat		postes
7	Ramón	*Brosimum alicastrum* Sw	16.20	3.75	2.20	AR	5	nat		forraje (hojas) medicinal (resina)
8	Jabonera		28.34	6.05	2.70	AR				

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A30. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T3. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de canavalia.
Longitud del intervalo (perpendicular a la pendiente) = 10.20 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Café	*Coffea arabica* L.	2.90	1.20	1.30	arb	2	int	1.05	producción de fruto
		var. Oro azteca,	7.40	0.70	1.10	arb	2	int	1.30	
		bourbon, garnica	8.46	1.20	1.20	arb	2	int	1.10	
			9.60	0.96	1.05	arb	2	int	0.90	
				4.06	4.65					
2	Chalahuite	*Inga sp*	5.16	1.75	1.75	AR			2.90	sombra, fija N, leña
			7.44	1.30	0.90				1.40	
				3.05	2.65					
3	Tesgua	*Miconia argentea* (Sw) Dc	5.45	3.98	2.90	AR				sombra, leña
4	Palo de olí		7.10	3.50	3.90	AR				

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A31. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T4. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de cacahuatillo.
Longitud del intervalo **(sentido de la pendiente)** = 16.00 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Café	*Coffea arabica* L.	1.20	2.40	2.80	arb	13	int	1.95	producción de fruto
		var. Catuaí y garnica	2.60	1.60	1.20	arb	13	int	2.00	
			4.10	0.70	0.87	arb	13	int	0.80	
			6.00	1.78	2.10	arb	13	int	2.40	
			8.00	2.60	2.20	arb	13	int	1.20	
			11.45	1.07	1.40	arb	13	int	2.10	
			14.40	2.00	2.30	arb	13	int	2.25	
				12.15	12.87					
2	Ramón	*Brosimum alicastrum*	4.30	3.70	3.80	AR		nat		forraje (hoja), medicinal (resina)
3	Chalahuite de bejuco	*Inga sp*	8.00	13.10	16.00	AR	16	nat		sombra, fija N, leña
4	Chaca, huevo de gallo	*Bursera simaruba* (L)	7.60	8.00	9.60	AR	5	nat		postes
5	Naranjo tardío	*Citrus sp*	10.70	2.50	2.00	AR			3.70	producción de fruto

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A30. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T4. Policultivo tradicional mejorado de café bajo con cobertura de cacahuatillo.
Longitud del intervalo **(perpendicular a la pendiente)** = 16.00 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Café	*Coffea arabica* L.	0.13	1.70	0.90	arb	13	int	2.45	producción de fruto
		var. Catuaí y garnica	0.57	1.05	1.00	arb	13	int	1.00	
			2.55	1.20	1.00	arb	13	int	1.00	
			3.70	2.10	1.50	arb	13	int	2.10	
			4.20	0.90	0.70	arb	13	int	0.80	
			7.75	1.20	1.40	arb	13	int	1.70	
			10.96	1.40	1.35	arb	13	int	1.65	
			14.50	3.00	2.50	arb	13	int	2.50	
				12.55	10.35					
2	Chaca, huevo de gallo	*Bursera simaruba* (L)	7.00	9.60	8.00	AR	5	nat		postes
			11.50	2.80	2.60	AR	5	nat		
				12.40	10.60					
3	Chalahuite	*Inga sp*	7.70	16.00	13.10	AR	16	nat		sombra, fija N, leña
			15.60	4.10	3.10	AR	16	nat		
				20.10	16.20					
4	Naranjo tardío	*Citrus sp*	9.10	2.00	2.50	AR	3	int	3.70	producción de fruto

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A30. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T5. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palma camedor y palo de agua. Longitud del intervalo **(sentido de la pendiente)** = 23.10 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Café	*Coffea arabica* L.	0.10	1.80	2.30	arb	8	int	2.05	producción de fruto
		var. Catuaí, garnica y	2.60	0.55	0.49	arb	8	int	0.65	
		mundo novo	3.85	2.30	2.00	arb	8	int	2.00	
			7.00	1.70	1.90	arb	8	int	1.90	
			11.70	0.85	0.60	arb	8	int	0.88	
			13.85	1.10	1.10	arb	8	int	2.50	
			15.70	1.25	1.60	arb	8	int	2.10	
			18.30	1.20	0.90	arb	8	int	1.35	
			21.90	1.75	1.60	arb	8	int	1.90	
				12.50	12.49					
2	Chalahuite	*Inga sp*	2.70	5.70	3.80	AR		nat		sombra, fija N, leña
			4.55	0.35	0.43	AR		nat	0.75	
			7.60	4.85	3.65	AR		nat		
			9.35	1.35	1.20	AR		nat		
			9.30	1.10	1.00	AR		nat	1.45	
			14.40	2.50	2.90	AR		nat		
			18.10	3.80	5.20	AR		nat		
			20.57	0.60	0.70	AR		nat	1.50	
			20.74	5.00	2.75	AR		nat		
				25.25	21.63					
3	Palma camedor	*Chamaedorea elegans*	5.10	0.42	0.25	arb	4	int	0.35	ornato
		Mart	5.72	0.75	0.80	arb	4	int	0.95	
			5.98	0.25	0.25	arb	4	int	0.30	
			6.38	0.55	0.35	arb	4	int	0.45	
			7.40	1.20	0.80	arb	4	int	0.90	
			8.30	0.30	0.60	arb	4	int	0.85	
			9.80	0.25	0.28	arb	4	int	0.45	
			11.60	0.16	0.20	arb	4	int	0.20	
			14.28	0.80	0.70	arb	4	int	1.00	
			16.00	0.20	0.15	arb	4	int	0.20	
			16.06	0.80	0.80	arb	4	int	1.00	
			17.90	0.90	1.00	arb	4	int	1.10	
			18.15	0.70	0.75	arb	4	int	1.10	
				7.28	6.93					
4	Chiltepín		9.45	0.40	0.64				0.95	
5	Palo de agua (cerco vivo)	*Eupatorium morifolium* Mill	11.00	0.40	0.40	arb			0.75	barreras vivas

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A30. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T5. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palma camedor y palo de agua. Longitud del intervalo **(perpendicular a la pendiente)** = 23.22 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad (años)	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Café	*Coffea arabica* L.	0.50	2.70	1.80	arb	8	int	2.50	producción de fruto
		var. Catuaí garnica y	3.10	1.10	1.30	arb	8	int	2.34	
		mundo novo	5.16	1.93	1.45	arb	8	int	2.55	
			10.52	0.85	0.87	arb	8	int	0.95	
			16.60	1.20	1.20	arb	8	int	2.50	
			18.30	1.90	1.70	arb	8	int	2.60	
			20.50	1.00	1.50	arb	8	int	2.17	
			22.55	1.30	1.00	arb	8	int	2.57	
				11.98	10.82					
2	Chalahuite	*Inga sp*	3.70	1.00	0.79	AR		nat	0.48	
			6.98	0.46	0.44	AR		nat	0.62	
			10.40	3.60	4.50	AR		nat		
			11.55	3.47	3.20	AR		nat		
			14.22	0.80	1.15	AR		nat	1.62	
			16.45	4.4	3.5	AR		nat		
			20.35	0.80	0.95	AR		nat	2.07	
			22.40	5.30	3.22	AR		nat		
				19.83	17.75					
3	Palma camedor	*Chamaedorea elegans*	3.70	1.00	1.00	arb	4	int	1.30	ornato
		Mart	4.43	0.30	0.39	arb	4	int	0.45	
			5.00	0.16	0.25	arb	4	int	0.22	
			5.16	0.10	0.10	arb	4	int	0.38	
			5.48	0.30	0.18	arb	4	int	0.35	
			5.84	0.15	0.19	arb	4	int	0.24	
			15.35	0.85	0.60	arb	4	int	0.82	
			15.80	0.45	0.40	arb	4	int	0.50	
			15.95	0.45	0.45	arb	4	int	0.70	
			17.80	0.95	0.65	arb	4	int	1.00	
			19.28	0.55	0.80	arb	4	int	0.90	
			19.74	0.70	0.75	arb	4	int	0.80	
			22.14	0.70	0.80	arb	4	int	0.82	
				6.66	6.56					
4	Pioche	*Melia azedarach* L	4.75	0.30	0.30	AR	3	nat	1.60	leña, sombra
			6.67	3.00	2.25	AR	3	nat		
			17.95	3.30	3.60	AR	3	nat		
				6.60	6.15					
5	Zapote		21.10	2.10	2.47	AR			3.60	producción de fruto

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A30. Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: **área mínima.**
T1. Sistema rusticano.

Sitio	No. de Sp.	Nombre Común	ind/sitio	ind/ha	ancho (cm)	largo (cm)	altura (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	Pasto común	2	20000	5	81	19	405
					33	50	17	1650
	2	Café	2	20000	20	17	23	340
					12	12	12	144
	3	Plátano de ardilla	5	50000	20	20	13	400
					20	20	11	400
					10	10	8	100
					53	24	7	1272
					26	13	8	338
	4	Cresta de gallo	1	10000	23	20	24	460
	5	Palo de agua	1	10000	49	33	44	1617
2	1	Pesna	2	20000	36	50	36	1800
					24	12	9	288
	2	X_1	2	20000	28	13	18	364
					22	19	18	418
	3	Naranjo	1	10000	10	10	12	100
	4	Plátano de ardilla	3	30000	22	22	8	484
					20	18	9	360
					11	8	6	88
	5	Pasto común	1	10000	23	29	25	667
	6	Siempre viva	2	20000	20	3	14	60
					11	11	14	121
3	1	Plátano de ardilla	3	30000	37	20	13	740
					14	5	10	70
					9	5	5	45
	2	Café	10	100000	8	8	12	64
					8	10	15	80
					6	7	9	42
					5	3	6	15
					7	7	9	49
					8	6	9	48
					5	8	8	40
					5	4	6	20
					9	7	7	63
					7	7	8	49
							C. TOTAL=	**13201**

*Individuos por sitio; **Individuos por hectárea.

Cuadro A30. Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: **área mínima.**
T2. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palo de agua.

Sitio	No. de Sp.	Nombre Común	ind/sitio	ind/ha	ancho (cm)	largo (cm)	altura (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	Pasto común	1	10000	70	70	30	4900
	2	Pesna	2	20000	16	12	27	192
					57	57	27	3249
	3	Jícama de tejón	3	30000	22	23	24	506
					15	17	18	255
					18	23	25	414
	4	Cebollín	1	10000	40	40	20	1600
2	1	Pasto común	1	10000	68	54	20	3672
3	1	Pasto común	1	10000	70	70	20	4900
	2	Cebollín	1	10000	50	13	10	650
	3	Café	3	30000	5	5	6	25
					6	6	10	36
					7	5	6	35
							C. TOTAL=	**20434**

T3. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de canavalia.

Sitio	No. de Sp.	Nombre Común	ind/sitio	ind/ha	ancho (cm)	largo (cm)	altura (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	Canavalia	2	20000	32	26	33	832
					15	30	33	450
	2	Pasto común	1	10000	22	30	15	660
2	1	Cuerno de venado	6	60000	13	15	4	195
					12	6	5	72
					24	12	3	288
					26	8	3	208
					13	3	5	39
					23	15	4	345
	2	Siempre viva	1	10000	20	13	4	260
	3	Pasto común	3	30000	10	10	7	100
					30	4	5	120
					20	29	10	580
3	1	Siempre viva	3	30000	28	19	9	532
					28	28	24	784
					30	8	7	240
							C. TOTAL=	**5705**

*Individuos por sitio; **Individuos por hectárea

Cuadro A30. Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: **área mínima.**
T4. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de cacahuatillo.

Sitio	No. sp.	Nombre Común	ind/sitio	ind/ha	ancho (cm)	largo (cm)	altura (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	Cacahuatillo	1	10000	20	30	10	600
	2	Bejuco, jícama de tejón	2	20000	6	13	7	78
					12	12	15	144
	3	Capulín	1	10000	10	22	27	220
	4	Bejuco tostado	1	10000	10	30	9	300
2	1	Cacahuatillo	1	10000	100	100	10	10000
3	1	Cacahuatillo	2	20000	60	100	5	6000
					30	100	6	3000
							C. TOTAL=	**20342**

T5. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palma camedor y palo de agua.

Sitio	No. sp.	Nombre común	ind/sitio	ind/ha	ancho (cm)	largo (cm)	altura (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	Palma camedor	5	50000	16	23	34	368
					22	24	18	528
					10	14	22	140
					19	12	22	228
					10	15	23	150
	2	Barbarón	3	30000	25	10	13	250
					7	7	7	49
					20	6	11	120
	3	Frijol arroz	2	20000	18	9	11	162
					30	23	10	690
	4	Pasto común	2	20000	43	16	14	688
					7	5	5	35
	5	Siempre viva	1	10000	33	22	6	726
2	1	Caña de jabalí	1	10000	25	27	23	675
	2	Acahual	1	10000	13	12	8	156
	3	Pasto común	4	40000	34	26	10	884
					48	36	7	1728
					35	23	9	805
					20	16	9	320
	4	Pesna	2	20000	16	9	10	144
					8	8	26	64
3	1	Pasto común	2	20000	74	70	30	5180
					40	30	19	1200
	2	Plátano de ardilla	2	20000	34	9	19	306
					20	8	17	160
	3	Huevo de gallo	1	10000	28	10	14	280
	4	Tres hojas	2	20000	20	6	6	120
					18	16	20	288
	5	Tronador	1	10000	20	15	20	300
							C. TOTAL=	**16744**

*Individuos por sitio; **Individuos por hectárea

Cuadro A31. Datos del muestreo de vegetación CUATRO (arbóreo, arbustivo y herbáceo). NOVIEMBRE DEL 2001.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T1. Sistema rusticano. Longitud del intervalo **(sentido de la pendiente)** = 43.70 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb	edad años	nat/ int	altura (m)	usos principales
1	Café	*Coffea arabica* L. var. Typica	0.80	2.90	1.25	arb	50	int	4.62	producción de fruto
			3.80	3.10	3.90	arb	50	int	4.10	
			4.40	3.88	3.00	arb	50	int	3.84	
			7.90	0.88	2.73	arb	50	int	3.35	
			10.20	6.70	6.60	arb	50	int	4.95	
			14.30	5.40	4.70	arb	50	int	3.55	
			15.70	3.50	3.00	arb	50	int	3.84	
			18.30	3.00	2.60	arb	50	int	3.60	
			22.60	3.05	3.45	arb	50	int	3.50	
			24.10	4.80	2.60	arb	50	int	3.95	
			26.50	5.00	4.74	arb	50	int	3.48	
			29.00	3.70	4.28	arb	50	int	3.00	
			29.30	3.00	3.20	arb	50	int	3.00	
			33.53	3.70	5.20	arb	50	int	3.15	
			34.30	3.75	1.70	arb	50	int	2.24	
			37.05	3.29	4.18	arb	50	int	3.95	
			38.70	2.60	3.45	arb	50	int	4.45	
			41.80	2.30	2.80	arb	50	int	4.00	
				64.55	63.38					
2	Naranjo	*Citrus sp*	6.44	0.55	0.60	AR	2	int	0.96	producción de fruto comestible y sombra
3	Jobo		6.60	12.80	18.60	AR	10	nat	20.16	producción de fruto y sombra
4	Zapote amarillo		10.10	12.50	9.90	AR	35	nat	9.62	producción de fruto y sombra
5	Chalahuite chico	*Inga sp*	17.10	8.48	5.30	AR	6	nat	11.70	sombra, fija N, leña
			25.25	7.40	6.67	AR	6	nat	13.54	
			27.10	8.60	3.50	AR	4	nat	7.16	
	Ch. Grande (jinicuil)		35.2	16.3	11.2	AR	30	nat	10.9	
			41.35	5.7	2.6	AR	20	nat	6.25	
				46.48	29.27					
6	Palo de agua	*Dendropanax arboreus* (L) Planch et Decne	37.75	13.40	9.80	AR	50	nat	16.67	sombra y leña

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A31. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T1. Sistema rusticano. Longitud del intervalo **(perpendicular a la pendiente)** = 16.00 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb	edad años	nat/ int	altura (m)	usos principales
1	Café típica	*Coffea arabica L.*	0.60	3.20	3.50	arb	50	int	3.90	producción de fruto
		variedad typica	3.10	4.60	3.90	arb	50	int	4.10	
			6.85	3.00	2.30	arb	50	int	4.00	
			9.43	4.54	5.00	arb	50	int	3.37	
			9.46	2.60	4.25	arb	50	int	4.13	
			12.55	3.00	3.00	arb	50	int	3.78	
			15.35	1.6	1.64	arb	50	int	2.97	
				22.54	23.59					
2	Chalahuite	*Inga spp*	2.60	4.10	2.60	AR	15	nat	5.00	sombra, fija N, leña
	Ch. Chico		4.20	5.00	5.00	AR	15	nat	8.95	
			7.00	6.67	7.40	AR	15	nat	10.83	
			8.00	6.90	7.70	AR	15	nat	12.90	
			10.60	2.80	5.80	AR	15	nat	10.98	
			12.85	8.00	4.60	AR	15	nat	10.02	
				33.47	33.10					

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A31. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T2. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palo de agua. Longitud del intervalo **(sentido de la pendiente)** = 34.20 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb	edad años	nat/ int	altura (m)	usos principales
1	Café garnica	*Coffea arabica L.* variedad garnica	1.60	3.10	3.00	arb	12	int	2.20	producción de fruto
			3.85	2.50	2.83	arb	12	int	2.30	
			5.90	2.16	1.90	arb	12	int	1.60	
			8.35	2.13	1.60	arb	12	int	1.87	
			10.30	2.37	2.20	arb	12	int	2.20	
			11.50	2.70	2.60	arb	12	int	2.70	
			12.40	3.00	2.00	arb	12	int	2.75	
			18.42	2.50	2.70	arb	12	int	2.45	
			21.00	2.10	2.00	arb	12	int	2.75	
			23.70	1.70	2.60	arb	12	int	2.27	
			28.70	1.70	1.80	arb	12	int	1.93	
				25.96	25.23					
2	Chalahuite de bejuco	*Inga sp*	7.25	7.20	8.50	AR	10	nat	7.81	sombra, fija N,
			4.00	6.00	6.00	AR	11	nat	8.30	leña
			13.00	6.90	14.00	AR	15	nat	11.20	
			16.70	11.50	12.60	AR	15	nat	8.27	
			28.90	11.48	17.20	AR	12	nat	9.37	
				43.08	58.30					
3	Ramón	*Brosimum alicastrum*	12.65	4.20	4.80	AR	15	nat	4.40	forraje (hoja), medicinal (resina)
4	Pioche	*Melia azedarach* L	14.90	4.00	4.00	AR	10	nat	8.70	construcción, leña
5	Palo de agua	*Eupatorium mirifolium*	16.60	11.50	1.05	arb	5	int	2.00	cercos vivos
			26.30	14.50	1.80	arb	5	int	3.45	
			32.60	8.10	2.20	arb	5	int	3.88	
				34.10	5.05					
6	Plátano	*Musa sp*	20.10	3.88	4.13	palm	3	int	4.80	fruto comestible
7	Quebrache		21.30	8.50	8.10	AR	15	nat	4.40	sombra, leña, constr.
8	Guásima		33.20	2.60	3.12	AR	20	nat	7.18	leña, construcción

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A31. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T2. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palo de agua. Longitud del intervalo **(perpendicular a la pendiente)** = 12.90 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb	edad años	nat/ int	altura (m)	usos principales
1	Café catuaí, garnica, bourbon y oro azteca	*Coffea arabica* L. var. Garnica, catuaí, bourbon, oro azteca.	0.85	1.00	1.35	arb	12	int	1.60	producción de fruto
			1.60	1.25	1.35	arb	12	int	1.85	
			3.00	2.40	1.90	arb	12	int	2.53	
			6.95	2.90	2.90	arb	12	int	2.50	
			8.80	1.90	1.80	arb	12	int	2.00	
			8.88	3.30	3.30	arb	12	int	2.70	
			12.75	2.06	1.40	arb	12	int	1.75	
				14.81	14.00					
2	Plátano	*Musa spp*	1.90	6.20	3.00	palm	2	int	5.50	sombra y producción
			6.60	4.13	3.88	palm	2	int	4.80	de fruto comestible
				10.33	6.88					
3	Ramón	*Brosimum alicastrum*	4.10	2.95	3.00	AR		nat	4.20	forraje (hojas) medicinal (resina)
4	Chalahuite de bejuco	*Inga sp*	4.40	5.70	4.60	AR	20	nat	13.43	sombra, fija N, leña
			9.70	12.60	11.50	AR	15	nat	9.21	
			12.00	1.70	1.10	AR	2	nat	2.35	
				20.00	17.20					
5	Quebrache		9.30	8.10	8.50	AR	20	nat		horcones, postes

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A31. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T3. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de canavalia.
Longitud del intervalo (sentido de la pendiente) = 29.00 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb	edad años	nat/ int	altura (m)	usos principales
1	Tesgua	*Miconia argenta* (Sw)	1.60	2.70	2.47	AR	5	Nat	5.50	leña, sombra
		Dc	3.00	3.30	3.60	AR	5	Nat	4.70	
			15.25	4.00	3.50	AR	5	Nat	6.00	
				10.00	9.57					
2	Café	*Coffea arabica* L.	2.35	0.80	0.90	arb	2	int	0.85	producción de fruto
		Var. Oro azteca,	3.10	1.53	1.40	arb	2	int	1.60	
		bourbon y garnica	5.02	1.00	1.15	arb	2	int	1.02	
			10.55	0.88	0.90	arb	2	int	1.10	
			13.70	1.30	1.23	arb	2	int	1.35	
			16.88	1.10	1.05	arb	2	int	1.10	
			19.80	1.25	1.30	arb	2	int	1.65	
			23.24	1.35	1.80	arb	2	int	1.70	
			24.80	1.10	1.10	arb	2	int	1.20	
			27.80	1.06	1.00	arb	2	int	0.75	
				11.37	11.83					
3	Guaxem, jonote	*Heliocarpus donell-smithii* Rose	5.50	4.00	4.55	AR	10	nat	4.85	leña
4	Cedro	*Cedrela odorata*	10.40	1.50	2.00	AR	3	int	3.08	maderable
			22.63	1.15	1.35	AR	2	int	1.85	
				2.65	3.35					
5	Chaca, rabo de cojolite	*Bursera simaruba* (L.) Sarg	10.70	4.60	4.25	AR	20	nat	6.41	postes
			27.10	7.50	4.40	AR	25	nat	8.34	
				12.10	8.65					
4	Chalahuite chico	*Inga sp*	14.80	0.40	0.50	AR	2	nat	0.75	sombra, fija N, leña
			15.20	1.48	2.20	AR	5	nat	3.50	
				1.88	2.70					
5	Ramón	*Brosimum alicastrum*	16.20	4.20	2.70	AR	10	nat	5.90	forraje (hojas)
		Sw	23.95	5.50	6.00	AR	11	nat	4.54	medicinal (resina)
				9.70	8.70					
6	Palo de jonote	*Heliocarpus donell - smithii* Rose	16.80	3.85	3.80	AR	5	nat	5.91	jarcería
7	Guásima	*Guazuma ulmifolia* Lam	18.05	8.30	7.00	AR	4	nat	8.00	leña, construcción
8	Palo de frijolillo		23.75	0.66	0.56	AR	2	nat	0.72	

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A31. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T3. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de canavalia.
Longitud del intervalo (perpendicular a la pendiente) = 11.80 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb	edad años	nat/ int	altura (m)	usos principales
1	Café	*Coffea arabica* L.	1.12	1.20	1.20	arb	2	int	1.35	producción de fruto
		var. Oro azteca,	2.88	1.90	2.00	arb	2	int	2.00	
		bourbon, garnica	8.25	1.10	1.10	arb	2	int	1.00	
				4.20	4.30					
2	Palo de jonote	*Heliocarpus donell - smithii* Rose	4.30	3.80	3.85	AR	5	nat	5.91	jarcería
3	Tesgua	*Miconia argenta* (Sw) Dc	7.15	3.50	4.00	AR	5	nat	6.00	leña, sombra
4	Ramón	*Brosimum alicastrum*	7.80	2.70	4.20	AR			4.90	forraje (hojas) medicinal (resina)
5	Guásima	*Guasuma umbiflora*	8.30	7.00	8.30	AR	5	nat	8.00	leña, construcción
6	Palo de olí		9.40	4.20	4.00	AR			6.25	leña

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A31. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T4. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de cacahuatillo.
Longitud del intervalo **(sentido de la pendiente)** = 16.30 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad años	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Café	*Coffea arabica* L	1.20	0.50	0.66	arb	13	int	0.83	producción de fruto
		var. Catuaí y garnica	2.80	1.70	2.40	arb	13	int	2.16	
			4.00	0.85	0.90	arb	13	int	0.86	
			5.95	1.70	2.30	arb	13	int	2.30	
			8.10	2.50	2.10	arb	13	int	1.70	
			11.40	1.80	1.90	arb	13	int	2.00	
			13.40	0.98	0.92	arb	13	int	0.90	
			14.50	2.20	1.98	arb	13	int	2.10	
				12.23	13.16					
2	Ramón	*Brosimum alicastrum*	4.24	4.50	4.97	AR	10	nat	4.68	forraje (hoja) medicinal (resina)
3	Chaca, rabo de cojol	*Bursera simaruba* (L.) Sarg	7.40	11.80	10.50	AR	5	nat	7.36	postes
4	Chalahuite	*Inga sp*	8.00	11.80	15.60	AR	16	nat	9.20	sombra, fija N, leña
5	Naranjo	*Citrus sp*	10.70	2.60	2.40	AR			3.65	producción de fruto

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A31. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T4. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de cacahuatillo.
Longitud del intervalo **(perpendicular a la pendiente)** = 17.20 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad años	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Café	*Coffea arabica* L.	0.09	1.66	1.07	arb	13	int	2.40	producción de fruto
		var. Catuaí y garnica	0.50	1.23	0.83	arb	13	int	0.97	
			2.13	2.04	3.54	arb	13	int	2.05	
			5.82	1.10	2.24	arb	13	int	1.43	
			7.72	2.46	1.70	arb	13	int	2.25	
			10.60	1.00	1.00	arb	13	int	0.96	
			11.15	2.44	1.86	arb	13	int	2.30	
			14.40	2.30	3.60	arb	13	int	2.80	
			16.40	3.00	2.60	arb	13	int	2.45	
				17.23	18.44					
2	Chaca, huevo de gall rabo de cojolite	*Bursera simaruba* (L) Sarg	7.20	10.50	11.80	AR	5	nat	7.36	postes
3	Chalahuite de vaina grande	*Inga jinicuil* G. Don	7.75	15.60	11.80	AR	16	nat	9.20	sombra, fija N, leña
			8.20	0.40	0.35	AR	1	nat	0.22	
			15.40	11.50	9.70	AR	14	nat	8.00	
				27.50	21.85					

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A31. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T5. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palma camedor y palo de agua. Longitud del intervalo **(sentido de la pendiente)** = 24.50 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb palm*	edad años	nat/ int**	altura (m)	usos principales
1	Xochitlcahuitl	*Cordia alliodora*	0.52	2.08	2.00	AR	4	int	8.12	maderable
2	Café	*Coffea arabica L*	2.30	2.20	2.10	arb	8	int	2.46	producción de fruto
		var. Garnica, catuaí y	4.20	2.58	1.53	arb	8	int	2.50	
		mundo novo	6.00	1.38	2.20	arb	8	int	2.00	
			7.45	2.20	1.30	arb	8	int	2.30	
			10.60	1.00	0.98	arb	8	int	1.45	
			17.80	0.70	0.75	arb	8	int	0.90	
			18.73	1.14	0.97	arb	8	int	1.40	
			20.50	1.15	1.10	arb	8	int	1.55	
			22.10	2.07	1.60	arb	8	int	2.30	
				14.42	12.53					
4	Chalahuite grande	*Inga jinicuil* G Don.	3.10	6.00	5.00	AR	7	nat	8.00	sombra, fija N, leña
			8.00	10.00	7.00	AR	7	nat	7.70	
			12.00	2.06	1.50	AR	9	nat	9.20	
			12.80	3.30	3.10	AR	7	nat	8.36	
			17.27	3.56	2.77	AR	7	nat	8.50	
			18.40	4.90	7.20	AR	6	nat	7.68	
	Ch. Chico	*Inga spp*	14.44	4.10	3.40	AR	7	nat	8.49	
			21.30	5.00	2.50	AR	7	nat	8.30	
				38.92	32.47					
5	Palma camedor	*Chamaedorea elegans*	3.15	0.29	0.16	arb	4	int	0.17	ornato
			5.70	0.70	0.75	arb	4	int	0.60	
			6.10	0.88	0.65	arb	4	int	1.18	
			7.00	0.30	0.50	arb	4	int	0.70	
			8.50	0.84	0.60	arb	4	int	0.80	
			8.70	0.85	0.45	arb	4	int	0.86	
			10.00	0.40	0.40	arb	4	int	0.43	
			14.48	0.50	0.64	arb	4	int	1.00	
			18.48	0.80	0.78	arb	4	int	0.87	
			21.00	1.00	0.95	arb	4	int	1.05	
				6.56	5.88					
6	Palo de agua (cerco)	*Eupatorium morifolium*	11.70	1.30	1.45	arb	6	int	1.90	barreras vivas
		Mill	23.55	0.30	0.38	arb	2	int	0.75	
				1.60	1.83					
7	Guaje	*Inga sp*	12.50	3.50	7.10	AR	6	nat	6.50	sombra, fija N, leña
8	Jobo prieto		15.05	2.00	1.80	AR	3	nat	5.44	sombra

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A31. Continuación.

Vegetación arbórea y arbustiva.
Método utilizado: **Línea de Canfield.**
T5. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palma camedor y palo de agua. Longitud del intervalo **(perpendicular a la pendiente)** = 23.00 m.

No. sp	Nombre común	Nombre científico	LI (m)	I (m)	M (m)	AR/arb	edad años	nat/ int	altura (m)	usos principales
1	Café	*Coffea arabica* L.	0.55	2.70	1.80	arb	8	int	2.45	producción de fruto
		var. Catuaí garnica y	3.15	1.60	1.28	arb	8	int	2.30	
		mundo novo	5.20	1.67	1.60	arb	8	int	2.55	
			9.00	1.65	1.70	arb	8	int	2.46	
			10.60	0.83	0.92	arb	8	int	1.00	
			16.60	1.25	1.50	arb	8	int	2.40	
			18.35	2.20	2.05	arb	8	int	2.55	
			18.75	1.80	1.80	arb	8	int	2.10	
			20.50	1.50	1.53	arb	8	int	2.3	
			22.57	1.50	1.00	arb	8	int	2.73	
				16.70	15.18					
4	Pioche	*Melia azedarach* L	1.75	3.19	3.00	AR	5	nat	10.22	leña, sombra
			4.80	0.45	0.36	AR	1	nat	1.33	
			6.70	3.90	2.00	AR	4	nat	8.06	
			18.00	4.55	6.30	AR	5	nat	11.7	
				12.09	11.66					
5	Palo de agua	*Eupatorium morifolium*	1.90	1.30	0.80	arb	6	int	2.00	cerco vivo
6	Palma camedor	*Chamaedorea elegans*	3.74	0.95	1.00	arb	4	int	1.35	ornato
		Mart	4.42	0.35	0.35	arb	4	int	0.40	
			5.10	0.14	0.26	arb	4	int	0.30	
			5.35	0.14	0.14	arb	4	int	0.18	
			5.48	0.30	0.09	arb	4	int	0.44	
			14.8	0.63	0.45	arb	4	int	0.54	
			15.40	1.00	0.60	arb	4	int	0.95	
			15.70	0.60	0.35	arb	4	int	0.65	
			16.00	0.70	0.50	arb	4	int	0.63	
			17.00	0.80	0.70	arb	4	int	0.80	
			17.40	0.80	0.80	arb	4	int	1.10	
			17.80	0.85	0.80	arb	4	int	1.08	
			18.15	0.80	0.75	arb	4	int	1.10	
			19.30	0.50	0.82	arb	4	int	1.00	
			19.75	0.70	0.70	arb	4	int	0.90	
			20.07	0.10	0.12	arb	4	int	0.12	
			20.24	0.25	0.30	arb	4	int	0.20	
			20.93	0.13	0.18	arb	4	int	0.18	
			21.24	0.20	0.23	arb	4	int	0.27	
			22.20	0.73	0.85	arb	4	int	0.87	
				10.67	9.99					
7	Chalahuite de vaina grande	*Inga jinicuil* G. Don	4.15	4.25	2.10	AR		nat		sombra, fija N, leña
			6.98	0.30	0.44	AR		nat	0.64	
			10.45	4.90	4.60	AR		nat		
			11.58	4.55	4.30	AR		nat		
			12.90	3.20	4.80	AR		nat		
			14.20	0.82	0.84	AR		nat		
			16.50	5.80	6.80	AR		nat		
			20.36	0.95	1.03	AR		nat	2.30	
			22.35	3.95	2.80	AR		nat		
				28.72	27.71					
8	Guaxem, jonote	*Heliocarpus donell-smithii* Rose	10.80	8.20	5.50	AR		nat		
9	Zapote negro		21.03	2.20	2.53	AR		nat	3.80	

LI: longitud interceptada sobre la línea (cm)
I: anchura máxima perpendicular al punto de intersección (copa) (cm)
M: longitud máxima sobre la línea (cm)

*AR = árbol; arb = arbusto; palm = palmera.
**NAT = especie nativa; int = especie introducida.

Cuadro A31. Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: **área mínima.**
T1. Sistema rusticano.

Sitio	No. sp.	Nombre común	ind/sitio*	ind/ha**	ancho (cm)	largo (cm)	altura (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	café	10	100000	4	5	5	20
					2	4	4	8
					4	6	6	24
					4	6	8	24
					3	5	7	15
					4	6	5	24
					4	6	5	24
					4	5	10	20
					5	6	9	30
					5	8	6	40
	2	bejuco de uva	1	10000	9	17	20	153
	3	chalahuite	1	10000	6	6	11	36
2	1	café	11	110000	2	7	4	14
					2	2	5	4
					8	10	18	80
					2	6	7	12
					8	11	18	88
					10	16	20	160
					10	12	18	120
					14	13	18	182
					13	16	15	208
					10	11	17	110
					8	8	18	64
	4	árbol de Pascua	3	30000	14	15	19	210
					5	8	16	40
					12	13	20	156
3	1	café	7	70000	7	16	16	112
					7	7	10	49
					10	10	14	100
					7	6	8	42
					2	4	14	8
					6	6	12	36
					5	7	10	35
					8	10	17	80
					5	6	7	30
					3	4	8	12
	2	plátano de ardilla	1	10000	9	12	8	108
							C. TOTAL=	**2478**

*Individuos por sitio; **Individuos por hectárea.

Cuadro A31. Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: **área mínima.**
T2. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palo de agua.

Sitio	No. sp.	Nombre Común	Ind/sitio*	Ind/ha**	ancho (cm)	largo (cm)	altura (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	pasto natural	5	50000	16	45	20	720
					6	10	11	60
					7	7	13	49
					4	7	12	28
					4	9	8	36
	2	café pesetilla	4	40000	4	6	9	24
					2	3	9	6
					3	5	5	15
					3	3	7	9
	3	maleza redonda	1	10000	30	40	8	1200
2	1	café	3	30000	7	7	9	49
					5	8	10	40
					5	5	8	25
	2	trébol	4	40000	22	23	5	506
					9	15	6	135
					5	5	8	25
					4	4	5	16
	3	cebollín	1	10000	12	3	5	36
3	1	trébol	2	20000	8	16	8	128
					16	20	8	320
	2	café	3	30000	5	9	8	45
					5	5	5	25
					5	8	9	40
	3	ramón	1	10000	4	10	10	40
							C. TOTAL=	**3577**

*Individuos por sitio; **Individuos por hectárea

Cuadro A31 Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: **área mínima.**
T3. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de canavalia.

Sitio	No. sp.	Nombre común	ind/sitio*	ind/ha**	ancho (cm)	largo (cm)	altura (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	chalahuite	2		5	8	6	40
					3	5	5	15
	2	pasto cebollero	4		8	15	6	120
					5	10	3	50
					3	8	3	24
					3	10	4	30
	3	cortador	2		5	15	7	75
					3	15	13	45
	4	pasto natural	1		7	15	10	105
2	1	canavalia	3		7	10	20	70
					15	15	20	225
					6	7	22	42
	2	valente	4		2	4	5	8
					5	5	6	25
					3	6	7	18
					3	8	4	24
	3	cebollín	4		4	10	5	40
					2	6	5	12
					6	9	4	54
					6	10	4	60
	4	acahual	1		4	8	6	32
	5	plátano de ardilla	1		6	11	4	66
3	1	canavalia	2		20	30	20	600
					40	46	50	1840
	2	pasto de monte	2		10	33	18	330
					9	60	7	540
							C. TOTAL=	**4490**

*Individuos por sitio; **Individuos por hectárea

Cuadro A31 Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: **área mínima.**
T4. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con cobertura de cacahuatillo.

Sitio	No. sp.	Nombre común	ind/sitio*	ind/ha**	ancho (cm)	largo (cm)	altura (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	arachis	4		33	70	12	2310
					38	50	14	1900
					45	33	14	1485
					44	50	18	2200
2	1	arachis	2		42	42	10	1764
					65	105	10	6825
	2	pasto del monte	4		7	10	10	70
					7	10	10	70
					6	16	13	96
					4	14	9	56
3	1	arachis	4		50	40	10	2000
					38	58	7	2204
					30	38	16	1140
					20	56	5	1120
	2	tesgua	1		12	19	18	228
	3	plátano de ardilla	3		8	22	10	176
					5	8	7	40
					6	6	5	36
							C. TOTAL=	**23720**

*Individuos por sitio; **Individuos por hectárea

Cuadro A31Continuación.

Vegetación herbácea.
Método utilizado: **área mínima.**
T5. Policultivo tradicional mejorado de café bajo sombra con barreras vivas de palma camedor y palo de agua.

Sitio	No. sp.	Nombre común	ind/sitio*	ind/ha**	ancho (cm)	largo (cm)	altura (cm)	cobertura (cm^2)
1	1	palma camedor	4		22	38	37	836
					22	13	26	286
					10	10	14	100
					26	23	28	598
	2	pesna	2		30	17	29	510
					20	62	13	1240
	3	maleza hoja ovalada	1		17	20	13	340
	4	caña de jabalí	1		10	26	11	260
	5	siempre viva	3		14	45	11	630
					14	26	10	364
					10	15	9	150
	6	pasto del monte	5		25	31	7	775
					8	17	10	136
					6	10	7	60
					7	23	5	161
					10	23	8	230
	7	piñon	1		10	10	19	100
2	1	palma camedor	1		10	19	25	190
	2	pasto del monte	3		18	60	30	1080
					8	45	15	360
					14	46	20	644
	3	siempre viva	5		16	25	15	400
					17	25	14	425
					16	18	20	288
					20	40	5	800
					20	50	9	1000
	4	barbarón	1		26	43	25	1118
	5	plátano de ardilla	2		8	15	8	120
					15	19	9	285
	6	tres hojas	1		10	18	9	180
	7	chalahuite	1		3	6	7	18
	8	café	1		4	5	8	20
3	1	palma camedor	4		12	20	22	240
					18	29	40	522
					26	26	18	676
					15	20	35	300
	2	pasto del monte	3		30	52	12	1560
					38	57	13	2166
					9	31	13	279
	3	cuerno de venado	4		20	50	9	1000
					11	17	10	187
					9	16	5	144
					6	12	11	72
	4	acahual	1		30	50	25	1500
	5	plátano de ardilla	1		13	24	13	312
	6	pasto cortador	2		12	15	11	180
					13	13	8	169
							C. TOTAL=	**23011**

*Individuos por sitio; **Individuos por hectárea

8.1. TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

Una investigación de esta naturaleza no tiene sentido si no se dan a conocer los resultados a los productores. Por tal motivo, una vez concluida la etapa experimental del trabajo que se desarrolló en la comunidad de El Coyol, Tlachichilco, Veracruz, se realizó un "Taller de Evaluación Rural Participativa", dirigido a los delegados de café, promotores de agroecología y productores cafeticultores interesados de la UENOT, con el tema: "Conservación de suelo y agua en sistemas agroforestales de café bajo sombra". Este evento se desarrolló los días 31 de mayo y 1 de junio del 2002 en las comunidades de Chintipán (en la bodega de la UENOT) y El Coyol, Tlachichilco, Ver.

Asistieron más de 100 participantes provenientes de las comunidades de La Guitarra, El Coyol, Xalame, Texca Chiquito, Víctor Rosales, Chintipán, Nuevo Chintipán, Monterrey, Otatitlán y Tierra Colorada del municipio de Tlachichilco, así como personal, docentes, egresados, estudiantes de licenciatura y posgrado e invitados de la Universidad Autónoma Chapingo.

La primera parte del taller consistió en la presentación de los siguientes temas:

1. Presentación del "Manual de conservación del suelo y agua en sistemas agroforestales de café bajo sombra", de Pérez *et al.* (2002).
2. Los sistemas agroforestales de café bajo sombra.
3. El suelo.
4. La erosión hídrica.
5. La conservación del suelo y agua.

En este taller se desarrollaron los temas: "el suelo", "la erosión hídrica" y "la importancia de la aplicación de prácticas de conservación de suelo y agua".

Al término de la presentación teórica, los asistentes formaron 3 equipos mixtos, integrados por hombres y mujeres, tanto por promotores de agroecología, como por delegados y productores de café. El tema central a tratar en el trabajo en equipo fue discutir el conocimiento que tienen en la región acerca de la conservación del suelo, a partir de resolver por equipo diferentes preguntas (Figura a y Cuadro a).

Figura a. Taller de Evaluación Rural Participativa realizado el 31 de mayo y 1 de junio en la bodega de la UENOT, Chintipan, Tlachichilco, Ver. Año 2002.

El trabajo de los tres equipos de participantes que se formaron al término de la sesión teórica consistió en resolver un cuestionario, el cual se aplicó a cada equipo para conocer sus conocimientos sobre la conservación del suelo y agua. Dichos cuestionarios fueron resueltos de la siguiente manera:

EQUIPO 1:

1. *¿Qué entendemos por conservación de suelos?* R = no dejar que se pierda el suelo por el agua de la lluvia que escurre, y evitar que se lleve sus sustancias nutritivas.
2. *¿Cómo le hacemos para que el suelo no se pierda?* R = hacemos terrazas, muros vivos de palo de agua y palma camedor, terrazas de piedra y palos, y dejamos los restos del chapoleo.

EQUIPO 2:

1. *¿Cómo hacemos curva a nivel y qué factores consideramos?* R = usamos el aparato "A" y se tiene que ver qué tan empinado está el terreno.
2. *¿Cómo se hace y usa el aparato "A"?* R = se hace con tres palos largos clavados y un hilo con una plomada, sirve para hacer curvas a nivel. Primero se traza una línea con la que se guía para trazar las otras.

BIBLIOTECA U.A.CH

3. *¿Cómo hacemos las prácticas de conservación del suelo (terrazas individuales, continuas y barreras vivas)?* R = las terrazas individuales las hacemos con piedras o con tierra; las terrazas continuas se trazan con el aparato "A" y se hacen rascándole al suelo con palas y talachos; las barreras vivas se hacen con palo de agua.

EQUIPO 3:

1. *¿Para que nos sirven los árboles de sombra y cuáles usamos?* R = los árboles de sombra le ayudan al café para protegerlo del sol y para que dure más la planta, también para proteger al suelo de la lluvia y para atraer las lluvias; usamos el pioche, el chalahuite, el plátano, la chaca, el jobo prieto, el ramón, naranja, macadamia, mango, aguacate, etc.
2. *¿Qué es una composta y para qué nos sirve?* R = una composta es una mezcla de desechos que se usa para que produzca más la planta de café, para que se ponga más bonita y de más fruto. Se hace con desperdicios del beneficio del café, con olotes y con tierra.
3. *¿Existirán abonos orgánicos, cuáles son?* R = los abonos orgánicos son como los desechos del café, el estiércol, las plantas podridas y lo que sale de la composta.

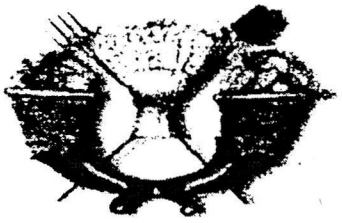
Con la actividad anterior se pudo constatar que el conocimiento de los productores sobre estos temas es bastante bueno. Asimismo, el manual que se les entregó a cada uno de los participantes contiene información más completa y detallada sobre el tema de la conservación del suelo y agua. Este está explicado de una manera muy clara y sencilla para que pueda ser entendido por cualquier tipo de lector. Se considera que dicho manual fue un muy buen complemento de lo que se vio en este taller, ya que permitirá a los lectores tener siempre presente lo aprendido, y en adelante será un excelente apoyo para los productores de café, lo que a su vez se traducirá en un mejor aprovechamiento y conservación de sus parcelas.

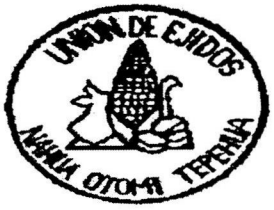
En la segunda parte del taller se organizó un recorrido con los participantes a El Coyol, para visitar las cinco parcelas experimentales, motivo de la presente investigación. La razón principal de este recorrido fue la de presentar físicamente a los asistentes los resultados obtenidos en cada uno de los tratamientos, así como las bondades de implementar policultivos asociados al café y la de dar protección a las tierras mediante la adopción de prácticas de conservación del suelo (mecánicas, vegetativas y agronómicas).

Finalmente, cabe mencionar que la aplicación de prácticas de conservación de suelos que se está promoviendo en la zona de estudio está condicionada por ciertos factores que determinan su aplicación. En primer lugar, la situación económica que prevalece en el lugar es determinante para la realización de dichas prácticas; los precios bajos del café no son muy alentadores para que el productor las lleve a cabo por lo que muchas veces prefieren emplearse en otras actividades para aumentar sus ingresos, aunque siguen realizando los deshierbes anuales en sus cafetales para conservar limpias sus parcelas. Por otro lado, los rendimientos bajos de café que están obteniendo determinan también que en ocasiones exista cierta renuencia a la implementación de prácticas de conservación; otro factor adverso es la gran distancia que muchas veces existe entre el domicilio del productor y sus parcelas; otro más son las condiciones físicas del suelo de sus terrenos como alta pedregosidad y pendiente muy pronunciada, que son también un atenuante para el desarrollo e implementación definitiva de medidas de conservación del suelo y agua.

Sin embargo, lo que se pudo constatar a través de las pláticas con los productores es que la mayoría entiende la necesidad de aplicar prácticas mecánicas y vegetativas de conservación del suelo y agua en sus cafetales, pero al mismo tiempo manifestaron también que requieren el apoyo de instituciones de gobierno y de su propia organización (UENOT) para llevarlas a cabo, ya que con sus propios recursos no les es posible; de aquí la importancia de formular proyectos que gestionen recursos para la aplicación de estas medidas de conservación del suelo y agua en las regiones cafetaleras marginadas de México.

Cuadro a. Lista de asistentes al Taller de Evaluación Rural Participativa realizado el 31 de mayo y 1 de junio en las comunidades de Chintipan y El Coyol, municipio de Tlachichilco, Ver. Año 2002.



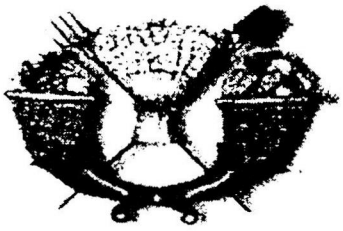


RELACIÓN DE PARTICIPANTES EN EL SEGUNDO TALLER DE EVALUACIÓN RURAL PARTICIPATIVA QUE ASISTIERON Y RECIBIERON EL MANUAL DE CONSERVACIÓN DE SUELO Y AGUA EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ BAJO SOMBRA.

31 DE MAYO Y 1 DE JUNIO DEL 2002

NOMBRE	COMUNIDAD	FIRMA
Jorge Hernández Aguilar	Ejido Chintipan	
Francisco Gerardo Hernández	El Coyol	
Matilde Jiménez Valasco	Victor Rosales	
María Reyna Durán	Chintipan	
Leonardo Herrera Granillo	V. Rosales	
Lorenzo Velasco Felipe	V. Rosales	
Pedro Sánchez Solano	V. Rosales	
Priciliano Herrera Guzman	V. Rosales	
Alberto Emilio Pastor	El Coyol	
Antonio Herrera Granillo	V. Rosales	
Gilberto Velazco Pacheco	V. Rosales	
Jacobo Martínez Cortes	El Coyol	
Mario Felipe Ramos	V. Rosales	
Felipe Hernández Montes	V. Rosales	
Fidel Medina Bautista	La Guitarra	
Ricardo Felipe Mtz.	V. Rosales	
José Alberto González López	V. Rosales	
Juana Flores Morales	El Coyol	
Bernardo Cruz Secundino	La Guitarra	
Eugenio Cruz Secundino	La Guitarra	
Cirio Rivera Emilio	El Coyol	
Felix Ramos Eufracio	El Coyol	

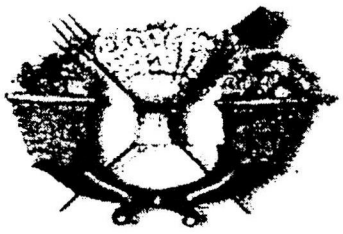
Cuadro A33. Continuación.



RELACIÓN DE PARTICIPANTES EN EL SEGUNDO TALLER DE EVALUACIÓN RURAL PARTICIPATIVA QUE ASISTIERON Y RECIBIERON EL MANUAL DE CONSERVACIÓN DE SUELO Y AGUA EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ BAJO SOMBRA.
31 DE MAYO Y 1 DE JUNIO DEL 2002

NOMBRE	COMUNIDAD	FIRMA
[illegible]	[illegible]	[illegible]
Pedro Licona Sosa	El Mirasol	
[illegible] Talentino Cruz	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	
[illegible]	Xalapa	
[illegible]	Otatillo	
[illegible]	[illegible]	
[illegible] Talentino Cruz	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	
[illegible] Morales Castro	Tlachichilco	
Gregoria Gabriel Cruz	[illegible]	
Mariano Ramón Trinidad	Monterrey	
Magdalo Macario Margarito	Monterrey	
[illegible]	[illegible]	
Maximo Hernandez [illegible]	Monterrey	(10 manvales)
Norberto Hernandez Cadena	La Guitarra	
Anselmo Rivera Calvan	El coyol	
Ambrosio Talentino Sabino	Otatillo	
Pedro Jacobo [illegible]	Ucco Zapotal	
Ezequiel Talentino Cruz	Chintipan	
Isilio Ribera Joaquín	La Guitarra	

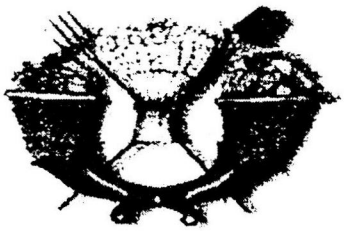
Cuadro A33. Continuación.



RELACIÓN DE PARTICIPANTES EN EL SEGUNDO TALLER DE EVALUACIÓN RURAL PARTICIPATIVA QUE ASISTIERON Y RECIBIERON EL MANUAL DE CONSERVACIÓN DE SUELO Y AGUA EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ BAJO SOMBRA. 31 DE MAYO Y 1 DE JUNIO DEL 2002

NOMBRE	COMUNIDAD	FIRMA
Alberto Martínez Soto	Texca Chigüito	
Carlos Ignacio Linares	Texca Chigüito	
Claudia Martínez Cayetano	Texca Chigüito	
Leticia Soto Pérez	Texca Chigüito	
Marcelina Martínez Soto	Texca Chigüito	
Pedro Hernández Soto	Texca Chigüito	
Francisco Valentín Hernández	Texca Chigüito	
Pimentina Martínez Soto	Texca Chigüito	
Gregorio Gabriel Cruz	V. Rosales	
Perfecto Herrera Hernández	V Rosales	
Fortunato Aquino Ríos	Nva. Chintipan	
Celestina Mina López	El Coyol	
Enrique López Marín	La Guitarra	
Perfecto Herrera Hernandez	V. Rosales	
Roberto Celerino Felipe	V Rosales	
Heimilo Sostenes Filiberto	El Coyol	
Agustín Montiel Ramírez	El Coyol	

Cuadro A33. Continuación.



RELACIÓN DE PARTICIPANTES EN EL SEGUNDO TALLER DE EVALUACIÓN RURAL PARTICIPATIVA QUE ASISTIERON Y RECIBIERON EL MANUAL DE CONSERVACIÓN DE SUELO Y AGUA EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ BAJO SOMBRA.
31 DE MAYO Y 1 DE JUNIO DEL 2002

NOMBRE	COMUNIDAD	FIRMA
Antonia Vera Chavez	La Guitarra	
Pedro Chavez Cristo	La Guitarra	
Luisa Rivera Joaquin	La Guitarra	
Epifanio Mtz. Trinidad	La Guitarra	
Luis Rivera Rufino	El Coyol	
Malesio Fco Vicente	El Coyol	
Valentino Santiago	El Coyol	
Isaias Francisco Tiburcio	El Coyol	
Basilia Hipolito Rios	El Coyol	
Reyna Rivera Martinez	El Coyol	
Agustin Montiel Pastor	El Coyol	
Isidro Emilio Paula	El Coyol	
Esteban Sostenes Paula	El Coyol	
Isidro Rivera Rufino	El Coyol	
José Agustino Apolinar Montiel	El Coyol	
José Cruz Ramirez	El Coyol	
Mauro Reyes Tiburcio	Xalapa	

IMPRENTA ANHER
IMPRESIONES & ENCUADERNACIONES
FRAY PEDRO DE GANTE No. 118-D
TEXCOCO, EDO. DE MEXICO