

**DETERMINACIÓN DE LA DINÁMICA DEL AGUA EN EL SISTEMA
AGROFORESTAL QUESUNGUAL E IDENTIFICACIÓN DE FACTORES
SUELO-PLANTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL
AGUA EN LOS CULTIVOS**

Mariela Rivera Peña

**Trabajo de tesis para optar al título de Doctor en Ciencias Agrarias
con énfasis en Suelos**

Directores

**Edgar Amézquita, Ph.D., CORPOICA
Juan Carlos Menjivar, Ph.D., UNAL- PALMIRA**

Asesor

Idupulapati Rao, Ph.D., CIAT

**En Colaboración con:
CGIAR Challenge Program on Water and Food**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
ESCUELA DE POSGRADOS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS - ENFASIS EN SUELOS
PALMIRA**

Agosto de 2008

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	xxv
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
1. REVISIÓN DE LITERATURA	5
1.1 SISTEMAS AGROFORESTALES	5
1.1.1 Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ)	5
1.1.2 Principios de captura de recursos en agroecosistemas	7
1.1.3 Interacción entre componentes de los sistemas agroforestales	7
1.1.4 Relaciones de agua en los sistemas agroforestales	8
1.1.5 Incremento del uso del agua en los sistemas agroforestales (efectos directos)	9
1.1.6 Mejoramiento de las condiciones de suelo y de microclima en los sistemas agroforestales (efectos indirectos)	10
1.1.7 Uso del agua en los sistemas agroforestales	11
1.1.8 Impacto de la gotas de lluvia en los sistemas agroforestales	12
1.2 BALANCE DE AGUA	12
1.2.1 Precipitación incidente	13
1.2.2 Precipitación neta	13
1.2.3 Interceptación	13
1.2.4 Evapotranspiración	14
1.2.5 Transpiración	14
1.2.6 Evapotranspiración	15
1.2.7 Infiltración y escorrentía	15
1.2.8 Almacenamiento de agua en el suelo	16
1.3 EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA Y PRODUCTIVIDAD DE AGUA DE LOS CULTIVOS	16
1.3.1 Importancia del agua para las plantas	16
1.3.1.1 Requerimiento de agua para el cultivo de maíz	17
1.3.1.2 Requerimiento de agua para el cultivo de fríjol	18
1.3.2 Movimiento del agua a través del continuo suelo-planta-atmósfera	19
1.3.3 Agua disponible para las plantas	19

1.3.4	Eficiencia en el uso del agua	21
1.3.5	Productividad de agua de los cultivos	22
1.3.5.1	Transpiración biomasa y rendimiento	23
1.3.5.2	Evaporación y transpiración	24
1.3.5.3	Productividad de agua como valor por unidad de agua	25
1.3.5.4	Mejoramiento de la productividad de agua con respecto a la evapotranspiración	26
1.3.5.5	Mejoramiento de la fertilidad del suelo	26
1.3.5.6	Reducción de la evapotranspiración	27
1.4	DEGRADACIÓN DE SUELO	28
1.4.1	Pérdida de materia orgánica y degradación física del suelo	29
1.4.2	Agotamiento de nutrientes y degradación química del suelo	30
1.4.3	Erosión de suelo y sedimentación	30
1.4.4	Contaminación de agua	31
1.4.5	Pobreza y sustento	31
1.5	MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE AGUA Y DE SUELO	32
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	33
2.1	LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	33
2.2	DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE USO (TRATAMIENTOS)	33
2.3	CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL SUELO (Línea base)	36
2.3.1	Trabajo de campo	36
2.3.2	Trabajo de laboratorio	37
2.3.2.1	Determinaciones físicas	37
2.3.2.1.1	Muestras no disturbadas	37
2.3.2.1.1.1	Curvas de retención de humedad	37
2.3.2.1.1.2	Conductividad hidráulica saturada	37
2.3.2.1.1.3	Conductividad hidráulica no saturada	38
2.3.2.1.1.4	Permeabilidad al aire	38
2.3.2.1.1.5	Densidad aparente	39
2.3.2.1.1.6	Humedad gravimétrica	39
2.3.2.1.1.7	Humedad volumétrica	40
2.3.2.1.1.8	Porosidad total	40
2.3.2.1.1.9	Distribución de poros	40
2.3.2.1.1.10	Susceptibilidad a la compactación	41

2.3.2.1.1.11	Distribución de agregados estables al agua	41
2.3.2.1.1.12	Distribución de agregados secos al aire	41
2.3.2.1.2	Muestras disturbadas	41
2.3.2.1.2.1	Densidad real	42
2.3.2.1.2.2	Textura	42
2.3.2.2	Determinaciones químicas	42
2.3.2.2.1	Materia orgánica	42
2.3.2.2.2	Calcio, Magnesio y Potasio intercambiables	42
2.3.2.2.3	Fósforo disponible	42
2.3.2.2.4	Cobre, Manganeso, Hierro, Boro y Zinc asimilables	43
2.4	INFILTRACIÓN, ESCORRENTÍA, PERDIDA DE SUELO, SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN Y CALIDAD DE AGUA	43
2.4.1	Evaluación de infiltración, escorrentía, pérdida de suelo y susceptibilidad a erosión, mediante lluvia simulada	43
2.4.1.1	Calibración del minisimulador de lluvia	43
2.4.1.2	Procedimiento en campo	44
2.4.1.3	Determinación del área efectiva	45
2.4.1.4	Determinación de las láminas de agua	45
2.4.1.4.1	Lámina aplicada	45
2.4.1.4.2	Lámina de escorrentía	45
2.4.1.4.3	Lámina que cae fuera del área efectiva	45
2.4.1.4.4	Lámina infiltrada	46
2.4.1.5	Determinación de pérdida de suelo por escorrentía	46
2.4.1.6	Determinación de los índices de erodabilidad K (USLE) y Ki (WEPP)	46
2.4.1.6.1	Índice de erodabilidad, K (USLE)	46
2.4.1.6.2	Índice de erodabilidad, Ki (WEPP)	47
2.4.2	Evaluación de pérdida de suelo y de nutrientes y de calidad de agua, mediante parcelas de escorrentía	48
2.4.2.1	Pérdida de suelo por erosión	49
2.4.2.2	Perdida de suelo nutrientes por erosión	49
2.4.2.3	Calidad de agua de escorrentía	49
2.4.3	Evaluación de calidad de agua domiciliaria y en fuente naturales en la zona de estudio	49
2.4.3.1	Calidad de agua domiciliaria	49
2.4.3.2	Calidad de agua de fuentes naturales	49
2.5	BALANCE DE AGUA	50
2.5.1	Datos climáticos	50
2.5.2	Evapotranspiración	50
2.5.3	Interceptación, Infiltración y Escorrentía	50
2.5.4	Almacenamiento de agua en el suelo	51

2.5.5	Cálculo de evapotranspiración	51
2.5.5.1	Método de Hargreaves	52
2.5.5.1.1	Ajuste local de la evapotranspiración equivalente	54
2.5.5.1.2	Cálculo de la evapotranspiración de los cultivos	54
2.5.5.2	Método Penman-Monteih	55
2.5.5.2.1	Requerimiento de datos	55
2.5.5.2.1.1	Localización	55
2.5.5.2.1.2	Temperatura del aire	56
2.5.5.2.1.3	Humedad del aire	56
2.5.5.2.1.4	Radiación neta	56
2.5.5.2.1.5	Velocidad del viento	56
2.5.5.2.2	Parámetros atmosféricos	57
2.5.5.2.2.1	Presión atmosférica	57
2.5.5.2.2.2	Calor latente de vaporización	57
2.5.5.2.2.3	Constante Sicrométrica	57
2.5.5.2.2.4	Temperatura del aire	58
2.5.5.2.2.5	Presión media de saturación de vapor	58
2.5.5.2.2.6	Pendiente de la curva de la presión de vapor a saturación	58
2.5.5.2.2.7	Presión actual de vapor	59
2.5.5.2.2.8	Déficit de presión de vapor	60
2.5.5.2.3	Parámetros de radiación	60
2.5.5.2.3.1	Radiación extraterrestre	60
2.5.5.2.3.2	Radiación solar o de onda corta	60
2.5.5.2.3.3	Radiación solar a cielo despejado	61
2.5.5.2.3.4	Radiación relativa de onda corta	61
2.5.5.2.3.5	Duración relativa de brillo solar	61
2.5.5.2.3.6	Albedo y Radiación solar neta	62
2.5.5.2.3.7	Radiación neta de onda larga	62
2.5.5.2.3.8	Radiación neta	63
2.5.5.2.3.9	Flujo de calor del suelo	63
2.5.5.2.4	Velocidad del viento	64
2.5.5.2.5	Cálculo de la evapotranspiración de los cultivos de maíz y fríjol	64
2.5.6	Cálculo del balance de agua	65
2.5.7	Rendimiento de los cultivos de maíz y fríjol	66
2.5.7.1	Rendimiento cultivo de maíz	66
2.5.7.2	Rendimiento cultivo de fríjol	66
2.5.8	Cálculo de la productividad de agua de los cultivos de maíz y fríjol	66
2.5.9	Cálculo de la eficiencia de uso de agua de los cultivos de maíz y fríjol	67
2.6	VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA HUMEDAD Y VARIABILIDAD DE DENSIDAD APARENTE, CARBONO ORGÁNICO Y TEXTURA	67
2.6.1	Localización geográfica	67

2.6.2	Muestreo de suelo y análisis de laboratorio	67
2.6.3	Análisis estadístico	68
2.7	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	73
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
3.1	CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL SUELO (Línea base)	74
3.1.1	Propiedades físicas	74
3.1.1.1	Determinaciones en campo	74
3.1.1.1.1	Resistencia tangencial al corte	76
3.1.1.1.2	Conductividad hidráulica saturada	78
3.1.1.2	Determinaciones en laboratorio	78
3.1.1.2.1	Propiedades mecánicas	78
3.1.1.2.1.1	Textura	79
3.1.1.2.1.2	Distribución de agregados secos al aire	80
3.1.1.2.1.3	Distribución de agregados estables en agua	82
3.1.1.2.2	Propiedades volumétricas	86
3.1.1.2.2.1	Densidad aparente	86
3.1.1.2.2.2	Densidad real	86
3.1.1.2.2.3	Porosidad total	86
3.1.1.2.2.4	Porosidad de aireación	87
3.1.1.2.2.5	Permeabilidad al aire	88
3.1.1.2.2.6	Susceptibilidad a la compactación	88
3.1.1.2.3	Propiedades hidráulicas	88
3.1.1.2.3.1	Humedad volumétrica a saturación	88
3.1.1.2.3.2	Humedad volumétrica a capacidad de campo	92
3.1.1.2.3.3	Humedad volumétrica a punto de marchitez permanente	92
3.1.1.2.3.4	Agua aprovechable para las plantas	92
3.1.1.2.4	Propiedades de conducción de humedad	92
3.1.1.2.4.1	Conductividad hidráulica saturada determinada en laboratorio	92
3.1.1.2.4.2	Conductividad hidráulica no saturada	93
3.1.2	Propiedades químicas	95
3.1.2.1	pH	97
3.1.2.2	N-Total	97
3.1.2.3	P-disponible	99
3.1.2.4	C-orgánico	99
3.1.2.5	K-disponible	99
3.1.2.6	Ca y Mg disponible	100
3.1.2.7	B	102
3.1.2.8	Fe	102
3.1.2.9	Mn	102
3.1.2.10	Cu y Zn	104

3.2	INFILTRACIÓN, ESCORRENTÍA, PÉRDIDA DE SUELO, SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN Y CALIDAD DE AGUA	105
3.2.1	Evaluación de infiltración, escorrentía y pérdida de agua mediante lluvia simulada	105
3.2.1.1	Lámina infiltrada	105
3.2.1.2	Lámina de escorrentía	111
3.2.1.3	Pérdida de suelo	115
3.2.1.4	Relación entre escorrentía e infiltración	115
3.2.1.5	Contenido de humedad de suelo	118
3.2.1.6	Evaluación de susceptibilidad a la erosión	119
3.2.2	Evaluación de pérdida de suelo, de nutrientes y calidad de agua en parcelas de escorrentía	121
3.2.2.1	Perdida de suelo	123
3.2.2.2	Perdida de nutrientes por erosión hídrica	127
3.2.2.3	Calidad de agua de escorrentía	131
3.2.3	Calidad de agua domiciliar y fuentes naturales del área de influencia del estudio	135
3.2.3.1	Calidad de agua domiciliar	135
3.2.3.2	Calidad de agua de fuentes naturales	137
3.3	BALANCE DE AGUA	139
3.3.1	Componentes del balance de agua	139
3.3.1.1	Precipitación	139
3.3.1.2	Evapotranspiración	143
3.3.1.2.1	Evapotranspiración para el cultivo de maíz	143
3.3.1.2.2	Evapotranspiración para el cultivo de frijol	144
3.3.1.3	Escorrentía, interceptación y drenaje	147
3.3.1.3.1	Escorrentía, interceptación y drenaje para cultivo de maíz	147
3.3.1.3.2	Escorrentía, interceptación y drenaje para cultivo de frijol	148
3.3.1.4	Diferencia en el contenido de humedad de suelo	150
3.3.1.4.1	Diferencia en el contenido de humedad de suelo en el cultivo de maíz	150
3.3.1.4.2	Diferencia en el contenido de humedad de suelo en el cultivo de frijol	151
3.3.2	Comparación del balance de agua para de los períodos de desarrollo de los cultivos de maíz y frijol	152
3.3.2.1	Comparación del balance hídrico para de los períodos de desarrollo del cultivo de maíz	152
3.3.2.2	Comparación del balance hídrico para de los períodos de desarrollo del cultivo de frijol	157
3.3.2.3	Comparación del balance hídrico total de los cultivos de maíz y frijol	161

3.4	ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA LOS CULTIVOS DE MAÍZ Y FRÍJOL	165
3.4.1	Almacenamiento de agua en el suelo para el cultivo de Maíz	165
3.4.2	Almacenamiento de agua en el suelo para el cultivo de Fríjol	119
3.5	CONTENIDO DE AGUA DISPONIBLE PARA LAS PLANTAS	181
3.6	RENDIMIENTO DE CULTIVOS MAÍZ Y FRÍJOL	190
3.6.1	Rendimiento del cultivo de Maíz	191
3.6.2	Rendimiento del cultivo de Fríjol	193
3.7	PRODUCTIVIDAD DE AGUA Y EFICIENCIA EN SU USO POR LOS CULTIVOS	196
3.7.1	Índice de cosecha y productividad para el cultivo de maíz	196
3.7.1.1	Índice de cosecha para el cultivo de maíz	196
3.7.1.2	Productividad de agua para el cultivo de maíz	196
3.7.2	Índice de cosecha y productividad para el cultivo de fríjol	198
3.7.2.1	Índice de cosecha para el cultivo de fríjol	198
3.7.2.2	Productividad de agua para el cultivo de fríjol	200
3.7.3	Comparación de los índices de cosecha de maíz y fríjol	201
3.7.4	Comparación de la productividad de agua de maíz y fríjol	201
3.7.5	Eficiencia en el uso del agua de los cultivos maíz y fríjol	204
3.8	VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA HUMEDAD Y VARIABILIDAD DE DENSIDAD APARENTE, CARBONO ORGÁNICO Y TEXTURA	206
3.8.1	Estadística descriptiva	206
3.8.2	Variación temporal y espacial de la humedad volumétrica entre sistemas de uso y en profundidad	210
3.8.3	Análisis de la estructura espacial	214
3.8.4	Mapas de contorno	217
3.8.5	Autocorrelación espacial	223
4.	CONCLUSIONES	227

5.	RECOMENDACIONES	230
6.	BIBLIOGRAFÍA	231
7.	ANEXOS	244

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla		Pág.
1	Distribución de las clases texturales, de su frecuencia de ocurrencia y del rango de valores porcentuales de arena, limo y arcilla (0 a 40 cm de profundidad) en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), de <2, 5-7 y >10 años y Bosque secundario (BS). Candelaria, Honduras, 2005.	79
2	Valores promedio de distribución de tamaño de agregados de 0 a 40 cm de profundidad, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años y Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2005.	80
3	Valores promedio de distribución de tamaño de agregados estables en agua, correspondientes a la línea base, de 0 a 40 cm de profundidad en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años y Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2005.	82
4	Valores promedio de parámetros físicos correspondientes a la línea base, de 0 a 40 cm de profundidad en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años y Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2005.	84
5	Valores promedio de distribución de parámetros químicos, correspondientes a la línea base, de 0 a 40 cm de profundidad en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años y Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras, 2005.	86
6	Valores de parámetros obtenidos con el simulador de lluvia, durante la época lluviosa, a las intensidades de 80 y 115 mm ha ⁻¹ , con y sin aplicación de fertilizante, en los sistemas evaluados. Candelaria, Honduras. 2007.	97

7	Valores de parámetros obtenidos con el simulador de lluvia, durante la época seca, a las intensidades de 80 y 115 mm ha ⁻¹ , con y sin aplicación de fertilizante, en los sistemas evaluados. Candelaria, Honduras. 2007.	107
8	Correlaciones entre los índices de erodabilidad K-USLE y Ki-WEPP y parámetros evaluados con lluvia simulada, propiedades físicas y químicas del suelo. Candelaria, Honduras. 2007.	108
9	Valores promedio de suelo perdido (t ha ⁻¹), concentración de nutrientes (mg kg ⁻¹) y nutrientes perdidos (kg ha ⁻¹), en parcelas de escorrentía durante 2007.	123
10	Valores promedio de los componentes del balance de agua en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, manejados con (+F) y sin fertilización (-F) y en el Bosque Secundario (BS). Cultivo de Maíz. Candelaria, Honduras, 2007.	130
11	Valores promedio de los componentes del balance de agua en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, manejados con (+F) y sin fertilización (-F) y en el Bosque Secundario (BS). Cultivo de Frijol. Candelaria, Honduras, 2007.	141
12	Valores promedio de los componentes del balance de agua en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, manejados con (+F) y sin fertilización (-F) y en el Bosque Secundario (BS). Cultivo de Maíz. Siembra a Floración. Candelaria, Honduras, 2007.	142
13	Valores promedio de los componentes del balance de agua en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, manejados con (+F) y sin fertilización (-F) y en el Bosque Secundario (BS). Cultivo de Maíz. Floración a Llenado de Grano. Candelaria, Honduras, 2007.	155
14	Valores promedio de los componentes del balance de agua en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, manejados con (+F) y sin fertilización (-F) y en el Bosque Secundario (BS). Cultivo de Maíz. Llenado de Grano a Madurez fisiológica. Candelaria, Honduras, 2007.	156

15	Valores promedio de los componentes del balance de agua en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, manejados con (+F) y sin fertilización (-F) y en el Bosque Secundario (BS). Cultivo de Frijol. Siembra a Floración. Candelaria, Honduras, 2007.	157
16	Valores promedio de los componentes del balance de agua en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, manejados con (+F) y sin fertilización (-F) y en el Bosque Secundario (BS). Cultivo de Frijol. Floración a Llenado de Grano. Candelaria, Honduras, 2007.	159
17	Valores promedio de los componentes del balance de agua en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, manejados con (+F) y sin fertilización (-F) y en el Bosque Secundario (BS). Cultivo de Frijol. Llenado de Grano a Madurez fisiológica. Candelaria, Honduras, 2007.	160
18	Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años y Bosque secundario (BS). Cultivo de Maíz. Con (+) y sin (-F) Fertilización. Candelaria, Honduras. 2007.	162
19	Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años y Bosque secundario (BS). Cultivo de Frijol. Con (+) y sin (-F) Fertilización. Candelaria, Honduras. 2007.	163
20	Valores promedio de contenido de humedad volumétrica ($m^3 m^{-3}$) en el cultivo de maíz, en floración, llenado de grano y madurez fisiológica. Candelaria, Honduras, 2007.	166
21	Valores promedio de contenido de humedad, expresada como lámina acumulada de agua (mm), de 0-40, 40 a 100 y de 0 a 100 cm de profundidad, en floración, llenado de grano y madurez fisiológica. Cultivo de maíz. Candelaria, Honduras, 2007.	168
22	Resultados obtenidos con la prueba de Duncan, para diferencias entre medias de lámina acumulada de agua (mm), de 0 a 40, de 40 a 100 y de 0 a 100 cm de profundidad, en floración, llenado de grano y madurez fisiológica. Cultivos maíz y frijol. Candelaria, Honduras, 2007.	170

23	Valores promedio de Lámina de Agua y Lámina acumulada en profundidad, Vegetativo 4. Cultivo de Maíz. Candelaria, Honduras. 2007.	171
24	Valores promedio de Lámina de Agua y Lámina acumulada en profundidad, Floración, Cultivo de Maíz. Candelaria, Honduras. 2007.	172
25	Valores promedio de Lámina de Agua y Lámina acumulada en profundidad, Llenado de grano, Cultivo de Maíz. Candelaria, Honduras. 2007.	173
26	Valores promedio de Lámina de Agua y Lámina acumulada en profundidad, Madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, Candelaria, Honduras. 2007.	174
27	Valores promedio de contenido de humedad volumétrica ($m^3 m^{-3}$) en el cultivo de frijol en floración, llenado de grano y madurez fisiológica. Candelaria, Honduras, 2007.	179
28	Valores promedio de contenido de humedad, expresada como lámina acumulada de agua (mm), de 0-40, 40 a 100 y de 0 a 100 cm de profundidad, en floración, llenado de grano y madurez fisiológica. Cultivo de frijol. Candelaria, Honduras, 2007.	182
29	Valores promedio de Lámina de Agua y Lámina acumulada en profundidad, Floración, Cultivo de Frijol. Candelaria, Honduras. 2007.	183
30	Valores promedio de Lámina de Agua y Lámina acumulada en profundidad, Llenado de grano, Cultivo de Frijol, Candelaria, Honduras. 2007.	184
31	Valores promedio de Lámina de Agua y Lámina acumulada en profundidad, Madurez fisiológica. Cultivo de Frijol, Candelaria, Honduras. 2007.	185
32	Valores promedio de índice de Cosecha y Productividad de Agua, para el cultivo de Maíz, en los Sistemas de Producción. Candelaria, Honduras. 2007.	197
33	Valores promedio de Biomasa, Producción y Productividad de Agua, para el cultivo de Frijol, en los sistemas de Producción. Candelaria, Honduras. 2007.	199
34	Estadística descriptiva para contenido volumétrico de	212

humedad (%), en los sistemas: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ<3) y Bosque Secundario (BS), de 0 -5, 5-10, 10-20 y 20-40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

- | | | |
|----|---|-----|
| 35 | Estadística descriptiva para: Densidad aparente (Da), Carbono orgánico (CO), Arena y Arcilla, en los sistemas: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ<3) y Bosque Secundario (BS), de 0 -5, 5-10, 10-20 y 20-40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006. | 213 |
| 36 | Parámetros del semivariograma para: Humedad volumétrica (HV), Densidad aparente (Da), Carbono orgánico (CO), Arena y Arcilla de 0 -5, 5-10, 10-20 y 20-40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006. | 215 |

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Localización geográfica del área de estudio y ubicación de los sistemas de uso de suelo. Candelaria, Honduras.	34
2	Altura sobre el nivel del mar, pendiente y pedregosidad en los sistemas: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), las edades (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque secundario (BS), por repetición. Candelaria, Honduras, 2005.	35
3	Distribución del muestreo en tiempo y espacio en el transecto en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ<2) y Bosque Secundario (BS). Candelaria, Lempira.Honduras, 2006.	70
4	Valores promedio de resistencia tangencial al corte en los sistemas de uso del suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras, 2005.	76
5	Valores promedio de conductividad hidráulica saturada, determinada en campo, en los Sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras, 2005.	77
6	Valores promedios de contenido de arena, limo y arcilla, en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque Secundario (BS), de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.	80
7	Valores promedios de densidad aparente y densidad real, en los Sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque Secundario (BS), de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.	87
8	Distribución porcentual de la fracción sólida, líquida y gaseosa del suelo a capacidad de campo, a la profundidad	89

	de 0 a 40 cm, en los sistemas: Tala y Quema (TQ), SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque secundario (BS). Candelaria, Honduras, 2005.	
9	Valores promedio de susceptibilidad a compactación y porosidad residual en los sistemas: Tala y Quema (TQ), SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y en Bosque Secundario, BS de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.	90
10	Curvas de retención de humedad y parámetros de ajuste al modelo Harris, en los sistemas: Tala y Quema (TQ), SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y en Bosque Secundario (BS), de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.	91
11	Valores promedio de conductividad hidráulica saturada, en los sistemas de uso: Tala y Quema, TQ, SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y en Bosque Secundario (BS), de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.	93
12	Valores promedio de conductividad hidráulica no saturada, en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque Secundario (BS), de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.	94
13	Valores promedio de pH, N-Total, C y P en los sistemas: Tala y Quema (TQ), SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque Secundario (BS), de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.	98
14	Valores promedios de contenido K, Ca, Mg y B, en los sistemas: Tala y Quema (TQ), SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque Secundario (BS) de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.	101
15	Valores promedios de contenido Fe, Mn, Cu y Zn en los sistemas: Tala y Quema (TQ), SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque Secundario, BS de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.	103
16	Valores promedios acumulados de lámina infiltrada (mm), en 30 minutos a 80 y 115 mm h ⁻¹ de intensidad en los sistemas, con y sin fertilización en época lluviosa. Candelaria, Honduras, 2006.	108
17	Valores promedios acumulados de lámina infiltrada (mm), en 30 minutos a 80 y 115 mm h ⁻¹ de intensidad en los	110

	sistemas con y sin fertilización en época seca. Candelaria, Honduras, 2006.	
18	Valores de lámina de escorrentía acumulada (mm/30 minutos), en época lluviosa a la intensidad 80 y 115 mm h ⁻¹ , para los sistemas con y sin fertilización. Candelaria, Honduras, 2006.	112
19	Valores promedios acumulados de lámina de escorrentía (mm), en 30 minutos a 80 y 115 mm h ⁻¹ de intensidad en los sistemas con y sin fertilización en época seca. Candelaria, Honduras, 2006.	114
20	Valores de lámina de escorrentía vs. lámina infiltrada acumulada (mm/30 minutos), en época lluviosa con el simulador de lluvia, intensidad 80 y 115 mm h ⁻¹ , en los sistemas con y sin fertilización. Candelaria, Honduras, 2006.	116
21	Valores de lámina de escorrentía vs. lámina infiltrada acumulada (mm/30 minutos), en época seca con el simulador de lluvia a intensidad 80 y 115 mm h ⁻¹ , en los sistemas con y sin fertilización. Candelaria, Honduras, 2006.	117
22	Valores promedio de suelo perdido (t ha ⁻¹), en parcelas de escorrentía durante 2005, 2006 y 2007. Sistemas de producción con fertilización. Candelaria, Honduras, 2007.	125
23	Valores promedio de suelo perdido (t ha ⁻¹), en parcelas de escorrentía durante 2005, 2006 y 2007. Sistemas de producción sin fertilización y en el bosque secundario. Candelaria, Honduras, 2007.	126
24	Valores promedio de suelo perdido (t ha ⁻¹), parcelas de escorrentía durante 2005, 2006 y 2007. Sistemas de producción y Bosque secundario. Candelaria, Honduras, 2007.	127
25	Valores de parámetros de calidad de agua de las parcelas de escorrentía. Sistemas de producción, con fertilización. (La línea, corresponde a valores promedios). Candelaria, Honduras, 2007.	133
26	Valores de parámetros de calidad de agua de las parcelas de escorrentía. Sistemas de producción, sin fertilización.	134

(La línea, corresponde a valores promedios). Candelaria, Honduras, 2007.

27	Valores de parámetros de calidad en agua domiciliaria en las comunidades de Camapara, Portillo Flor, El Obrajito, Quesungual, Gualmuraca y San Lorenzo. Candelaria, Honduras, 2007.	136
28	Valores de parámetros de calidad en agua en fuentes naturales, influencia del área del estudio. Candelaria, Honduras, 2007.	138
29	Valores promedio de humedad volumétrica ($m^3 m^{-3}$) y lámina de agua (mm), Vegetativo 4, Cultivo Maíz. Candelaria, Honduras. 2007.	175
30	Valores promedio de humedad volumétrica ($m^3 m^{-3}$) y lámina de agua (mm), Floración, Cultivo de Maíz. Candelaria, Honduras, 2007.	176
31	Valores promedio de humedad volumétrica ($m^3 m^{-3}$) y lámina de agua (mm), llenado de grano, Cultivo de Maíz. Candelaria, Honduras, 2007.	177
32	Valores promedio de humedad volumétrica ($m^3 m^{-3}$) y lámina de agua (mm). Madurez fisiológica, Cultivo Maíz. Candelaria, Honduras, 2007.	178
33	Valores promedio de humedad volumétrica ($m^3 m^{-3}$) y lámina de agua (mm). Floración, Cultivo Fríjol. Candelaria, Honduras. 2007.	186
34	Valores promedio de humedad volumétrica ($m^3 m^{-3}$) y lámina de agua (mm). Llenado de grano, Cultivo Fríjol. Candelaria, Honduras. 2007.	187
35	Valores promedio de humedad volumétrica ($m^3 m^{-3}$) y lámina de agua (mm), madurez fisiológica, Cultivo Fríjol. Candelaria, Honduras, 2007.	188
36	Valores promedio de contenido de agua disponible de 0 a 40 cm de profundidad, en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, en las épocas seca y lluviosa. Candelaria, Honduras, 2007.	190

37	Diferencias en rendimiento de grano de maíz, con (+F) y sin (-F) aplicación de fertilizante de 2005 a 2007, en los sistemas: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años. Candelaria, Honduras.	192
38	Diferencia en rendimiento de grano de frijol, con (+F) y sin (-F) aplicación de fertilizante de 2005 a 2007, en los sistemas: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años. Candelaria, Honduras.	194
39	Diferencias en productividad de agua para los cultivos de maíz y frijol con (+F) y sin (-F) aplicación de fertilizante en el sistema tradicional de Tala y Quema (TQ), el Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), de (<2, 5-7 y >10 años). Candelaria, Honduras.	203
40	Parámetros de estadística descriptiva, (frecuencia, frecuencia acumulada y ln de la frecuencia acumulada) para contenido de humedad volumétrica de 0 a 5 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.	206
41	Parámetros de estadística descriptiva, (frecuencia, frecuencia acumulada y ln de la frecuencia acumulada) para contenido de humedad volumétrica de 5 a 10 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.	207
42	Parámetros de estadística descriptiva, (frecuencia, frecuencia acumulada y ln de la frecuencia acumulada) para contenido de humedad volumétrica de 10 a 20 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.	208
43	Parámetros de estadística descriptiva, (frecuencia, frecuencia acumulada y ln de la frecuencia acumulada) para contenido de humedad volumétrica de 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.	209
44	Modelos ajustados a los semivariogramas, para contenido de humedad volumétrica (%) a las profundidades de 0 a 5, de 5 a 10, de 10 a 20 y de 20 a 40 cm. Candelaria, Honduras, 2006.	216
45	Mapa de contorno para contenido humedad volumétrica (%), de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.	218

46	Mapa de contorno para densidad aparente (g cm^{-3}) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.	219
47	Mapa de contorno para contenido de carbono orgánico (%) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.	220
48	Mapa de contorno para contenido de arena (%) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.	221
49	Mapa de contorno para contenido de arcilla (%) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.	222
50	Autocorrelograma (Índice de Moran) para contenido humedad volumétrica (%) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.	223
51	Autocorrelograma (Índice de Moran) para densidad aparente (g cm^{-3}) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.	224
52	Autocorrelograma (Índice de Moran) para carbono orgánico (%) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.	224
53	Autocorrelograma (Índice de Moran) para contenido de arena (%) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.	225
54	Autocorrelograma (Índice de Moran) para contenido de arcilla (%) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.	225

ANEXOS

Anexo		Pág.
1	ANEXO 1	
1.1	Correlaciones múltiples entre propiedades físicas, químicas é índices de erodabilidad, durante las épocas lluviosa y seca.	246
2	ANEXO 2	
2.1	Valores promedio de los parámetros de calidad agua en parcelas de escorrentía en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual, SAQ de (<2, 5-7 y >10 años). Candelaria, Honduras 2007.	255
3	ANEXO 3	
3.1	Valores totales de evapotranspiración (mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del maíz en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.	257
3.2	Valores totales de evapotranspiración (mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del fríjol en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.	257
3.3	Valores totales de escorrentía, interceptación y drenaje (mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del maíz en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.	258
3.4	Valores totales de escorrentía, interceptación y drenaje (mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del fríjol en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.	258
3.5	Valores totales de diferencia en el contenido de humedad (mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del maíz en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.	259
3.6	Valores totales de diferencia en el contenido de humedad	259

(mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del frijol en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.

4	ANEXO 4	
4.1	Cuantificación de los Componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, Tala y Quema (TQ). Candelaria, Honduras. 2007.	261
4.2	Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ<2). Candelaria, Honduras. 2007.	262
4.3	Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ 5-7). Candelaria, Honduras. 2007.	263
4.4	Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ>10). Candelaria, Honduras. 2007.	264
4.5	Cuantificación de los componentes del Balance de Agua en el Bosque Secundario (BS), para los períodos de evaluación del cultivo de Maíz. Candelaria, Honduras. 2007.	265
5	ANEXO 5	
5.1	Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Frijol, Tala y Quema (TQ). Candelaria, Honduras. 2007.	267
5.2	Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Frijol, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ<2). Candelaria, Honduras. 2007.	268

5.3	Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Fríjol, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ 5-7). Candelaria, Honduras. 2007.	269
5.4	Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Fríjol, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ>10). Candelaria, Honduras. 2007.	270
5.5	Cuantificación de los componentes del Balance de Agua en el Bosque Secundario (BS), para los períodos de evaluación del cultivo de Fríjol. Candelaria, Honduras. 2007.	271
6	ANEXO 6	
6.1	Valores promedio de humedad volumétrica ($m^3 m^{-3}$) en profundidad, Vegetativo 4, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.	273
6.2	Valores promedio de humedad volumétrica ($m^3 m^{-3}$) en profundidad, Floración, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.	274
6.3	Valores promedio de humedad volumétrica ($m^3 m^{-3}$) en profundidad, Llenado de grano, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.	275
6.4	Valores promedio de humedad volumétrica ($m^3 m^{-3}$) en profundidad, madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria,	276

Honduras. 2007.

7	ANEXO 7	
7.1	Valores promedio de humedad volumétrica ($m^3 m^{-3}$) en profundidad, Floración, Cultivo de Fríjol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.	278
7.2	Valores promedio de humedad volumétrica ($m^3 m^{-3}$) en profundidad, Llenado de grano, Cultivo de Fríjol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.	279
7.3	Valores promedio de humedad volumétrica ($m^3 m^{-3}$) en profundidad, madurez fisiológica, Cultivo de Fríjol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.	280
8	ANEXO 8	
8.1	Valores promedio de Lámina de agua (mm) en profundidad, Vegetativo 4, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.	282
8.2	Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, Floración, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.	283
8.3	Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, Llenado de grano, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.	284

8.4	Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.	285
9	ANEXO 9	
9.1	Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, Floración, Cultivo de Fríjol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.	287
9.2	Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, Llenado de grano, Cultivo de Fríjol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.	288
9.3	Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, madurez fisiológica, Cultivo de Fríjol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.	289
10	ANEXO 10	
10.1	Correlaciones múltiples entre humedad volumétrica, densidad aparente, carbono orgánico, arena, limo y arcilla de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad .Variabilidad espacial. Candelaria, Honduras, 2006.	291
11	ANEXO 11	
11.1	Correlaciones múltiples entre variables de suelo, clima y planta para el cultivo de Maíz. Candelaria, Honduras, 2006.	304
11.2	Correlaciones múltiples entre variables de suelo, clima y planta para el cultivo de Fríjol. Candelaria, Honduras, 2006.	305

RESUMEN

La degradación del suelo es uno de los principales problemas asociados con la agricultura tropical, causante de la reducción de la productividad agrícola y de la calidad de los productos y de la disminución de la capacidad regulatoria del ambiente. La pérdida de la calidad de los suelos tiene un fuerte impacto en puntos críticos como la seguridad alimentaria, la disminución de la cantidad y la calidad del recurso agua, la pérdida de la biodiversidad y el cambio climático global. El Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) fue la base fundamental para mejorar las condiciones de vida de los productores del Sur de Lempira en Honduras, considerada hacia 1990, la región más pobre del país. El SAQ es una alternativa a la práctica tradicional de tala y quema (TQ); los agricultores que usan el SAQ en laderas, reconocen como una de sus principales ventajas la mayor capacidad de retención de humedad en el suelo, factor que se ha manifestado en menores pérdidas de cosecha en comparación con las regiones donde se practica la agricultura tradicional.

El presente trabajo tuvo como objetivos: (i) establecer la línea base del sistema, mediante la caracterización físico-química del suelo y (ii) determinar el efecto de la cobertura en la variabilidad espacial y temporal de la humedad del suelo, la susceptibilidad a la erosión, el balance y productividad de agua para los cultivos y la pérdida de suelo y de nutrientes y en la calidad de agua. El área de estudio está localizada en el Municipio de Candelaria, Honduras (14°04'60" N, 88°34'00" O), en la sub-cuenca del Río Lempa, Departamento de Lempira. Esta región (Entisoles pedregosos con bajo contenido de P disponible y de materia orgánica) está clasificada como Trópico sub-húmedo (precipitación promedio anual de 1400 mm, una estación seca de seis meses). En abril de 2005 parcelas de campo fueron establecidas para la comparación de 5 tratamientos: El SAQ de diferentes edades (<2, 5-7 y >10 años); el sistema TQ; y el Bosque Secundario (BS). Los sistemas de producción fueron manejados

con y sin fertilización. Mediciones de la dinámica de agua fueron realizadas durante los tres períodos de crecimiento de los cultivos asociados de maíz y frijol en los años de 2005 a 2007. El sistema TQ, en época lluviosa y seca, presentó valores de los índices de erodabilidad que representan 2.2 veces más susceptibilidad a la erosión que el SAQ y 3.5 veces más susceptibilidad con respecto al BS. Las parcelas de escorrentía mostraron que entre los sistemas de producción, las mayores pérdidas de suelo ocurrieron en TQ con valores promedio (con y sin fertilización) de 41.3, 18.2 y 3.4 t ha⁻¹, para los años 2005, 2006 y 2007, respectivamente. La productividad de agua promedio en los sistemas de producción con fertilización para el cultivo de maíz fue 0.29 kg m⁻³ y para el cultivo de frijol 0.21 kg m⁻³. Los resultados obtenidos indicaron que el sistema SAQ mejora la infiltración y el agua aprovechable para los cultivos mientras disminuye la pérdida de suelo y de nutrientes y la escorrentía comparado con el sistema TQ. La más relevante conclusión del estudio fue el mejoramiento de la productividad de agua para el cultivo de frijol, particularmente en época seca en el SAQ comparado con TQ.

Este trabajo fue parcialmente financiado por el Programa de Reto de la Producción de Agua y Alimentos del CGIAR

Palabras claves: Erosión, productividad de agua en los cultivos, sequía, sistemas agroforestales

SUMMARY

Soil degradation is one of the main problems associated with tropical agriculture causing reduction on agricultural productivity and product quality and decreasing the regulatory capacity of the environment. Loss of soil quality has a transcendental impact on critical issues such as food security, water availability and quality, loss of biodiversity and global climate change. Quesungual Slash and Mulch Agroforestry System (QSMAS) has been fundamental to improve productivity of the traditional maize-bean system and livelihoods of farmers in the southern region of the department of Lempira. The QSMAS system is an alternative to the traditional SB system. Farmers practicing QSMAS do recognize as one of its main advantages is the higher water storage capacity in the soil. The higher amounts of available water in soil during the dry season minimize crop yield losses, particularly for beans in the maize-bean rotation, compared to regions where traditional SB system is being practiced. (FAO, 2002). The main objective of this study was to achieve an improved understanding of the principles that regulate water dynamics in QSMAS. The specific objectives were to (i) determine and quantify the components involved in water dynamics, (ii) measure their changes in relation to land cover (trees, shrubs, crops and mulch), management practices (no slash and burn, no tillage, slash, prune and fertilization) and their interactions with soil and climate, (iii) understand how water is regulated during events of rainfall and during long dry season, and (iv) to generate recommendations for evaluation and adoption of the system in other tropical and sub-tropical regions with similar biophysical and socioeconomic characteristics. The system SB, showed levels of the indices of erodability representing 2.2 times more susceptible to erosion that QSMAS and 3.5 times more susceptible respect BS. The plots erosion showed that runoff between production systems, the greatest loss of soil occurred in SB with average values (with and without fertilization) of 41.3, 18.2 and 3.4 t ha⁻¹ for 2005, 2006 and 2007 respectively. The average productivity of water in production systems with fertilizer for maize was 0.29 kg m⁻³ and for the beans

common was 0.21 kg m^{-3} . The results indicated that the QSMAS system improves infiltration and water were for crops while reducing the loss of soil and nutrient runoff and compared with the SB. The most important finding of the study was improving the productivity of water for the cultivation of beans, particularly during the dry season in the QSMAS compared with SB.

Keywords: erosion, water productivity in crops, drought, agro-forestry systems

INTRODUCCIÓN

La degradación del recurso suelo es uno de los principales problemas relacionados con la agricultura (disminución en productividad y en calidad) y con el medio ambiente (pérdida de la capacidad regulatoria). La trascendencia del deterioro del recurso suelo radica en que tiene un fuerte impacto en puntos críticos como la seguridad alimentaria, la disminución de la cantidad y de la calidad del recurso agua, la pérdida de la biodiversidad y el cambio climático global.

En Honduras el paisaje es predominantemente de ladera, con presencia de valles, donde la producción de cultivos y la ganadería han sido severamente afectados por los largos períodos de sequía. El sistema de producción agrícola de tala y quema ocasiona la remoción de la cobertura del suelo, lo cual lo hace susceptible a procesos de erosión, resultando en continuas pérdidas de su capacidad productiva, con fuerte impacto en la calidad de agua en la parte baja de las cuencas. El problema de la seguridad alimentaria es particularmente agudo en las áreas rurales, donde la mayoría de familias no tienen los recursos necesarios para producir u obtener sus requerimientos alimenticios diarios y donde el acceso a servicios básicos como salud, educación, agua y saneamiento básico es limitado. Particularmente el Departamento de Lempira fue considerado la región más pobre de Honduras a comienzos de 1990 (FAO, 2005).

La agricultura es de subsistencia, fundamentalmente de granos básicos (maíz, frijol y sorgo) cultivados en pendiente, en un área que representa el 85% del área cultivada en el país. La degradación de las laderas debido a la agricultura intensiva y a la falta de cobertura vegetal ha incrementado la fragilidad del paisaje, haciendo al país vulnerable a desastres naturales como el ocurrido en 1998 con el Huracán Mitch, cuando los cultivos y la infraestructura rural fueron destruidos y los ingresos rurales cayeron drásticamente (FAO, 2005).

El SAQ ha mostrado ser un sistema capaz de mejorar la seguridad alimentaria y de mantener la calidad de los recursos en laderas de las regiones subhúmedas de Honduras. Entre las muchas ventajas que los agricultores perciben del SAQ, está el mejoramiento del agua disponible en el suelo para los cultivos en épocas de sequía (Hellin *et al.*, 1999).

El SAQ es una alternativa al manejo de TQ; está basado en la siembra en asocio de cultivos anuales (maíz, sorgo y frijol), pasturas y árboles, y el manejo de podas de árboles y del “mulch”. Este sistema, combina la regeneración natural del bosque con no-quema y la siembra directa en el suelo permanentemente cubierto. Se estima que más de 6.000 agricultores, en un área de 7.000 hectáreas, que han adoptado el SAQ en los últimos diez años en Honduras, han incrementado la producción de sus cultivos en más del 100% (maíz de 1200 a 2500 kg ha⁻¹, frijol 325 a 800 kg ha⁻¹) en comparación el sistema tradicional de tala y quema (FAO, 2002).

Además de la marcada contribución a la seguridad alimentaria, el SAQ ha mostrado un alto grado de resiliencia a extremados déficits y excesos de agua durante las catástrofes naturales como el Fenómeno del Niño en 1977 y el Huracán Mitch en 1998.

La resiliencia del sistema SAQ ha sido atribuida entre otros factores, a la cobertura permanente que protege el suelo de la intensidad de las gotas de lluvia y minimiza la evaporación. Al mismo tiempo, los residuos superficiales favorecen el ciclaje de nutrientes, mejorando la fertilidad y el mayor almacenamiento de carbono en el suelo.

El SAQ tiene un gran potencial para ser adoptado por agricultores pobres en áreas similares de ladera de América Latina, África y Asia. Se espera una rápida adopción del SAQ en El Salvador, Guatemala y Nicaragua. Sin embargo, es esencial definir los mecanismos de resiliencia asociados con la

conservación de agua en el sistema. El SAQ ha sido promovido por la FAO y organizaciones locales como un sistema de conservación de agua y de suelo; pero poco se sabe de las fuerzas que lo direccionan y de los principios biofísicos y socioeconómicos para su adopción por los agricultores.

El objetivo de éste estudio es lograr una mayor comprensión de los principios que rigen la dinámica del agua en el SAQ, para lo cual es necesario definir y cuantificar sus componentes y la forma como éstos son afectados por la cobertura del sistema (árboles, arbustos, cultivos y “mulch”) y por las prácticas de manejo (no-quema, no-labranza, tala, poda y fertilización); además establecer sus interacciones con el suelo y la atmósfera, con el fin de entender la regulación del agua, tanto en la época de extrema sequía como en los eventos de exceso de precipitación.

Finalmente el estudio tiene como propósito generar recomendaciones para evaluar y adoptar el sistema en regiones tropicales y subtropicales con características biofísicas y socioeconómicas similares.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar la dinámica del agua en el Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) e identificar factores suelo-planta para el mejoramiento de la productividad del agua en los cultivos, en el sur de Lempira, Honduras, Centro América.

Objetivos Específicos

Determinar las propiedades físicas que regulan la aceptación, el almacenamiento y la redistribución del agua en el suelo.

Evaluar la susceptibilidad a riesgos de erosión y la calidad de agua en el sistema.

Cuantificar los componentes del balance hídrico (precipitación, interceptación, escorrentía, drenaje, evapotranspiración y cambio en el almacenamiento en el suelo) y la transferencia de agua en el sistema.

Determinar la variabilidad espacial y temporal de la humedad del suelo y la variabilidad espacial de la densidad aparente, el contenido de carbono orgánico y la textura.

Evaluar las ventajas y/o restricciones biofísicas del sistema, que permitirían su aplicación en áreas de laderas susceptibles a erosión y deficientes en el recurso agua.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 SISTEMAS AGROFORESTALES

La agroforestería es el conjunto de técnicas de manejo de suelos, que implica la combinación de árboles con ganadería o con cultivos, las especies perennes maderables son usadas simultáneamente en la misma unidad de manejo de los cultivos agrícolas, en alguna forma de arreglo espacial o secuencia temporal (Raintree, 1987).

1.1.1 Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ)

Las laderas son ecosistemas muy importantes en América Central. La condición de pendiente de la topografía, modifica el flujo del agua y el movimiento de los nutrientes, en comparación con las áreas planas. En Honduras, las laderas cubren más del 80% del país, donde viven alrededor de cuatro millones de personas, cifra equivalente al 60% de la población total. En estas áreas se produce más del 75% de los granos básicos (maíz y frijol) y el 67% de los cultivos perennes, especialmente café (Scherr, 2000).

El estancamiento de la producción agrícola del país durante los últimos diez años y el crecimiento acelerado de la población han ocasionado la expansión de la agricultura de subsistencia hacia las zonas altas de ladera, cubiertas originariamente de bosques primarios. Esto ha causado altas tasas de deforestación y pérdidas de suelo y agua por erosión y escorrentía, situación agravada debido al uso continuo de la quema y la inherente susceptibilidad de la región a condiciones extremas de sequía y/o inundaciones (MIS, 2005).

El Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), ha mostrado ser un sistema capaz de mejorar la seguridad alimentaria y de mantener la calidad de los recursos en las laderas de las regiones subhúmedas de Honduras.

El Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), tiene su origen en las prácticas de producción y de manejo de cultivos adoptadas por las comunidades indígenas del occidente de Lempira en Honduras (Hellin *et al.*, 1999), las cuales se basan principalmente en tala selectiva, podas periódicas de árboles y arbustos y manejo de residuos sin recurrir a la quema, con la siembra simultánea de los cultivos (maíz y frijol). Estas prácticas han sido mejoradas y adaptadas por técnicos y agricultores.

El establecimiento del sistema se hace en un área menor a una hectárea, ubicada en un bosque secundario, bien desarrollado, con alta presencia y diversidad de árboles y arbustos. En el bosque secundario se realiza la tala selectiva de árboles y arbustos, para favorecer el posterior desarrollo de los cultivos y la captura de recursos (radiación, agua y nutrientes). Los troncos de los árboles y arbustos son removidos para uso como leña y los residuos son distribuidos en el suelo. El resultado es una parcela con numerosos árboles talados, otros podados, con árboles enteros (de alto valor, como maderables y frutales) y con arbustos, que en el cultivo frijol son utilizados posteriormente para el secado de la cosecha. Los cultivos pioneros son, el sorgo (*Sorghum vulgare L.*) y el frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*), los cuales son sembrados al voleo. Luego de la introducción del cultivo pionero, las parcelas son sembradas, en asocio de maíz y frijol, hasta por diez años, tiempo aproximado de vida del sistema y que coincide con el potencial de regeneración de los árboles y la disminución en los niveles de rendimiento de los cultivos en el sistema. Las prácticas actuales incluyen producción anual de maíz como cultivo principal, intercalado en asocio con frijol común o sorgo, no labranza, tala y poda continúa de árboles y arbustos (regulación de luz, y agua y aporte de nutrientes), aplicación localizada de fertilizante y en ocasiones aplicación de herbicidas y control de plagas (Welchez *et al.*, 2006).

Las principales ganancias en términos productivos del SAQ, son las de mejorar los ingresos de los agricultores (mayores ganancias netas) a través de la

reducción de los costos de producción (menos mano de obra para la preparación de suelo y el control de malezas).

Las principales ventajas que los agricultores y los técnicos perciben del sistema son: i) mayor capacidad de retención de agua en el suelo, que se manifiesta principalmente cuando las lluvias son irregulares o escasas; ii) reducción de la erosión; iii) mejoramiento de la fertilidad del suelo, debido al reciclaje eficiente de nutrientes a través de los residuos de las plantas; iv) incremento de la resiliencia del sistema, a nivel de paisaje, a desastres naturales; y v) suministro continuo de leña (Welchez *et al.*, 2006).

1.1.2 Principios de captura de recursos en agroecosistemas

En los sistemas agroforestales, la clave es el manejo de las interacciones entre sus componentes, principalmente en términos de captura de recursos. Las interacciones referidas a la complementariedad o competitividad entre especies, dependen de su habilidad para capturar y usar recursos limitantes para el crecimiento (Monteith, 1981). En interacciones de agua, el modelo puede ser expresado en términos de transpiración de cada uno de sus componentes (Ong *et al.*, 1996):

$$W = e_w \Sigma E_i$$

donde:

W = Producción de materia seca, en g m⁻² d⁻¹

e_w = Relaciones de eficiencia de uso de agua, en g mm⁻¹ de agua

E_t = Transpiración acumulada, en g mm⁻¹ de agua

1.1.3 Interacciones entre componentes de los sistemas agroforestales

Las interacciones pueden ser definidas como el efecto de un componente de un sistema en el desempeño de otro componente y/o en todo el sistema (Nair, 1993). Existen varios tipos de interacciones entre los componentes, árboles y

cultivos, en los sistemas agroforestales: incremento de la productividad, mejoramiento de la fertilidad del suelo, ciclaje de nutrientes, conservación del suelo, mejoramiento del microclima, competencia, alelopatía, control de malezas, sostenibilidad, estabilidad y plagas y enfermedades (Ong y Huxley, 1996). Las interacciones por complementariedad, son causadas por la mejor captura de recursos y la utilización más eficiente de ellos (Young, 1997). El éxito de los sistemas multi-especies depende principalmente de minimizar las interacciones negativas entre los árboles y los cultivos, tanto encima del suelo, principalmente por luz, como bajo el suelo, por agua y nutrientes (Jose *et al.*, 2000). La competencia entre cultivos y árboles por los mismos recursos de crecimiento es mayor cuando los componentes crecen muy cerca (Singh *et al.*, 1989). En condiciones de déficit de agua, como en zonas áridas o semiáridas, una de las más importantes interacciones en los sistemas agroforestales es la competencia por agua; sin embargo ésta aún no está suficientemente entendida, principalmente debido a problemas con las mediciones y el modelamiento de éste proceso (Willey, 1990).

Entre las hipótesis que se manejan para la distribución de recursos en los sistemas agroforestales se tienen: i) posible incremento en la eficiencia del uso de recursos, por la combinación de especies de diferente patrón de extracción, ii) la competencia por los recursos debajo del suelo es inevitable y se puede manejar manipulando la interface entre mezcla de especies, iii) la fenología de los árboles puede selectivamente ser usada para crear complementariedades temporales y iv) los árboles causan una redistribución de recursos dentro del paisaje (Ong y Leakey, 1999).

1.1.4 Relaciones del agua en los sistemas agroforestales

El agua es el factor más limitante para la producción de cultivos en regiones áridas y semiáridas, debido a que la adquisición de éste recurso directamente determina la producción de biomasa (Droppelman y Berliner, 2000). La diferencia en productividad bajo la corona de los árboles respecto a campo

abierto, ha sido atribuida principalmente a tres factores: 1) mejoramiento de la fertilidad y de la condición física del suelo, en áreas debajo del follaje, 2) mejoramiento de las relaciones de agua de las plantas bajo sombra y 3) competencia entre árboles y plantas por la humedad del suelo y nutrientes (Belsky, 1994).

En general, los sistemas agroforestales tienen algunas ventajas en el uso del agua con respecto a los monocultivos, entre ellas están: los cultivos anuales son incapaces de usar toda el agua almacenada en el suelo; la combinación de árboles-cultivos mejoran en gran medida el uso del agua; la productividad total de los sistemas agroforestales debería incrementarse debido al mejor uso del agua, en comparación con los sistemas de cultivos anuales; hay menos competencia entre árboles y especies de cultivos que se desarrollan de forma diferente en términos de cobertura del follaje; la competencia por agua en los sistemas agroforestales puede ser reducida mediante modificaciones del arreglo espacial de los árboles (Ong *et al.*, 1992).

1.1.5 Incremento en el uso del agua en sistemas agroforestales (efectos directos)

Los cultivos en regiones semi-áridas a menudo usan menos de la mitad de la lluvia, debido a que el agua se pierde sustancialmente por evaporación, escorrentía y drenaje. La pérdida por drenaje es uno de los componentes del balance, el cual puede ser fácilmente modificado por los árboles, ya que ellos usan el agua que los cultivos anuales no pueden usar, debido a su sistema de raíces o a la diferencia en tiempo de desarrollo (Huda y Ong, 1989).

El mejoramiento del uso del agua lluvia, puede lograrse porque los sistemas agroforestales reducen sustancialmente las pérdidas por escorrentía (Wallace, 1996), especialmente en paisajes de altas pendientes (Young, 1989). Sin embargo, una posible desventaja de la inclusión de árboles en sistemas

agrícolas es la pérdida por interceptación, la cual puede variar entre 10-30% (Ong y Black, 1994).

El efecto de los árboles en la transpiración de los cultivos no solamente depende de la disponibilidad de agua, ésta también depende de los recursos limitantes en ambientes específicos y del efecto de los árboles en la disponibilidad de esos recursos limitantes. Si el agua es abundante, los monocultivos y los sistemas agroforestales, pueden transpirar a sus máximas tasas (Kho, 2000). Estudios desarrollados en regiones semiáridas de la India, han demostrado que la inclusión de árboles en los sistemas de cultivos puede incrementar el uso de la precipitación. Sin embargo, árboles esparcidos en áreas de cultivo compiten por humedad, causando disminución en los rendimientos (Ong *et al.*, 1992).

En las relaciones entre la interface árboles-cultivos hay importantes procesos atribuidos a los árboles, como el fenómeno de *Hidraulic lift*, mediante el cual los árboles toman agua de los horizontes profundos del suelo y la redistribuyen en la superficie, cuando las condiciones ambientales son secas; esta agua puede ser usada por las otras especies (Emmerman y Dawson, 1996). Esto ocurre principalmente en la noche, cuando los estomas están cerrados, de manera que las plantas están en equilibrio con el potencial de agua de las raíces. En consecuencia, el fenómeno de *Hidraulic lift*, podría tener importantes beneficios para los sistemas agroforestales, principalmente en zonas áridas y semiáridas (Lambers *et al.*, 1998).

1.1.6 Mejoramiento de las condiciones de suelo y de microclima (efectos indirectos)

El follaje de los árboles, en los sistemas agroforestales, podría modificar las condiciones microclimáticas, resultando en un incremento de la eficiencia del agua total por los cultivos. Esto puede ser debido a que el sombreado del suelo reduce la evaporación, a la disminución del déficit de presión de vapor

debajo del follaje de los árboles, a la reducción de la transpiración de los cultivos sin una proporcional reducción de la fotosíntesis, a la disminución de la temperatura del suelo y al mejoramiento de las condiciones físicas del suelo (Ong *et al.*, 1992; Wallace, 1996).

El ineficiente uso del agua en sistemas en monocultivo fue mostrado en estudios realizados en la India, donde el mejor sistema de cultivo usó solamente el 40% de la precipitación anual, mientras el resto se perdió por escorrentía, (26%) y por percolación (33%) (Ong *et al.*, 1992). De otra parte en la región semi-árida del medio oriente y occidente de Africa, 30-60% de la lluvia se evapora directamente. Durante el período entre estaciones lluviosas, la distribución del agua es crucial para la sobrevivencia de las plantas. La distribución vertical de la humedad del suelo en el perfil, después de los eventos de lluvia, varía con la infiltración, superficie de evaporación del suelo y actividad de las plantas, mientras la redistribución horizontal es principalmente debida a la actividad de las raíces (Cooper *et al.*, 1996).

1.1.7 Uso del agua en sistemas agroforestales

El uso del agua y la eficiencia en el uso del agua son dos importante indicadores, que se estudian en competencia por agua. La evapotranspiración o uso de agua es la combinación de dos procesos separados: evaporación y transpiración (Allen *et al.*, 1998). La evaporación es el proceso mediante el cual el agua líquida es convertida a vapor de agua y removida de la superficie; mientras la transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de las plantas y el vapor removido a la atmósfera (Allen *et al.*, 1998). La corriente de transpiración puede ser necesaria para el proceso de crecimiento de otras plantas, como: extracción de nutrientes del suelo y transporte a otros órganos, especialmente a las hojas y el enfriamiento transpiracional, el cual es importante en ambientes áridos y calientes (Allen *et al.*, 1998).

En sistemas agroforestales el efecto de los árboles en la transpiración de los cultivos depende de los recursos limitantes en ambientes específicos; si el agua no es limitante, los monocultivos y los cultivos en sistemas agroforestales tendrán su máxima transpiración (Kho, 2000). En este tipo de sistemas, es necesario medir las pérdidas de agua de dos maneras: en los cultivos, el uso de agua en mm d^{-1} y en los árboles en $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ (Narain *et al.*, 1998). La extracción de agua en un sistema agroforestal, necesariamente no es la suma de la utilización potencial de cada componente en monocultivo (Brown y Lugo, 1984).

1.1.8 Impacto de las gotas de lluvia

La estratificación del dosel en los sistemas agroforestales y el mulch que se acumula, son factores importantes para reducir la energía cinética de la lluvia, contribuyendo a la conservación del suelo, al reducir la escorrentía superficial que es la principal causante de la erosión en los suelos tropicales. Las gotas de lluvia al impactar en el dosel de los árboles se dividen en gotas más pequeñas, reduciendo así su masa y su velocidad. La cobertura inferior (cultivos-mulch) amortigua el impacto de las gotas de lluvia que llegan directamente a ella y del agua que gotea desde la copa de los árboles, reduciendo su poder erosivo (Jiménez, 1986).

1.2 BALANCE DE AGUA

Una de las más importantes herramientas para estimar el uso del agua en agroecosistemas, es el balance de agua o balance hídrico, el cual es una expresión detallada de la ley de conservación de masas. En sistemas agroforestales, éste puede ser explicado a través de la siguiente ecuación (Jiménez, 1986):

$$T_a + T_c + P - I_a - I_c - E_a - E_c - Da - D_c - E_a - E_c - \sigma\theta_a - \sigma\theta_c$$

donde:

T = Transpiración de los árboles (a) y de los cultivos (c)

P = Precipitación

I = Interceptación (a) y (c)

E = Evaporación (a) y (c)

D = Drenaje (a) y (c)

E = Escorrentía (a) y (c)

$\sigma\theta_t$ = Contenido de agua en el suelo (a)

$\sigma\theta_c$ = Contenido de agua en el suelo (c)

1.2.1 Precipitación incidente

La precipitación incidente, es la precipitación que llega a la parte superior de la vegetación, es importante aclarar que los procesos atmosféricos que condicionan y causan la lluvia, generalmente no dependen de la cobertura vegetal sobre la cual precipita el agua, lo que significa que una determinada superficie agroforestal no influye sobre la ocurrencia, cantidad y duración de los eventos de lluvia a los cuales está expuesta (Jiménez, 1986).

1.2.2 Precipitación neta

La precipitación neta es la cantidad de lluvia que llega al suelo por goteo directo, goteo desde el follaje y escorrentía por los tallos. Bajo un mismo régimen de lluvias, la precipitación neta, en los sistemas agroforestales puede ser considerada menor que en otro tipo de coberturas vegetales, debido a la interceptación de la lluvia por el dosel de los árboles y del cultivo, lo que impide que una parte importante de la precipitación bruta llegue hasta el suelo. La precipitación neta en un sistema de café con sombrío (555 árboles ha⁻¹ de *Eritrina poeppigiana*) y otro con (135 árboles ha⁻¹ de *Cordia oliodora*), fue de 84 y 93% respectivamente (Jiménez, 1986).

1.2.3 Interceptación

La interceptación es definida como la cantidad de agua proveniente de la lluvia que es retenida por el dosel de la cobertura vegetal y luego evaporada. Se distinguen dos tipos de interceptación, la absoluta y la relativa. La interceptación absoluta, es definida como la cantidad de lluvia retenida por la cobertura vegetal, en función de su estructura, densidad e índice de área foliar; corresponde a lo que se denomina capacidad de almacenamiento de la cobertura. La interceptación relativa depende de las características del evento de lluvia y disminuye porcentualmente conforme aumenta la cantidad de lluvia por evento. Una determinada cantidad de lluvia sobre la misma cobertura puede causar diferentes niveles de interceptación dependiendo de la cantidad y de la duración de los eventos. Para coberturas forestales los valores de interceptación relativa son del orden de 10-30% y los de interceptación absoluta de 2 a 4 mm (Jiménez, 1986).

1.2.4 Evaporación

La evaporación se refiere a la vaporización del agua desde el suelo. La cantidad de agua evaporada desde el suelo en los sistemas agroforestales es baja por las condiciones microclimáticas que predominan en ellos, en la superficie del suelo: poca radiación solar, poco viento, humedad relativa alta, poca oscilación térmica. Adicionalmente el manejo del sistema incluye la poda de los árboles, obteniéndose una cobertura vegetal (mulch) sobre el suelo que limita las pérdidas de agua (Jiménez, 1986).

1.2.5 Transpiración

La transpiración es el mecanismo fisiológico de pérdida de agua de las plantas a través de los estomas, principalmente. Aunque la demanda y consumo de agua por las plantas depende de las características climáticas y varía por lo tanto entre zonas, se puede afirmar que los sistemas agroforestales tienen tasas de transpiración muy altas, debido a sus índices foliares. La estrategia de

podar los árboles durante los períodos de estrés hídrico, tiene como objetivo reducir las pérdidas de agua por este medio (Jiménez, 1986).

1.2.6 Evapotranspiración

La evapotranspiración incluye el total del agua vaporizada por la cobertura vegetal (evaporación desde el suelo, evaporación del agua interceptada y transpiración). Los sistemas agroforestales tienen altas tasas de evapotranspiración, debido a su alta capacidad de almacenamiento de agua, a los valores elevados de transpiración y a los sistemas radicales extensos, densos y profundos. En estudios en monocultivos, el agua usada o evapotranspiración es usualmente estimada como la diferencia entre las entradas y las salidas del sistema. Sin embargo en sistemas mixtos, es necesario separar la transpiración por componente (Ong *et al.*, 1996).

1.2.7 Infiltración y escorrentía

El efecto que pueden tener los sistemas agroforestales sobre las características hidrodinámicas del suelo depende en gran medida del tipo de sistema y de su manejo. En sistemas agroforestales, con frecuencia existe una capa de materia orgánica en descomposición, además de la ausencia de uso intensivo, situaciones que favorecen el proceso de infiltración y evitan la destrucción de agregados y el desecamiento del suelo. Los suelos secos o con falta de agregación tienen poca capacidad de infiltración y favorecen la escorrentía superficial, lo que a la vez ocasiona procesos de erosión.

En general, los suelos bajo sistemas agroforestales tienen buena estructura, alta capacidad de infiltración; incluso es frecuente que ésta capacidad supere la intensidad de las lluvias, indicando que la mayor parte del agua que llega al suelo bajo la cobertura agroforestal perenne se infiltra. La alta capacidad de infiltración de los suelos bajo sistemas agroforestales se debe principalmente a factores tales como: densidades del suelo relativamente bajas, alta estabilidad

estructural, interceptación parcial de la lluvia incidente, cobertura del suelo con material orgánico y ausencia de golpeteo directo de las gotas de lluvia en el suelo mineral. Además las raíces de los árboles forman canales que favorecen la infiltración y la percolación del agua (FAO, 1998).

1.2.8 Almacenamiento de agua en el suelo

La capacidad de almacenamiento de agua en el suelo es de gran importancia para la producción de los cultivos. Una situación ideal se presenta cuando durante mucho tiempo las salidas son iguales a las entradas. Sin embargo, con frecuencia se presentan situaciones en que, por períodos cortos, las entradas son menores que las salidas y entonces el almacenamiento es importante. De igual manera cuando las entradas son mayores que las salidas, cobran importancia los sistemas de drenaje. Esas circunstancias dependen de las características físicas del suelo, las cuales se relacionan directamente con la masa y el volumen. En efecto el contenido de agua en el suelo depende de estas dos características, pues las partículas sólidas que adoptan diferentes formas y tamaños son las que conforman la matriz del suelo (FAO, 1998).

1.3 PRODUCTIVIDAD Y EFICIENCIA DE AGUA PARA LOS CULTIVOS

1.3.1 Importancia del agua para las plantas

El agua es el constituyente más abundante de las células de las plantas, constituye entre el 80 y el 95% de la masa de los tejidos vivos (Taiz y Zeiger, 1991). A nivel celular, el agua es el principal medio de transporte de metabolitos a través de la célula; a nivel de toda la planta, el agua es el medio que transporta los materiales sin elaborar (carbohidratos y nutrientes), al igual que transporta las fitohormonas de un órgano a otro, las que son requeridas para el crecimiento y desarrollo (Lambers *et al.*, 1998).

1.3.1.1 Requerimientos de agua para el cultivo de maíz

El maíz es una planta eficiente en uso del agua en términos de producción de materia seca total, entre los cereales es potencialmente el mayor cultivo de rendimiento de grano. Para la máxima producción, hasta la madurez del cultivo requiere entre 500 y 800 mm de agua dependiendo del clima. El factor del cultivo (K_c) que relaciona los requerimientos de agua (ET_m) a la evapotranspiración de referencia (ET_o) para los diferentes estados de crecimiento del cultivo son: i) estado inicial de 0.3 a 0.5 (15-30 días), ii) estado de desarrollo de 0.70 a 0.85 (30-45 días), iii) mediados del periodo de crecimiento de 1.05 a 1.20 (30-45), iv) durante la fase tardía de crecimiento de 0.80 a 0.90 (10 -30 días) y v) a cosecha de 0.55 a 0.60 (FAO, 2008).

La frecuencia de las lluvias tiene un efecto pronunciado en el rendimiento de grano, el maíz es relativamente tolerante a déficit de agua durante el periodo vegetativo y durante el periodo de madurez. Disminuciones considerables en el rendimiento de grano son causadas por déficit de agua durante el periodo de floración incluyendo la polinización, debido a la reducción de número de granos por mazorca. Cuando el déficit de agua sucede en llenado de grano, la reducción de rendimientos es debida a la disminución del tamaño del grano. El déficit de agua en madurez tiene poco efecto en el rendimiento de grano. Cuando se presenta exceso de humedad durante los periodos de floración y llenado de grano los rendimientos pueden reducirse en 50% o más.

Cuando las condiciones evaporativas corresponden a ET_m de 5 a 6 mm d^{-1} , el agotamiento del agua puede llegar hasta el 55% de la disponible en el suelo con poco efecto en los rendimientos. Para mejorar la profundización y el enraizamiento rápido mayores agotamientos durante periodos tempranos pueden ser favorables. Agotamientos hasta del 80% son permitidos durante el periodo de madurez (FAO, 2008).

Bajo condiciones de riego, rendimientos comerciales de grano están alrededor de 6 a 9 t ha⁻¹ (13% de humedad). La eficiencia de uso de agua para el rendimiento de grano cosechado varía entre 0.8 y 1.6 Kg m⁻³ (FAO, 2008).

1.3.1.2 Requerimiento de agua para el cultivo de frijol

Los requerimientos de agua para producciones máximas del cultivo entre 60 y 120 días varían entre 300 y 500 mm dependiendo del clima. El factor del cultivo (Kc) que relaciona los requerimientos de agua (ETm) a la evapotranspiración de referencia (ETo) para los diferentes estados de crecimiento del cultivo, para producción de grano seco son: i) estado inicial de 0.3 a 0.4 (15-20 días), ii) estado de desarrollo de 0.70 a 0.80 (15-20 días), iii) mediados del periodo de crecimiento de 1.05 a 1.20 (35-45), iv) durante la fase tardía de crecimiento de 0.65 a 0.75 (20-25 días) y v) a cosecha de 0.25 a 0.30 (FAO, 2008).

Severo déficit de agua durante el periodo vegetativo generalmente retarda el desarrollo de las plantas y causa crecimiento no uniforme. Durante los periodos de floración y llenado de grano riegos frecuentes resultan en mayor respuesta a producción, aunque excesos de agua incrementan la incidencia de enfermedades, particularmente de la raíz.

Bajo condiciones de ETm de 5 a 6 mm d⁻¹, 40 al 50 % del agua puede ser agotada del total de la disponible en el suelo antes que la extracción sea afectada. El déficit de agua durante el periodo de llenado de grano genera vaina pequeña y mal formada, con alto contenido de fibra (FAO, 2008).

En condiciones ambientales favorables, bajo riego, el rendimiento de semilla seca está alrededor de 1.5 a 2.0 t ha⁻¹. La eficiencia de uso de agua para grano seco (10% de humedad), es de 0.3 a 0.6 kg m⁻³ (FAO, 2008).

1.3.2 Movimiento del agua a través del continuum suelo-planta-atmósfera

El agua se mueve en el continuum suelo-planta-atmósfera a través de variados medios y variados mecanismos de transporte: pared celular, citoplasma y horizontes lipídicos (Taiz y Zeiger, 1991). El agua se mueve a través de la planta tanto a lo largo de un gradiente de potencial, presión hidrostática o presión parcial de vapor de agua. Cuando el suelo está seco hay disminución paralela en los potenciales del agua, en la planta y en el suelo, ambos inmediatamente antes del amanecer (cuando el estrés hídrico es mínimo) y al medio día (cuando el estrés es máximo). El máximo gradiente en el continuum suelo-planta-atmósfera ocurre en la superficie de las hojas, lo cual indica que los estomas son el principal punto de control de las relaciones de agua de las plantas (Lambers *et al.*, 1998).

El estado de humedad en el suelo, plantas y atmósfera es comúnmente descrito en términos de potencial de agua (Ψ_w), el cual corresponde a la suma algebraica de los potenciales osmótico (Ψ_o) y la presión hidrostática (Ψ_p) (Lambers *et al.*, 1998). El potencial osmótico es el potencial químico del agua en una solución, debido a la presencia de materiales disueltos; mientras la presión hidrostática se refiere a la presión física ejercida sobre el agua en el sistema. El potencial del agua pura, libre a la presión atmosférica y a la temperatura de 25°C, es 0 MPa (Lambers *et al.*, 1998).

1.3.3 Agua disponible para las plantas

A nivel de suelo, el agua disponible para las plantas es normalmente retenida en poros de 50 y 0.5 μm , a los potenciales entre -10 KPa (capacidad de campo) y -1500 KPa (punto de marchitez permanente) (Russell, 1988). A pesar de la arbitrariedad de esos límites, ellos proveen un lineamiento útil, para que las relaciones suelo-planta puedan ser definidos. La capacidad de campo se refiere al contenido de agua en el suelo, luego de ser saturado y el agua de exceso drenada libremente. El punto de marchitez permanente se define como

el contenido de humedad en el suelo que esta retenida a tales succiones que las plantas no pueden hacer uso de ella (Taiz y Zeiger, 1991).

Las arcillas y la materia orgánica del suelo, las cuales contienen pequeñas partículas, generan presiones muy negativas (grandes succiones). Los suelos arcillosos presentan mayor agua disponible para las plantas que los suelos arenosos, debido al tamaño de los poros entre esos tipos de textura (Lambers *et al.*, 1998).

El agua en el suelo puede existir como películas que se adhieren a la superficie de las partículas de suelo o puede llenar los canales entre las partículas, de manera que el contenido y la tasa del movimiento dependen en gran medida del tipo de suelo. En suelos arenosos los espacios entre las partículas son grandes, de manera que el agua tiende a drenar y permanece solamente en la superficie de las partículas y en sus intersticios. Sin embargo, en suelos arcillosos los canales son pequeños y no dejan circular el agua libremente, pero ésta es mantenida fuertemente (Taiz y Zeiger, 1991).

La cantidad y la tasa de extracción de agua por las plantas dependen en gran medida de la habilidad del sistema radicular para absorber agua del suelo, al igual que de la capacidad del suelo para suplir agua a las raíces a una tasa suficiente que satisfaga los requerimientos de transpiración, los que a su vez dependen de: i) las propiedades de las plantas, incluyendo densidad, profundidad y tasa de extensión de las raíces, al igual que de la habilidad fisiológica para continuar sus funciones vitales y disponer del agua del suelo a la tasa necesaria para evitar el marchitamiento, cuando su potencial interno disminuye, ii) las propiedades del suelo, incluyendo las relaciones de humedecimiento, conductividad hidráulica, difusividad y succión mátrica, y iii) condiciones meteorológicas, las cuales dictan la tasa a la cual la planta está requiriendo transpirar y por consiguiente la tasa a la cual debería extraer agua del suelo, para mantener su propio balance (Hillel, 1998).

1.3.4 Eficiencia en el uso del agua

La eficiencia en el uso del agua se refiere a la cantidad de agua perdida durante la producción de la biomasa y/o la fijación de CO₂ en la fotosíntesis (Viets, 1962).

La eficiencia de uso de agua de una planta depende de la conductancia estomatal y de la diferencia en la presión de vapor entre los espacios intercelulares de las hojas y la del aire. La temperatura es otro factor, debido a que afecta la presión de vapor en la hoja (Howard *et al.*, 1997).

Las principales diferencias en la eficiencia de uso de agua han sido encontradas entre los grupos fisiológicos C3, C4 y CAM (Lambers *et al.*, 1998). La eficiencia en el uso del agua depende de la densidad de los árboles (Droppelman *et al.*, 2000) y del déficit de saturación del aire (Tanner y Sinclair, 1983), de manera que las mismas plantas que crecen en ambientes semi-áridos producen menos materia seca por unidad de agua transpirada que en condiciones húmedas. Cuando el agua es limitada, el rendimiento de las plantas disminuye linealmente con el incremento del déficit de presión de vapor (Howard *et al.*, 1997).

El área de la hoja también afecta la eficiencia en el uso del agua. Con un área foliar transpirando cerca a la tasa potencial máxima, mayor será la eficiencia en el uso del agua. Índices de área foliar mayores de 3, resultan en un incremento de la asimilación sin mucho incremento en la transpiración, de manera que se incrementa la eficiencia en el uso del agua (Ritchie y Otter, 1985); sin embargo, índices menores de 1.5, resultan en incrementos en la eficiencia de uso de agua, debido a que la transpiración es controlada. En sequía, la disminución de la relación biomasa aérea de la planta/biomasa de raíces, resulta en una disminución de la eficiencia en el uso del agua (Passioura, 1988).

1.3.5 Productividad de agua para los cultivos

Los objetivos del análisis de la productividad de agua van desde evaluar la producción agrícola hasta evaluar el incremento de bienestar por unidad de agua usada por el sector agrícola (Seckler, 1996; Kijne *et al.*, 2003). La productividad de agua incluye los procesos de conversión de energía, extracción y uso de nutrientes y fotosíntesis, principalmente; el punto de interés son los productos agrícolas, expresados como kilogramos producidos por cada unidad de agua evapotranspirada.

La noción de productividad de agua incluye dos disciplinas: los fisiólogos de cultivos definen la eficiencia de uso de agua como el carbón asimilado y el rendimiento de los cultivos por unidad de transpiración; los especialistas en riego definen la eficiencia de uso de agua para describir cuanta agua es efectivamente entregada y gastada por los cultivos (Seckler, 1996).

El enfoque actual de la productividad de agua incluye los beneficios y costos del agua usada para la agricultura, en ecosistemas terrestres o acuáticos, el cual produce numerosos servicios (aprovisionamiento, regulación, de soporte y culturales) para la gente.

Los servicios de aprovisionamiento de los agroecosistemas son la producción de alimentos, leña, fibra, madera; servicios de regulación del clima, distribución del agua, regulación de plagas y enfermedades; servicios de soporte al ciclo hidrológico, ciclaje de nutrientes y producción primaria y beneficios no materiales de los ecosistemas (recreacional y estético).

Una evaluación del potencial para reducir las necesidades de agua e incrementar la producción y el valor, requiere de un entendimiento de las relaciones básicas, biológicas e hidrológicas, cultivo-agua (Molden, 2007).

1.3.5.1 Transpiración, biomasa y rendimiento

Para un cultivo dado, nivel de fertilización y clima, existe una relación lineal bien establecida entre la biomasa de la planta (hojas, tallos, raíces y grano) y la transpiración, proceso mediante el cual las plantas convierten agua líquida en vapor (Tanner y Sinclair, 1983; Steduto y Albrizio, 2005). Más producción de biomasa requiere más transpiración, debido a que cuando los estomas se abren, el dióxido de carbono fluye dentro de las hojas para la fotosíntesis y el agua fluye fuera. Durante la sequía, el cierre de los estomas limita la transpiración, la fotosíntesis y la producción. Los cultivos C4 (maíz y caña de azúcar) son más eficientes en el uso del agua, en términos de relación entre transpiración y biomasa; los cultivos C3 (trigo y cebada) son menos eficientes (Molden, 2007).

Los mejoradores han desarrollado variedades con alto índice de cosecha (proporción de producto económico respecto a la biomasa total), logrando más producto económico por unidad de transpiración; ésta estrategia de los mejoradores probablemente ha aumentado el potencial de ganancia de productividad de agua más que cualquier otra práctica agronómica en los últimos 40 años (Keller y Seckler, 2004). El índice de cosecha aumentó de 0.35 antes de 1960 a 0.50 en los 1980 (Sayre *et al.*, 1997). La tasa de incremento ha mostrado, en los últimos 20 años, cómo el límite fisiológico comienza a ser alcanzado. En situaciones de baja producción, sin embargo valores de índices de cosecha son menores que los máximos logrables, debido a prácticas de manejo no óptimas (Sayre *et al.*, 1997).

Esta relación entre transpiración y producción de cultivos tiene consecuencias de gran alcance para el agua. Aumentos en la producción de alimentos son logrados incrementando el agua transpirada (alimentar más gente requerirá que más agua sea transpirada) (Molden, 2007).

1.3.5.2 Evaporación y transpiración

La base del agotamiento del agua en la agricultura es principalmente debida a la evapotranspiración, la combinación de la transpiración productiva y la evaporación colateral de la superficie del suelo. Este concepto es comúnmente usado, porque es difícil separar la evaporación de la transpiración. La evapotranspiración es críticamente importante debido a que es esencial para la producción de los cultivos y porque aumentar la evapotranspiración agrícola significa que menos agua está disponible para otros usos ecológicos y humanos. Últimamente la agricultura está limitada por el recurso agua disponible, que puede ser agotado para la evapotranspiración (Molden, 2007).

El clima juega un papel central en la productividad de agua por unidad de evapotranspiración. Las mayores productividades se logran a menores déficit de presión de vapor (la diferencia entre la cantidad de vapor de agua actual y la máxima en el aire) (Tanner y Sinclair, 1983), lo cual es común a altas latitudes (Zwart y Bastiaanssen, 2004). Se especula que mayores niveles de CO₂ asociados con el cambio climático aumentarán la productividad de agua por unidad de evapotranspiración, debido a que más carbono puede entrar a la planta para más fotosíntesis (Droogers y Aerts, 2005; IPCC, 2001). Sin embargo, evidencias más recientes sostienen que las ganancias en productividad serán compensadas por el incremento de la temperatura (Long *et al.*, 2006).

Mientras hay una relación fija entre biomasa y transpiración, hay una sustancial variabilidad en rendimiento relacionado a la transpiración, debido a las diferencias en evaporación, índice de cosecha, condiciones climáticas, cultivares, estrés hídrico, plagas y enfermedades, estado nutricional y de suelo y otros manejos y prácticas agronómicas. Por lo que parece que existe una considerable oportunidad para alcanzar la cantidad de rendimiento en relación a la evapotranspiración, antes de lograr el límite superior. Mucha de la variabilidad es debida a las prácticas de manejo, lo cual es importante debido a

que ofrece esperanza de posible mejoramiento de la relación entre el producto y la evapotranspiración (French y Schultz, 1984).

En situaciones donde el rendimiento es menor que el 40 al 50% del potencial, factores diferentes al agua, como la fertilidad del suelo, limitan el rendimiento y la productividad de agua por los cultivos por unidad de evapotranspiración (Tanner y Sinclair, 1983). La degradación del suelo y el agotamiento de los nutrientes restringen significativamente las oportunidades para incrementar la productividad de agua. En esas situaciones hay un efecto sinérgico cuando las prácticas que incrementan el acceso al agua, que simultáneamente reducen los procesos de degradación, son combinadas con otras prácticas agronómicas como el mantenimiento de la salud del suelo y la fertilidad, por ejemplo controlando malezas y enfermedades al momento de la siembra. Cada interacción sinérgica entre los factores de producción aumenta la productividad de agua, especialmente cuando los valores de rendimiento son bajos, debido a que más recursos de producción son usados más eficientemente, aumentando los niveles de producción. Cuando los rendimientos están por encima de 40 al 50% de su potencial, sin embargo, la ganancia en rendimiento viene del incremento proporcional en la cantidad de evapotranspiración (de Wit, 1992).

1.3.5.3 Productividad de agua como valor por unidad de agua

Incrementar los beneficios netos o valor por unidad de agua, tiene implicaciones clave para las decisiones de los agricultores, como crecimiento económico, reducción de la pobreza, equidad y ambiental. Existe mayor oportunidad de incrementar el valor por unidad de uso del agua en agricultura (productividad económica de agua) que en la productividad de agua física, la cual comienza a ser restringida. Las estrategias para aumentar el valor del agua usada en la agricultura incluyen: incrementar el rendimiento por unidad de suministro o agotamiento, cambiar cultivos de bajo valor a cultivos de alto valor, relocalizar agua de usos de bajo valor a usos de alto valor, disminuir los costos de las entradas (mano de obra), incrementar los beneficios en salud y el valor

de los servicios ecológicos de la agricultura, disminuir los costos sociales y ambientales (degradación de otros ecosistemas), obtener múltiples beneficios y lograr más bienestar por unidad de agua (más trabajo, nutrición e ingresos por la misma cantidad de agua) (Molden, 2007).

1.3.5.4 Mejoramiento de la productividad de agua con respecto a la evapotranspiración

El mejoramiento de la productividad física del agua es posible a través del manejo mejorado que incremente la relación de crecimiento y evapotranspiración. Aunque en muchas de las áreas más productivas del mundo, como la cuenca baja del Río Amarillo, grandes mejoramientos ya han sido realizados, la posibilidad de aumento es pequeña; la implicación para esas áreas es que para lograr mayores producciones se requiera mayor evapotranspiración. Las áreas con mayor potencial de ganancias son aquellas con muy bajos rendimientos, como el sub-Sahara Africano y el sur de Asia. Hay también áreas de extrema pobreza, con grandes concentraciones de gente y alta dependencia de agricultura, donde el enfoque debería ser reducir la cantidad de agua adicional necesaria para la agricultura y ayudar a reducir la pobreza. Los actuales niveles de productividad de agua muestran una gran variación por productos, implicando una oportunidad para el mejoramiento (Molden, 2007).

1.3.5.5 Mejoramiento de la fertilidad del suelo

Para regiones áridas y semiáridas, experimentos de campo han mostrado que la limitación de nutrientes afecta fuertemente el rendimiento, más que la disponibilidad de agua (Breman *et al.*, 2001). La oportunidad biofísica de incrementar los rendimientos en las regiones semiáridas es alta. El mejoramiento en la fertilidad del suelo combinado con un mejor manejo del agua lluvia, que reduzca la evaporación y cambie más flujos hacia la

evapotranspiración, pueden duplicar o cuadruplicar las producciones (Bindraban *et al.*, 2000).

Ganancias globales en la productividad de agua pueden ser logradas mediante la ubicación de los cultivos en lugares donde el clima y las prácticas de manejo permitan alta productividad de agua y comercializando los productos en sitios de baja productividad de agua. En 1995 la unión global de áreas de alta productividad y áreas de baja productividad, resultó en estimativos de 6% menos evapotranspiración y 11% menos agotamiento del riego para el crecimiento de la misma cantidad de cultivos, pero análisis más detallados deben ser tomados más allá de los simples productos. (De Fraiture *et al.*, 2004).

1.3.5.6 Reducción de la evapotranspiración

Reducir la evaporación mientras se incrementa la transpiración productiva mejora la productividad del agua. La evaporación varía con las prácticas agrícolas (Burt *et al.*, 2005), con rangos desde 4 al 15-25% en sistemas de riego por aspersión, hasta del 40% y más, en sistemas de secano. La cantidad de evaporación depende del clima, el suelo y el follaje de los cultivos, el cual sombrea el suelo (Rockström *et al.*, 2003).

La evapotranspiración puede ser muy alta con bajas densidades de plantas; prácticas como el manejo del mulch, labranza mínima y mejoramiento dirigido para la rápida expansión de las hojas, con el objetivo de sombrear la superficie del suelo, incrementan la transpiración productiva, mediante la disminución de la evaporación. En ambientes áridos hasta el 90% de la lluvia se evapora, dejando únicamente el 10% para la transpiración productiva; técnicas de cosecha de agua pueden capturar más agua lluvia para los cultivos, antes de su evaporación, incrementando benéficamente su disponibilidad para la transpiración, de un 20 al 50% (Oweis *et al.*, 1999).

La clave para el manejo efectivo del recurso agua es entender que el ciclo del agua y el manejo de suelo están íntimamente unidos. Cada decisión en uso de suelo es una decisión en uso de agua. Para mejorar el manejo del agua en agricultura y el sustento de la población pobre rural se requiere mitigar o prevenir la degradación del suelo. La erosión, la contaminación, el agotamiento de nutrientes, la reducida cobertura de plantas, la pérdida de la materia orgánica y otras formas de degradación del suelo resultan de decisiones erróneas que amenazan los ecosistemas, producen cambios regionales y globales del ciclo hidrológico y tienen enormes implicaciones negativas en la productividad de agua, cantidad, calidad y almacenamiento; la principal causa de la degradación del suelo es el inadecuado uso de las tierras agrícolas. El 80% de los pobres del mundo dependen directamente de la agricultura y la degradación es principalmente deletérea para los agricultores a pequeña escala, en los países en vía de desarrollo (Molden, 2007).

1.4 DEGRADACIÓN DEL SUELO

The Global Assessment of Human-Induced Soil Degradation, GLASOD, (Oldeman *et al.*, 1993) estima que el 40% de la tierra agrícola en el mundo está moderadamente degradada y un 9% fuertemente degradada, lo cual implica una reducción global de rendimientos del 13%. La degradación del suelo representa una disminución de la habilidad de un ecosistema o paisaje para soportar las funciones o servicios requeridos para el mantenimiento del sustento (Wood *et al.*, 2000).

Cuando la agricultura es introducida en un lugar de vegetación natural y es intensificada para maximizar los rendimientos, los agricultores simplifican la estructura de los ecosistemas, limitando la variedad de la vegetación. Cada cambio de la vegetación inmediatamente afecta el uso del agua y su ciclo en el paisaje, que resulta en la pérdida de la biodiversidad y en un desarrollo menos complejo de la red de interrelaciones que ocurren naturalmente. Con el tiempo,

la producción agrícola continúa particularmente en tierras marginales frágiles, lo cual resulta en la degradación de la base de los recursos naturales, con un creciente impacto en el recurso agua (Molden, 2007).

1.4.1 Pérdida de materia orgánica y degradación física del suelo

La materia orgánica está integrada al manejo del ciclo del agua en los agroecosistemas. El ejemplo mejor documentado de la pérdida de la materia orgánica es la que ocurre cuando los bosques son talados y se realiza agricultura intensiva, especialmente acompañada de quema y la productividad declina rápidamente. La pérdida de la materia orgánica está asociada con la disminución de la actividad biológica (agravada por el uso de pesticidas y las prácticas de labranza), lo cual favorece el rompimiento de los agregados del suelo y ocasiona el encostramiento y el sellamiento de la superficie del suelo, resultando en una disminución de la porosidad, en menor infiltración y más escorrentía (Valentin y Bresson, 1997). En terrenos pendientes, lluvias intensas asociadas con escorrentía incrementan la erosión entre surcos; la degradación cambia la proporción del flujo del agua en una cuenca, con tendencia a promover flujos rápidos sobre el suelo (escorrentía) y a disminuir el flujo sub-superficial. En tierras vírgenes o ambientes bien manejados, mayores tasas de infiltración son normales (Molden, 2007).

La materia orgánica cumple una función vital, controlando las tasas de infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua, protegiendo el rendimiento por cambio extremo de clima. Significativamente es uno de los más importantes elementos biofísicos que puede ser manejado para mejorar la resiliencia. La materia orgánica además sostiene cerca del 40% de todo el pool de carbono terrestre, dos veces la cantidad contenida en la atmósfera. Prácticas agrícolas deficientes son fuente significativa de emisiones de carbono y contribuyen al cambio climático (Robbins, 2004).

1.4.2 Agotamiento de nutrientes y degradación química del suelo

Solo la mitad de los nutrientes que toman los cultivos del suelo son reemplazados. Este agotamiento de los nutrientes a menudo lleva a niveles de fertilidad que limitan la producción y severamente reducen la productividad de agua. Períodos cortos en barbechos no compensan las pérdidas de materia orgánica y de nutrientes en el suelo, ocasionando una disminución de nutrientes en el suelo. En muchos países de Africa, Asia y América Latina, el agotamiento de nutrientes de los suelos agrícolas es tan alto que el uso de las tierras agrícolas actualmente no es sostenible (Craswell *et al.*, 2004). Análisis de balance de nutrientes, demuestran su agotamiento en muchos países asiáticos es del orden de 50 kg de macronutrientes por hectárea por año (Sheldrick *et al.*, 2002). En Africa, el agotamiento de nutrientes, en países del este y sur es estimado en promedio: 47 kg N, 6 Kg de P, 37 Kg de K, por hectárea por año (Smaling, 1993).

El agotamiento de nutrientes es considerado actualmente, el principal factor biofísico limitante de la producción a pequeña escala en Africa. (Drechsel *et al.*, 2004).

1.4.3 Erosión de suelo y sedimentación

Las tasas de erosión casi siempre aumentan sustancialmente con la actividad agrícola. Esto especialmente en sistemas con cultivos anuales, donde la superficie del suelo es estacionalmente expuesta a la lluvia y al viento. Localmente la erosión reduce el rendimiento de los cultivos, por la remoción de los nutrientes y de la materia orgánica. El impacto en el rendimiento puede ser severo y variar con el tipo de suelo. En Etiopía la erosión de suelo reduce la producción, en promedio anual, del 1 al 2%, aunque en los últimos 20 años no ha caído por debajo de 300-500 kg ha⁻¹ (Hurni, 1993). La erosión también interfiere con la relación suelo-agua: la profundidad del suelo es reducida, disminuyendo la capacidad de almacenar agua, dañando la estructura y

reduciendo la porosidad del suelo. El sellamiento y el encostramiento de las superficies reducen la infiltración e incrementan la escorrentía, lo cual es un problema en si mismo con un resultado neto en la pérdida de agua para los cultivos. Corrientes abajo el principal efecto de la erosión es la sedimentación, la principal forma de contaminación de agua, inducida por el hombre (Molden, 2007).

1.4.4 Contaminación de agua

Evaluaciones recientes (UNEP, 1999; WWAP, 2003; MEA, 2005) muestran alarmantes tendencias de contaminación en el agua fresca del mundo y enfatizan en el efecto destructivo de la eutrofización causada por el incremento del N y el P antropogénico, y en el creciente aumento de la contaminación por pesticidas, metales pesados y bacterias entre otros; muchos de éstos contaminantes son persistentes y pueden tener impacto sobre la salud humana, aún a muy bajas concentraciones, en períodos largos de tiempo (Molden, 2007).

Las actividades agrícolas pueden exacerbar esos problemas incrementando la proporción de agua que fluye rápidamente. La escorrentía arrastra microbios, nutrientes, materia orgánica, pesticidas y metales pesados los cuales tienden a concentrarse e incrementarse en los horizontes superficiales. El P, por ejemplo, puede aparecer en cantidades 10 veces mayores en el agua de escorrentía que en el agua subterránea. Los agroquímicos son también transportados por el agua de escorrentía y de drenaje o pueden infiltrarse a aguas subterráneas (Gelbrecht *et al.*, 2005).

1.4.5 Pobreza y sustento

Debido a que la degradación del suelo causa la disminución de los rendimientos, por consiguiente tiene implicaciones para la seguridad alimentaria, aunque las relaciones entre la degradación de suelo y la

inseguridad alimentaria son difíciles de demostrar. Prácticas como el manejo del mulch, el compostage, cultivos de cobertura, cultivos mixtos y sistemas agroforestales reciben hoy énfasis, ya que pueden mejorar simultáneamente el suelo, reducir la vulnerabilidad a la erosión, mejorar la producción, logrando objetivos tanto de productividad como de conservación (Molden, 2007).

1.5 MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE AGUA Y DE SUELO

La escorrentía acelerada y la erosión, son esencialmente consecuencias de la disminución de la calidad del suelo. Mejorando la calidad del suelo, mediante el incremento de la materia orgánica, se tiene el beneficio adicional de proveer significativa resiliencia en los sistemas a eventos climáticos extremos y variabilidad climática (Molden, 2007). Invertir en mejorar el manejo y la calidad del suelo puede mejorar de manera considerable la productividad del agua tanto en sistemas de secano como de riego. Prácticas de manejo para mejorar la infiltración y el almacenamiento de agua (como labranza cero) pueden ayudar al uso eficiente del agua (25 a 40%), mientras el manejo de nutrientes puede aumentar la eficiencia del uso del agua un 15-25% (Hatfield *et al.*, 2001). El mejoramiento de la productividad de agua está entre 70-100% en sistemas de secano y de 15 al 30% en sistemas bajo riego, usando técnicas que incrementen la fertilidad del suelo y reduzcan la evaporación a través de labranza de conservación (Pretty *et al.*, 2006). Precipitaciones cercanas a 1100 mm son suficientes para agricultura de secano; fertilizaciones o riegos suplementarios no estabilizan la producción, cuando los suelos tienen muy baja capacidad de retención de agua y de nutrientes. La productividad de agua puede ser mejorada implementando sistemas de cultivos mejor adaptados, particularmente en ambientes semiáridos (Hatfield *et al.*, 2001). Mejorar el manejo del suelo es una de las vías más prometedoras para incrementar la productividad de agua en sistemas de secano con bajos rendimientos (Falkenmark y Rockstrom, 2004).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está localizada en el Municipio de Candelaria, Honduras (14°04'60" N, 88°34'00" O), perteneciente a la sub-cuenca del Río Lempa en el Departamento de Lempira, región correspondiente al Trópico sub-húmedo (Holdridge), con precipitación promedio anual de 1400 mm, una estación lluviosa (Mayo-Octubre) y una seca (Noviembre-Abril), temperatura entre 17 y 25°C, pendientes entre 5-50% y alturas entre 200 y 900 msnm. Los suelos están clasificados como Entisoles (Lithic Ustorthents), son ácidos, pedregosos, con bajo contenido de P disponible y bajo contenido de materia orgánica. La zona se caracteriza porque el 80% de la agricultura es de subsistencia y está concentrada en áreas menores a 5 ha.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE USO (TRATAMIENTOS)

En Abril de 2005 fueron seleccionadas parcelas de campo (200 m²) en fincas de agricultores, para la comparación de cinco tratamientos: Sistema Tradicional de Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), de diferentes edades de establecido (<2, 5-7 y >10 años); Bosque Secundario (BS). Cada tratamiento fue replicado en tres diferentes fincas (Figura 1). Las parcelas correspondientes a los sistemas de producción fueron sembradas mediante el sistema intercalado en asocio (Maíz-Frijol) así: a finales de Mayo de 2005, 2006 y 2007, con la variedad mejorada de maíz "Hondureño Planta Baja", a distancias de 1 m entre surcos y de 0.5 m entre sitios; a mediados de Agosto de los mismos años, antes de terminar el ciclo del cultivo del maíz, se sembró entre los surcos de maíz la variedad criolla de Frijol "Rojo de Seda" a distancias de 0.5 m entre surcos y 0.25 m entre sitios, con un arreglo espacial de dos surcos de frijol entre dos surcos de maíz. Las parcelas fueron divididas para el manejo de la fertilización (con aplicación y sin aplicación de fertilizante). La fertilización de maíz consistió en la aplicación de 49 kg ha⁻¹ de N y 55 kg ha⁻¹ de

P, 10 DDS y de 52 kg ha⁻¹ de N, 30 DDS; para frijol 46 kg ha⁻¹ de N y 51 kg ha⁻¹ de P, 10 DDS. En Mayo de 2007, se procedió a evaluar los componentes de la dinámica del agua en los diferentes sistemas de uso de suelo, para su comparación.

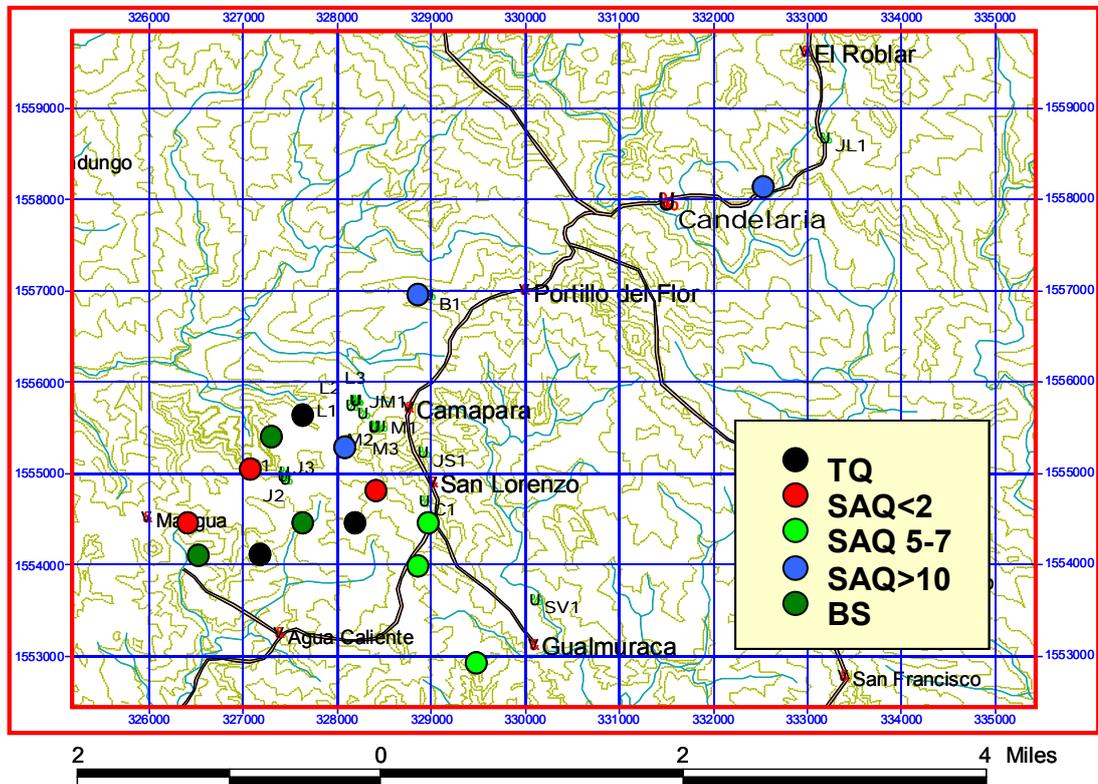


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio y ubicación de los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque secundario (BS). Candelaria, Honduras.

Las fincas presentan condiciones particulares de altura sobre el nivel del mar, pendiente y pedregosidad (Figura 2). La altura de las fincas varió entre 378 y 819 msnm. El sistema localizado a menor altura promedio es SAQ 5-7 (493 m), seguido SAQ <2 (497 m), mientras SAQ>10 está ubicado a la mayor altura promedio (675 m). La pendiente varía entre 21 y 60%. El SAQ 5-7 presenta pendiente promedio de 38%, el SAQ>10 de 41%, correspondiente a los valores más bajos y TQ de 59% con los valores más altos.

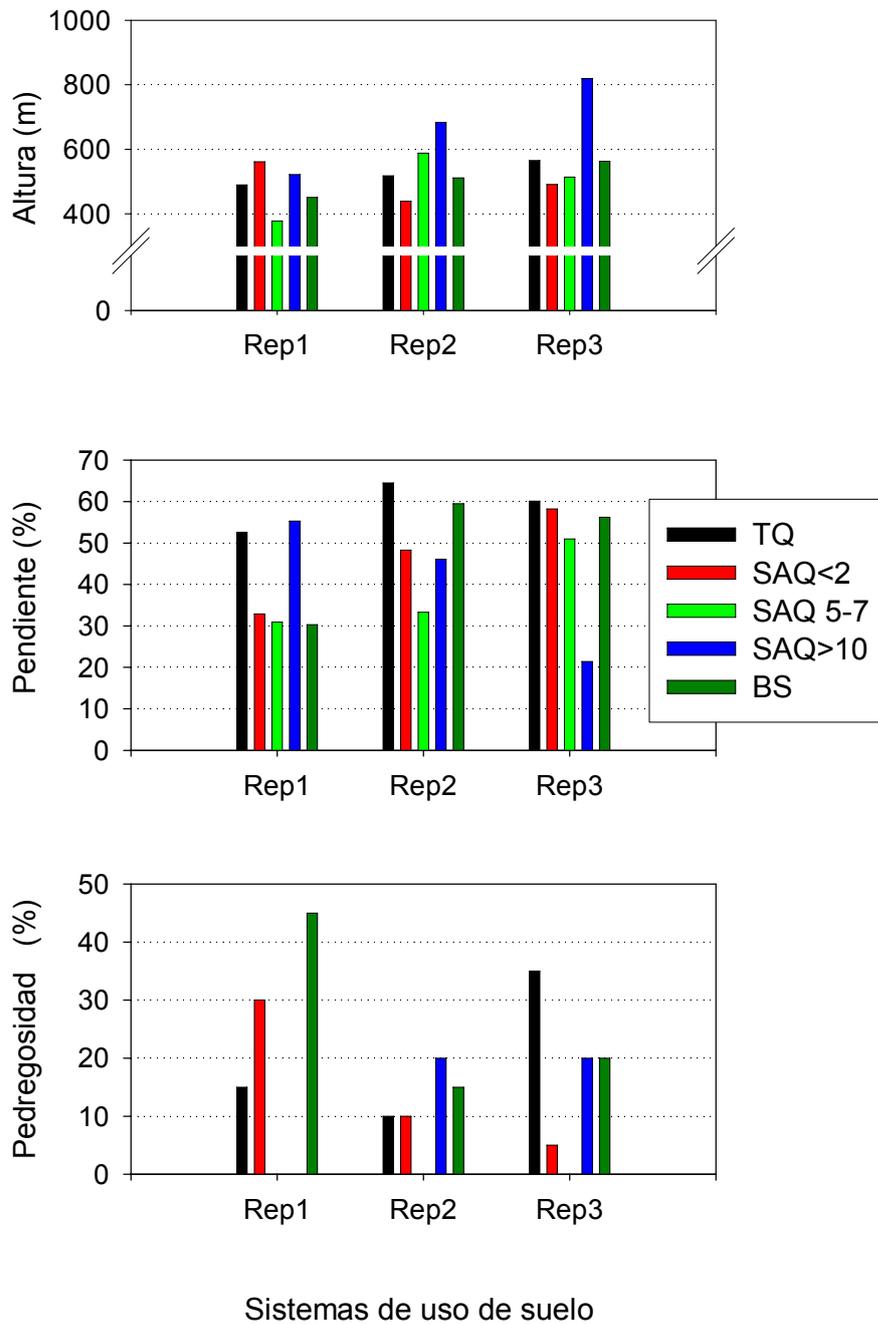


Figura 2. Altura sobre el nivel del mar, pendiente y pedregosidad en los sistemas: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), de las edades (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque secundario (BS), por repetición. Candelaria, Honduras, 2005.

El contenido de piedra de los sistemas de uso de suelo, de 0 a 40 cm de profundidad, varía entre 0 y 45%. Para cada uno de los sistemas el contenido de piedra varía así: TQ (0 y 35%), SAQ< 2 (4 y 30%), SAQ>10 (0 y 20%) y BS (0 y 45%); el SAQ 5-7 no presentó contenido de piedra. Características acordes con lo expresado por Simmons (CIAT, 1998), quien describe los suelos como Litosoles con perfiles superficiales y bajo drenaje, en contacto con piedras o fragipanes (Telpetatosos), pobremente formados debido a los fuertes procesos de erosión, cuyo uso recomendado incluye principalmente los bosques. Análisis de laboratorio realizados en CIAT- Palmira, a muestras de piedra provenientes del área de estudio, mostraron valores de densidad aparente de 1.63 g cm^{-3} , contenido volumétrico de humedad de 12.3% y contenidos, en cmol kg^{-1} , de K^+ (0.23), Ca^{+2} (3.74) y Mg^{+2} (1.07) y capacidad de intercambio catiónico de 4.2 en cmol kg^{-1} , mostrando características reactivas de la piedra (Rivera y Amézquita, 2006).

2.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL SUELO (Línea Base)

La caracterización Físico-Química del suelo del área de estudio, se realizó para cuantificar los parámetros que regulan la aceptación, el almacenamiento y la redistribución del agua en cada sistema de uso de suelo.

2.3.1 Trabajo de campo

El trabajo de campo se llevó a cabo en Abril de 2005, antes de la primera siembra del cultivo de maíz. La caracterización físico-química se efectuó mediante: i) evaluaciones en campo para la determinación de pendiente, cuantificación de mulch, piedras y raíces; ii) mediciones en campo de conductividad hidráulica saturada (Permeámetro de Gueph) a dos niveles de cargas hidráulicas (5 y 10 cm) y mediciones de resistencia tangencial al corte (Torcómetro) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad y iii) muestreo de suelo en calicatas de (50×50×40 cm), realizadas en la parte alta, media y baja en el sentido de la pendiente de cada unidad experimental, de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad. A cada profundidad se

recolectaron muestras no disturbadas en cilindros metálicos de 5 cm de diámetro x 5 cm de altura, en cilindros de 5 cm de diámetro x 2.5 de altura y muestras disturbadas de 500 gr aproximadamente. Muestras en anillos metálicos de 12 cm de diámetro y 10 cm de altura también fueron recolectadas.

2.3.2 Trabajo de laboratorio

Los análisis físicos y químicos fueron realizados en los laboratorios de Física de Suelos y de Servicios Analíticos del Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, localizado en Palmira-Colombia.

2.3.2.1 Determinaciones físicas

2.3.2.1.1 Muestras no disturbadas

2.3.2.1.1.1 Curvas de retención de humedad

Las muestras de suelo no disturbadas, recolectadas en cilindros metálicos de 5 cm de diámetro x 5 cm de altura, se utilizaron para determinar las curvas de retención de humedad a las succiones de 0, 75, 300, 1000 y 15000 cm. Las curvas de retención de humedad se realizaron en mesa de tensión para las succiones menores de 100 cm y en olla de presión para las succiones de 300, 1000 cm y 15000 cm (Forsythe, 1985).

2.3.2.1.1.2 Conductividad hidráulica saturada

La determinación de la conductividad hidráulica saturada se realizó por el método del Permeámetro de cabeza constante, descrita por Forsythe (1985). Las muestras de suelo recolectadas en cilindros (5 x 5 cm) se acondicionaron con tela de velo por encima y por debajo, fueron saturadas durante 24 horas, se colocaron en el permeámetro y se sometieron a una cabeza constante de 8 cm de agua. Las lecturas de volumen de agua se tomaron cada 10 minutos,

hasta obtener valores constantes de agua evacuada. La conductividad hidráulica saturada se obtuvo mediante la ecuación:

$$K_s = \left\{ [V/(t \times A)] \times \left[\frac{\Delta L}{\Delta H} \right] \right\}$$

donde:

K_s = Conductividad hidráulica, en cm h^{-1}

V = Volumen de agua recolectado, en cm^3

t = Tiempo, en minutos

A = Área de la columna de suelo, en cm^2

L = Altura de la columna de suelo, en cm

H = Altura de la carga hidráulica, en cm

2.3.2.1.1.3 Conductividad hidráulica no saturada

A partir de la conductividad hidráulica saturada (K_s), medida en laboratorio, se determinó con la ecuación reportada por Hillel *et al.* (1998):

$$K_i = K_s (\theta_i / \theta_s)^c \frac{\sum_{j=i}^m [(2j+1-2i) \Psi_j^{-2}]}{\sum_{j=1}^m [(2j-1) \Psi_j^{-2}]}$$

donde:

K_i = Conductividad hidráulica inicial (θ_i), en cm h^{-1}

M = Número del incremento de θ_v (igual a los intervalos de secamiento a saturación desde $\theta_v = 0$ hasta $\theta_v = \theta_s$, en cm^3)

ψ_i = Cabeza de succión en el punto medio de cada incremento θ , en cm

c = 1

2.3.2.1.1.4 Permeabilidad al aire

La permeabilidad al aire se determinó por el método del Permeámetro (aplicación de aire a una muestra de suelo por unidad de tiempo) y se obtuvo mediante la aplicación de la ecuación:

$$K = \left\{ \frac{[(Q \times \eta \times t)]}{[(P_2 - P_1) \times A \times t]} \right\}$$

donde:

K = Permeabilidad al aire, en cm d^{-1}

Q = Volumen de aire forzado a entrar a la columna de suelo, en cm^3

η = Viscosidad del aire, en poisses

L = Altura del cilindro, en cm

$P_2 - P_1$ = Diferencia de presión de aire sobre la muestra de suelo, en cm

A = Área del cilindro, en cm^2

t = Tiempo, en seg

2.3.2.1.1.5 Densidad aparente

Se obtuvo a partir del método del cilindro de volumen conocido (2.5 cm de alto x 5 cm de diámetro). El suelo fue secado a 105°C durante 24 horas. Se calculó aplicando la ecuación:

$$Da = \left(\frac{M_{ss}}{V_c} \right)$$

donde:

Da = Densidad aparente, en g cm^{-3}

M_{ss} = Masa de suelo seco a 105°C, en g

V_c = Volumen del cilindro, en cm^3

2.3.2.1.1.6 Humedad gravimétrica

Se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\theta_w \% = \left[\left(\frac{M_w}{M_{ss}} \right) \times 100 \right]$$

donde:

θ_w = Humedad volumétrica, en %

M_w = Masa de agua de agua, en g

M_{ss} = Masa de suelo seco a 105°C, en g

2.3.2.1.1.7 Humedad volumétrica

Se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\theta_v\% = \{ [(\theta_w \times Da) / \delta_w] \times 100 \}$$

donde:

θ_v = Humedad volumétrica, en %

Da = Densidad aparente, en g cm^{-3}

δ_w = Densidad del agua, en g cm^{-3}

2.3.2.1.1.8 Porosidad total

Se determinó mediante la siguiente expresión:

$$f = \{ [1 - (Da / Dr)] \times 100 \}$$

donde:

f = Porosidad total, en %

Da = Densidad aparente, en g cm^{-3}

Dr = Densidad real, en g cm^{-3}

2.3.2.1.1.9 Distribución de los poros

Macroporos = $(f - \theta_v 7.5 \text{ kPa})$, en %

Mesoporos = $(\theta_v 7.5 \text{ kPa} - \theta_v 1500 \text{ kPa})$, en %

Microporos = $(\theta_v 1500 \text{ kPa})$, en %

donde:

f = Porosidad total, en %

$\theta_v 7.5 \text{ kPa}$ = Humedad volumétrica a 7.5 kPa, en %

$\theta_v 1500 \text{ kPa}$ = Humedad volumétrica a 1500 kPa, en %

2.3.2.1.1.10 Susceptibilidad a la compactación

Se determinó mediante el Proctor, equipo con que se aplicaron 200 kPa de presión a cada muestra de suelo; se determinó mediante la expresión:

$$\%SC = [(D_{ai} / D_{af}) \times 100]$$

donde:

SC = Susceptibilidad a la compactación, en %

D_{ai} = Densidad aparente inicial, en $g\ cm^{-3}$

D_{af} = Densidad aparente final - Mss/Volumen final suelo, en $g\ cm^{-3}$

2.3.2.1.1.11 Distribución de agregados estables al agua

Se determinó por el método de Yoder, utilizando tamices de 4, 2, 1 y 0.5 mm; el diámetro medio ponderado (DMP) se obtuvo a través de la relación:

$$DMP = \left[\left(\sum_i^n M_{ssi} \% \times x_i \right) / 100 \right]$$

donde:

DMP = Diámetro medio ponderado, adimensional

M_{ssi} = Agregados del suelo retenidos por cada tamiz, en %

x_i = Promedio del diámetro de abertura del tamiz, en mm

2.3.2.1.1.12 Distribución de agregados secos al aire

Muestras no disturbadas de suelo seco al aire, fueron tamizadas usando aberturas de 6.3, 4, 2, 1, 0.5, 0.25 y 0.025 mm y el vibrador Sieve Shaker CSC, durante 10 minutos por muestra.

2.3.2.1.2 Muestras disturbadas

2.3.2.1.2.1 Densidad real

Se determinó mediante el método del picnómetro, mediante la siguiente ecuación:

$$Dr = (Ms / Vs)$$

donde:

Dr = Densidad real (sólidos), en $g\ cm^{-3}$

Ms = Masa de suelo seco a $105^{\circ}C$, en g

Vs = Volumen de los sólidos (suelo), en cm^{-3}

2.3.2.1.2.2 Textura

Se determinó por el método de Bouyucos (1927) (sedimentación diferencial), mediante las expresiones:

Arena = $100 - (Ms - 40\ seg)$, en %

Limo = $(Ms - 40\ seg) - \% \text{ de Arcilla}$, en %

Arcilla = $Lec\ 2h - 100 / Mss$, en %

2.3.2.2 Determinaciones químicas

2.3.2.2.1 Materia orgánica

La materia orgánica se determinó mediante método de Walkley y Black modificado (Rabenhorst, 1988).

2.3.2.2.2 Calcio, Magnesio y Potasio intercambiable

La determinación de cationes intercambiables se realizó con la solución extractora: Acetato- NH_4 1N, pH 7 (CIAT, 1979), cuantificados por espectrofotometría de absorción atómica.

2.3.2.2.3 Fósforo disponible

El fósforo disponible se determinó por extracción con la solución Bray II:HCl 0.1 N + NH₄F 0.03 N (Howeler, 1981).

2.3.2.2.4 Cobre, Manganeseo, Hierro, Boro y Zinc asimilables

Los micronutrientes Cu, Mn, Fe, B y Zn, se determinaron mediante extracción con la solución: HCl 0.5N, + H₂SO₄, 0.025N, Carolina del Norte (Lora, Citado por Vleck, 1985).

2.4 INFILTRACIÓN, ESCORRENTÍA, PÉRDIDA DE SUELO, SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN Y CALIDAD DE AGUA

2.4.1 Evaluación de infiltración, escorrentía, pérdida de suelo y susceptibilidad a erosión, mediante lluvia simulada

2.4.1.1 Calibración del minisimulador de lluvia

La simulación de la lluvia fue realizada mediante un minisimulador diseñado para áreas de ladera (Cobo, 1998). Para definir la altura de la columna de agua del simulador, para las intensidades requeridas (80 y 115 mm h⁻¹), se graduó el tubo de entrada de aire a diferentes alturas de columna de agua, en cada altura se determinó la cantidad de agua caída durante tres minutos, mediante el uso de 5 pluviómetros (recipientes) de área conocida distribuidos en una bandeja sobre el área efectiva, con esta información se calculó la intensidad de lluvia promedio para cada altura en mm h⁻¹. Con los datos de columna de agua e intensidad de lluvia obtenidos, se elaboró una gráfica y se ajustó un modelo lineal para expresar la intensidad de la lluvia simulada, en función de la altura de la columna de agua.

Lo anterior se corroboró mediante la estimación de la intensidad de lluvia requerida para las simulaciones en campo, estableciendo una relación entre el volumen total de la lluvia simulada y la intensidad de la precipitación; para este

fin se tomaron simultáneamente lecturas de volumen total caído y de la lámina promedio recolectada en un tiempo de tres minutos en los pluviómetros distribuidos en forma aleatoria bajo la lluvia simulada, para diferentes alturas de la columna de agua (10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16 cm). Los datos de volumen (cm^3) e intensidad (mm h^{-1}) se ajustaron a un modelo lineal, resultando en una columna de agua de 11 cm y un volumen total de 855 cm^3 para la intensidad de 80 mm h^{-1} y una columna de 15 cm y un volumen total de 1212 cm^3 para la intensidad de 115 mm ha^{-1} , para una duración de cinco minutos.

2.4.1.2 Procedimiento en campo

En cada una de las unidades experimentales se procedió a realizar la simulación a las intensidades de 80 y 115 mm h^{-1} . Antes del inicio de la simulación de lluvia, se tomaron muestras de suelo de 0 a 5 cm de profundidad, para determinar el contenido inicial de humedad, en un sitio adyacente al área de la simulación. Con el fin de disminuir la variabilidad de las propiedades evaluadas, con ayuda de una tijera se procedió a retirar la cobertura vegetal presente en el área donde se realizó la simulación.

Previamente al inicio de la simulación se colocaron los recipientes para la medición de los volúmenes de exceso y de escorrentía en sus respectivos sitios; seguidamente se abrió la válvula y simultáneamente se puso a correr el tiempo. Se tomó el tiempo de inicio de la escorrentía, al completarse los primeros cinco minutos de simulación se cambiaron los recipientes y se registraron los volúmenes recolectados. El agua de escorrentía se colocó en frascos plásticos debidamente rotulados. Este procedimiento se realizó cada cinco minutos hasta completar los 30 minutos de la simulación, tiempo en el cual se cerró la válvula. Luego con ayuda de una brocha se recolectó el suelo que no fue arrastrado por el agua en un recipiente y el suelo presente en la bandeja de escorrentía, finalmente se tomó una muestra de suelo dentro del área de la simulación de la lluvia para determinar el contenido de humedad final.

2.4.1.3 Determinación del área efectiva

Debido a la pendiente del terreno se calculó el área real sobre la cual se aplicó la lámina de agua, (proyección del área de la bandeja al plano horizontal). Como el área sobre la cual cae la lluvia simulada es menor a la bandeja de campo, su ajuste corresponde a:

$$Ae = A \cdot \cos(\theta)$$

donde:

Ae = área efectiva, en cm^2

A = área de la bandeja, en cm^2

(θ) = ángulo de inclinación del terreno, en grados

2.4.1.4 Determinación de las láminas de agua

2.4.1.4.1 Lámina aplicada

La lámina de agua aplicada es igual al volumen aplicado (cm^3) dividido por el área efectiva (cm^2), expresada en mm.

2.4.1.4.2 Lámina de escorrentía

La lámina de escorrentía es igual al volumen de escorrentía (cm^3) sobre el área efectiva (cm^2), expresada en mm.

2.4.1.4.3 Lámina que cae fuera del área efectiva

Esta lámina es igual al volumen del agua (cm^3) que cae fuera del área efectiva (excesos sobre el área efectiva), expresada en mm.

2.4.1.4.4 Lámina infiltrada

La lámina infiltrada es igual a la lámina aplicada menos la suma de las láminas de escorrentía y del agua que cae fuera del área efectiva, expresada en mm.

2.4.1.5 Determinación de pérdidas de suelo por escorrentía

Se determinaron las pérdidas de suelo en el agua proveniente de las parcelas de escorrentía, cada cinco minutos, durante media hora. Las muestras se recolectaron en recipientes plásticos y se midieron en probetas, luego se decantaron para desechar el agua superficial. Las muestras de suelo se llevan al horno a 105⁰C durante 24 horas para obtener suelo seco. El suelo perdido, cuantificado en gramos, se divide por el área efectiva, para expresar la pérdida de suelo en gramos por metro cuadrado y posteriormente calcular la pérdida en t ha⁻¹.

2.4.1.6 Determinación de los índices de erodabilidad K (USLE) y Ki (WEPP)

2.4.1.6.1 Determinación del índice de erodabilidad K (USLE)

La determinación del índice de erodabilidad se realizó usando la metodología propuesta por Wischmeier y Smith (1978), con base en la erosividad de las lluvias (R) y la pérdida de suelo por erosión (A) en Mg ha⁻¹, en el agua de escorrentía proveniente de lluvia simulada. La erosión potencial de un suelo, es igual a la erosividad (R) multiplicada la erodabilidad (K), considerando los demás factores de la Ecuación Universal de Erosión iguales a 1, correspondiente a su valor máximo (Hudson, 1982).

$$A = R \times K$$

donde:

A = Pérdida de suelo, en $t\ ha^{-1}\ h^{-1}$

R = Índice de erosividad de las lluvias, en $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$

K = Índice de erodabilidad del suelo, en $t\ ha^{-1}\ h^{-1}.MJ^{-1}\ mm^{-1}\ ha^{-1}$

$R = EI_{30}$

Según (Foster *et al.*, 1981) la energía cinética de la lluvia, E ($MJ\ ha^{-1}$) es igual a la energía cinética de la lluvia por unidad de lluvia, e ($MJ\ ha^{-1}\ mm^{-1}$), multiplicada por la precipitación total (mm).

donde:

$E = e \times Im$, en $MJha^{-1}$

$e = 0.119 + 0.0873 \log_{10} (Im)$, en $MJha^{-1}\ mm^{-1}$

Im = Intensidad de la lluvia, en $mm\ h^{-1}$

Erosividad del aguacero (EI_{30}) = $E \times Im$, en $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$

$EI_{30} = R$

$K = A/R$

A = Pérdida de suelo, en $t\ ha^{-1}\ h^{-1}$

$R = EI_{30}$

$K = A/EI_{30}$, en $t\ ha^{-1}\ h^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ ha^{-1}$

2.4.1.6.2 Determinación del índice de erodabilidad K_i (WEPP)

El índice de erodabilidad entre surcos K_i , establecido por el Proyecto de Predicción de Erosión por el Agua, WEPP (Elliot *et al.*, 1989; Lal, 1994; Bajracharrya *et al.*, 1992; Bruce y Lal, 1975), con base en la ecuación:

$$D_i = K_i \times l^2 \times S_f$$

donde:

D_i = Pérdida de suelo entre surcos, en $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$

K_i = Erodabilidad entre surcos, en kg s m^{-4}

I = Intensidad de la lluvia, en m s^{-1}

S_f = Factor pendiente

$S_f = 1.05 - (0.85) \exp(-4 \sin \theta)$

θ = Angulo de la pendiente, en grados

$K_i = D_i / I^2 S_f$, en kg s m^{-4}

2.4.2 Evaluación de pérdida de suelo y de nutrientes y de calidad de agua, mediante parcelas de esorrentía

Las parcelas de esorrentía se definen como un área regular cuyo perímetro se delimita adecuadamente, con el fin de captar el agua de esorrentía en un sitio común de drenaje. Este tipo de parcela se utiliza para medir el agua de esorrentía producida durante o después de la lluvia, para cuantificar el suelo erodado, la pérdida de nutrientes, el efecto residual de herbicidas, insecticidas o para determinar algunos parámetros hidrográficos. En general, su aplicación se puede extender a determinar factores que inciden en el manejo a nivel de cuenca.

Las parcelas fueron establecidas al inicio del 2005, en cada unidad experimental, mediante delimitación física (5 m de largo x 1.5 m de ancho), con láminas de aluminio calibre 30 insertadas en el suelo, localizadas en la mitad de la pendiente. En la parte inferior de cada parcela de esorrentía, se abrió una zanja de 20 cm de ancho por 50 cm de profundidad, la cual fue recubierta con polietileno negro. Esta zanja actúa como zona de captación del suelo erodado y del agua de esorrentía.

2.4.2.1 Pérdida de suelo por erosión

Las muestras de suelo erodado fueron recolectadas en intervalos semanales (durante \pm 22 semanas), en la época lluviosa durante los años 2005, 2006 y 2007, luego secadas al horno a 105°C durante 24 h, para cuantificar las pérdidas de suelo.

2.4.2.2 Pérdida de nutrientes por erosión

La determinación de pérdida de nutrientes, se realizó con base en análisis químicos para contenido total en el suelo de N, P, K⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺, efectuados a las muestras de suelo erosionado, recolectadas en las parcelas de escorrentía, evaluadas durante el año 2007.

2.4.2.3 Calidad de agua de escorrentía

Para la determinación de la calidad del agua proveniente de las parcelas de escorrentía, se analizaron las muestras para los parámetros: pH, P, PO₄⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, Cl⁻ y sólidos suspendidos totales, recolectadas 45 días después de la siembra, luego de la aplicación de fertilizantes y herbicidas.

2.4.3 Calidad de agua domiciliaria y en fuentes naturales

2.4.3.1 Calidad de agua domiciliaria

La evaluación de calidad de agua domiciliaria se realizó con muestras de agua de uso doméstico, de agricultores pertenecientes a las comunidades de Camapara, Quesungual, Gualmuraca, Portillo Flor, El Obrajito y San Lorenzo, zona de influencia del área del estudio, para los parámetros: pH, P, PO₄⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, Cl⁻ y sólidos suspendidos totales.

2.5.5.2.3.7 Calidad de agua de fuentes naturales

La evaluación de calidad agua de fuentes naturales fue realizada con muestras provenientes de los cerros El Cerique y Congolón (El Chupadero y El Campanario), los cuales proveen el agua al Municipio de Candelaria y en muestras de agua de los Ríos Pobo, Chayel y Lempa.

2.5 BALANCE DE AGUA

2.5.1 Datos climáticos

Se establecieron tres microestaciones meteorológicas en el área de influencia del estudio, en las Comunidades de Camapara (541 msnm), Quesungual (819 msnm) y Gualmuraca (378 msnm), para obtener registros con una frecuencia de 5 minutos, de temperatura del aire, temperatura de condensación, humedad relativa, precipitación y humedad de suelo.

2.5.2 Evapotranspiración

La evapotranspiración fue determinada a partir de los datos de temperatura, humedad, radiación y velocidad del viento obtenidos mediante registros de las microestaciones meteorológicas y/o generados por procedimientos de cálculo, aplicando los métodos de Hargreaves y Samani (1985) y Penman-Monteith (FAO, 1998).

2.5.3 Interceptación, Infiltración y Escorrentía

Mediciones de infiltración y escorrentía fueron realizadas mediante un minisimulador de lluvia a las intensidades de 80 y 115 mm h⁻¹, durante la época seca (antes de siembra) y en época lluviosa (antes de floración). Estas mediciones fueron utilizadas para calcular los porcentajes que de la precipitación simulada correspondieron a escorrentía e infiltración.

Para la estimación de la interceptación de la lluvia por la cobertura vegetal se generaron factores de interceptación, a partir del número de árboles y la cantidad de biomasa de residuos por hectárea, para cada uno de los sistemas.

Los registros de precipitación de las microestaciones se agruparon en eventos de lluvia menores y mayores de 5 mm. La estimación de la interceptación se obtuvo aplicando el factor de interceptación a la precipitación registrada tanto para los eventos menores como mayores de 5 mm. El procedimiento se aplicó para la obtención de los datos de interceptación en los períodos de desarrollo evaluados de cada cultivo y para los distintos sistemas.

La totalidad de los eventos menores de 5 mm, descontada la interceptación, se consideró que correspondían a infiltración y los mayores de 5 mm, descontada la interceptación, se distribuyeron entre infiltración y escorrentía (5 mm de lluvia por evento, es la cantidad usada por la mayoría de modelos de simulación), aplicando el correspondiente porcentaje derivado de las mediciones realizadas con el minisimulador de lluvia. Este procedimiento se efectuó para cada cultivo, en los períodos de desarrollo evaluados (siembra a floración, floración a llenado de grano y llenado de grano a madurez fisiológica).

2.5.4 Almacenamiento de agua en el suelo

Las mediciones de humedad en el suelo se realizaron por determinación gravimétrica, con muestreos durante, floración, llenado de grano y madurez fisiológica para los cultivos de maíz y frijol y en el estado de vegetativo 4 en maíz. El muestreo fue realizado de manera sistemática, a las profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-100, 60-80 y de 80-100 cm, seleccionando por parcela ocho sitios correspondientes al área de influencia de ocho plantas. El contenido de humedad volumétrica fue calculado con base en los valores determinados de humedad gravimétrica y densidad aparente.

2.5.5 Cálculo de evapotranspiración

2.5.5.1 Método de Hargreaves

Los registros de temperatura, obtenidos de las microestaciones meteorológicas, se utilizaron para estimar la evapotranspiración diaria durante los períodos: de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, en cada una de las unidades experimentales.

Para estimar la evapotranspiración se utilizó el método ajustado por Hargreaves y Samani (1985) y posteriormente se corrigió con base en los coeficientes de los cultivos de maíz y frijol propuestos por FAO (2008).

Ecuación de Hargreaves para el cálculo de Evapotranspiración (ET_o)

$$ET_o = 0.0023 (T_{promedio} + 17.8) (T_{max} - T_{min})^{0.5} R_a$$

donde:

ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia, en $mm\ d^{-1}$

T = Temperatura, en $^{\circ}C$

R_a = Radiación extraterrestre, en $mm\ d^{-1}$

La radiación extraterrestre (R_a), para cada día del año y en cada latitud específica fue estimada a partir de la constante solar, teniendo en cuenta la inclinación del sol y la época del año mediante:

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} dr \left[\omega_s \text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \text{sen}(\omega_s) \right] \quad (Ec.1)$$

donde:

R_a = Radiación extraterrestre, en $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$

G_{sc} = Constante solar, corresponde a 0.0820 , en $MJ\ m^{-2}\ min^{-1}$

dr = Distancia relativa inversa de la tierra al sol (Ec.2)

ω_s = Angulo horario de puesta del sol, en radianes (Ec. 3)

φ = Latitud, en radianes (Ec. 4)

δ = Inclinación solar, en radianes (Ec. 5)

$$dr = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi)\tan(\delta)] \quad (\text{Ec. 3})$$

$$\varphi = \frac{\pi}{180} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$\delta = 0.409 \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \quad (\text{Ec. 5})$$

donde:

J = Es el número correspondiente al día Juliano en el año, entre 1 (1 Enero) y 365 (31 Diciembre)

Evaporación equivalente (mm d^{-1}) = R_a ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) \times 0.408

donde:

$1/\lambda = 0.408$ (inverso del calor latente de vaporización)

2.5.5.1.1 Ajuste local de la evaporación equivalente (mm d^{-1})

En cada una de las unidades experimentales, se midió la evaporación en un día de cielo despejado (30 Junio de 2007), ubicando tres recipientes plásticos por unidad, desde las 8 am hasta las 4 pm. Cada recipiente contenía un volumen de 350 mL de agua, al final de la medición se cuantificó el agua

evaporada. Esta medición se hizo entre las calles de los cultivos y en el bosque secundario.

La evaporación así cuantificada, se comparó con la evaporación equivalente calculada con base en los registros de las microestaciones para el mismo día de la medición en campo.

Se cuantificó la diferencia porcentual entre la evaporación medida en campo y la evaporación equivalente. Esta diferencia porcentual, que puede ser positiva o negativa, se utilizó para ajustar la evaporación equivalente diaria, deducida a partir de la radiación extraterrestre (R_a), que a su vez se calculó con base en registros climáticos de las microestaciones.

La radiación extraterrestre (R_a) expresada en mm d^{-1} , como evaporación equivalente de esta manera ajustada, se utilizó para el cálculo definitivo de la evapotranspiración (ET_o).

2.5.5.1.2 Cálculo de la evapotranspiración de los cultivos (ET_c)

La evapotranspiración de los cultivos (ET_c) es calculada mediante la multiplicación de la evapotranspiración del cultivo de referencia, ET_o por el coeficiente de los cultivos (K_c).

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

donde:

ET_c = Evapotranspiración de los cultivos, en mm d^{-1}

K_c = Coeficiente de los cultivos, adimensional

ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia en mm d^{-1}

Los coeficientes utilizados para el cultivo de maíz fueron: 0.30 (0 a 5 días), 0.40 (5 a 29 días), 0.75 (29 a 60 días) y 1.15 (60 a 93 días); para el cultivo de frijol

fueron: 0.30 (0 a 5 días), 0.35 (5 a 29 días), 0.75 (29 a 48 días) y 1.12 (48 a 76 días) (FAO, 2008), períodos de tiempo correspondientes a: germinación, floración, llenado de grano y madurez fisiológica.

2.5.5.2 Método Penman-Monteith

Ecuación Penman-Monteith (FAO, 1998) para el cálculo de ET_o

$$ET_o = \frac{0.408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

donde:

ET_o = Evapotranspiración de referencia, en mm d⁻¹

R_n = Radiación neta en la superficie del cultivo, en MJ m⁻² d⁻¹

G = Densidad del flujo de calor del suelo, en MJ m⁻² d⁻¹

T = Temperatura del aire a 2 m de altura, en °C

u_2 = Velocidad del viento a 2 m de altura, en m s⁻¹

e_s = Presión de vapor a saturación, en kPa

e_a = Presión de vapor actual, en kPa

$e_s - e_a$ = Déficit de presión de vapor a saturación, en kPa

Δ = Pendiente de la curva de la presión de vapor, en kPa °C⁻¹

γ = Constante sicrométrica, en kPa °C⁻¹

2.5.5.2.1 Requerimiento de datos

Aparte de la localización del sitio, la ecuación de Penman-Monteith requiere datos de temperatura del aire, humedad, radiación y velocidad del viento, tomados con una frecuencia diaria.

2.5.5.2.1.1 Localización

La localización debe ser específica para altitud sobre el nivel del mar (m) y latitud (grados norte o sur). Esos datos son necesarios para ajustar algunos parámetros como promedios locales de presión atmosférica (en función de la elevación del sitio sobre el nivel del mar) y calcular la radiación extraterrestre (R_a) y en algunos casos, horas de luz d^{-1} (N).

2.5.5.2.1.2 Temperatura del aire

Se requieren promedios diarios de temperatura del aire (T), máxima y mínima, en grados Celsius ($^{\circ}C$).

2.5.5.2.1.3 Humedad del aire

Se requiere el promedio diario de presión de vapor actual (e_a) en kilopascales (kPa). Si no está disponible, puede obtenerse a partir de la humedad relativa máxima y mínima (%), de datos sicrométricos (temperatura de bulbo seco y húmedo en $^{\circ}C$), o por la temperatura de condensación en $^{\circ}C$.

2.5.5.2.1.4 Radiación

Se requiere el promedio diario de radiación neta (R_n) en $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$. La radiación neta se puede obtener de la radiación de onda corta medida con un piranómetro o del promedio diario de duración actual del brillo solar (B_s) expresado en $h\ d^{-1}$, medido con Campbell-Stokes.

2.5.5.2.1.5 Velocidad del viento

Se requiere la velocidad del viento promedio diaria en $m\ s^{-1}$ medida a 2 m del nivel de la superficie. Las mediciones se pueden ajustar a la altura requerida estándar. Cuando estos datos no están disponibles, un valor de $2\ m\ s^{-1}$, puede ser usado como un estimativo temporal. Dato que se ubica en la clasificación

de viento entre ligero a moderado ($1-3 \text{ m s}^{-1}$), este valor corresponde al promedio de 2000 estaciones alrededor del mundo.

2.5.5.2.2 Parámetros Atmosféricos

2.5.5.2.2.1 Presión atmosférica (P)

La presión atmosférica (P), es la presión ejercida por el peso de la atmósfera de la tierra. La evaporación a altas altitudes es promovida debido a baja presión atmosférica (expresada por la constante sicrométrica).

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065Z}{293} \right)^{5.26}$$

donde:

P = Presión atmosférica, en kPa

z = Elevación sobre el nivel del mar, en m

2.5.5.2.2.2 Calor latente de vaporización (λ)

El calor latente de vaporización (λ) expresa la energía requerida para cambiar una unidad de agua de forma líquida a vapor de agua, a presión y temperatura constante. El valor varía en función de la temperatura. Como λ varía ligeramente poco sobre los rangos de la temperatura normal, el valor de 2.45 MJ kg^{-1} , es tomado en la simplificación de la ecuación Penman-Monteith.

2.5.5.2.2.3 Constante sicrométrica (γ)

$$\gamma = \frac{C_p}{\epsilon \lambda} = 0.005 \times 10^{-3} P$$

donde:

γ = Constante sicrométrica, en $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$

P = Presión atmosférica, en kPa

λ = Calor latente de vaporización, en 2.45, MJ kg⁻¹

c_p = Calor específico a presión constante 1.013 10⁻³, en MJ kg⁻¹ °C⁻¹

ε = Relación entre el peso molecular del vapor de agua y del aire seco (0.622)

2.5.5.2.2.4 Temperatura del aire (T)

Agrometereológicamente está relacionada con la temperatura del aire próxima al nivel del dosel de los cultivos, registros medidos a la altura estándar de 2m.

$$T_{\text{promedio}} = \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{2}$$

2.5.5.2.2.5 Presión media de vapor de saturación (e_s)

Los valores de la presión media de vapor deben ser calculados como el promedio de la presión de vapor a saturación a las temperaturas máxima y mínima diarias para un período, debido a su no linealidad.

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T_{\text{max}}) + e^{\circ}(T_{\text{min}})}{2}$$

Como la presión media de saturación está relacionada con la temperatura del aire, entonces:

$$e^{\circ}(T) = 0.6108 \exp\left[\frac{17.27T}{T + 237.3}\right]$$

donde:

$e^{\circ}(T)$ = Presión de vapor a saturación a la temperatura del aire, en kPa y T de aire, en °C

\exp = 2.7183 (base de logaritmo natural)

2.5.5.2.2.6 Pendiente de la curva de la presión de vapor a saturación (Δ)

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp \left(\frac{17.27T}{T+237.3} \right) \right]}{(T+237.3)^2}$$

donde:

Δ = Pendiente de la curva de la presión de vapor a saturación a la temperatura del aire, en kPa °C⁻¹

T = Temperatura del aire, en °C

exp = 2.7183 (base de logaritmo natural)

2.5.5.2.7 Presión actual de vapor (e_a)

La presión actual de vapor es calculada a partir de los datos de humedad relativa:

$$e_a = \frac{e^{\circ}(T_{\min}) \frac{RH_{\max}}{100} + e^{\circ}(T_{\max}) \frac{RH_{\min}}{100}}{2}$$

donde:

e_a = Presión de vapor actual, en kPa

$e^{\circ}(T_{\min})$ = Presión de vapor a saturación a temperatura mínima diaria, en kPa

$e^{\circ}(T_{\max})$ = Presión de vapor a saturación a temperatura máxima diaria, en kPa

RH_{\max} = Humedad relativa máxima, en %

RH_{\min} = Humedad relativa mínima, en %

Para RH_{\max} :

$$e_a = e^{\circ}(T_{\min}) \frac{RH_{\max}}{100}$$

Para RH_{\min} :

$$e_a = e^{\circ}(T_{\max}) \frac{RH_{\min}}{100}$$

Para RH_{promedio} :

$$e_a = \frac{RH_{promedio}}{100} \left[\frac{e^o(T_{max}) + e^o(T_{min})}{2} \right]$$

2.5.5.2.2.8 Déficit de presión de vapor ($e_s - e_a$)

El déficit de presión de vapor es la diferencia entre la presión media a saturación (e_s) y la presión media actual (e_a), en kPa.

2.5.5.2.3 Parámetros de Radiación

2.5.5.2.3.1 Radiación extraterrestre (R_a)

Es la radiación solar recibida en la parte superior de la superficie horizontal de la atmósfera de la tierra. La radiación solar que cae perpendicular a la superficie de la atmósfera de la tierra es llamada constante solar, su valor está cercano a $0.082 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$.

La radiación extraterrestre, para cada día del año y diferentes latitudes, puede estimarse de la constante solar, la inclinación solar y la época del año, por:

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r \left[\omega_s \text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \text{sen}(\omega_s) \right]$$

donde:

R_a = Radiación extraterrestre, en $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Ec. 1)

G_{sc} = Constante solar (0.0820), en $\text{MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$

d_r = Distancia relativa inversa de la Tierra al Sol (Ec. 2)

ω_s = Angulo de declinación del sol, en radianes (Ec. 3)

φ = Latitud, en radianes (Ec. 4)

δ = Inclinación solar, en radianes (Ec. 5)

2.5.5.2.3.2 Radiación solar o de onda corta (R_s)

Es la cantidad de radiación que alcanza el plano horizontal de la atmósfera (R_s), también es conocida como radiación solar.

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a$$

donde:

R_s = Radiación solar o radiación de onda corta, en $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$

n = Duración actual del brillo solar, en h

N = Duración máxima posible del brillo solar o horas luz, en h

n/N = Duración relativa del brillo solar, en h

R_a = Radiación extraterrestre, en $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$

a_s = Constante que expresa la fracción de radiación extraterrestre que alcanza la tierra en un día (opaco) en que $n = 0$

$a_s + b_s$ = Fracción de radiación extraterrestre que alcanza la tierra en un día despejado, cuando ($n = N$).

a y b = valores de 0.25 y 0.50 son recomendados

2.5.5.2.3.3 Radiación solar a cielo despejado (R_{so})

Es la radiación solar que debería alcanzar la superficie de la tierra en condiciones de cielo despejado.

$$R_{so} = (0.75 + 2 \cdot 10^{-5} z) R_a$$

donde:

z = Elevación de la estación sobre el nivel del mar, en m

2.5.5.2.3.4 Radiación relativa de onda corta (R_s/R_{so})

La radiación relativa de onda corta es la relación de la radiación solar (R_s) y la radiación solar a cielo despejado (R_{so}).

2.5.5.2.3.5 Duración relativa de brillo solar (n/N)

La duración relativa de brillo solar es otra relación que expresa la nubosidad de la atmósfera. Es la relación de la duración actual del brillo solar (n) y la máxima duración posible del brillo solar u horas luz (N). En ausencia de nubes $n = N$.

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s$$

donde:

ω_s = al ángulo de inclinación del sol, en radianes

2.5.5.2.3.6 Albedo (α) y Radiación solar neta (R_{ns})

La fracción solar que es reflejada por la superficie es llamada albedo. El albedo es altamente variable para diferentes superficies, ángulo de incidencia o pendiente de la superficie de la tierra. Para la pastura de referencia, se asume que α tiene un valor de 0.23. La radiación neta (R_{ns}), es la fracción de la radiación solar (R_s) que no es reflejada de la superficie, su valor es $(1-\alpha) R_s$.

$$R_{ns} = (1-\alpha) R_s$$

donde:

$\alpha = 0.23$

R_s = Radiación solar, en $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$

2.5.5.2.3.7 Radiación neta de onda larga (R_{nl})

La radiación solar absorbida por la tierra es convertida a energía de calor. Por varios procesos incluyendo la emisión de radiación la tierra pierde esa energía. La tierra emite energía radiactiva de onda larga mayor que la del sol. La radiación de onda larga emitida por la atmósfera incrementa la temperatura. La diferencia entre las entradas y salidas de onda larga es llamada radiación neta de onda larga (R_{nl}), como la salida de radiación de onda larga es casi siempre mayor que las entradas de radiación de onda larga, la R_{nl} representa una pérdida de energía.

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{\max K^4} + T_{\min K^4}}{2} \right] (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right)$$

donde:

R_{nl} = Radiación neta de onda larga emitida a la atmósfera, en MJ m⁻² d⁻¹

σ = Constante de Stefan-Boltzmann (4.903 10⁻⁹), en MJ K⁻⁴ m⁻² d⁻¹

$T_{\max, K}$ = Temperatura máxima absoluta durante 24-h, en K = °C + 273.16

$T_{\min, K}$ = Temperatura mínima absoluta durante un período de 24-h

e_a = Presión de vapor actual, en kPa

R_s/R_{so} = Radiación relativa de onda corta (valores ≤ 1.0), en MJ m⁻² d⁻¹

R_s = Radiación solar medida o calculada, en MJ m⁻² d⁻¹

R_{so} = Radiación solar en cielo despejado, en MJ m⁻² d⁻¹

2.5.5.2.3.8 Radiación neta (R_n)

La radiación neta (R_n), es la diferencia entre las entradas y salidas tanto de radiación de onda corta (R_{ns}) y como de onda larga (R_{nl}). La radiación neta es normalmente positiva durante el día y negativa durante la noche.

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

2.5.5.2.3.9 Flujo de calor del suelo (G)

El flujo de calor del suelo (G), es la energía utilizada en el calentamiento del suelo; G es positiva cuando el suelo está calentándose y negativa cuando se está enfriando.

$$G = C_s \frac{t_i - t_{i-1}}{\Delta t} \Delta z$$

donde:

G = Flujo de calor del suelo, en $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$
 c_s = Capacidad de calor del suelo, en $\text{MJ m}^{-3} \text{°C}^{-1}$
 T_i = Temperatura del aire en el tiempo i , en °C
 T_{i-1} = Temperatura del aire en el tiempo $i-1$, en °C
 Δt = Intervalo de longitud del tiempo, en días
 Δz = Profundidad efectiva del suelo, en m

Como la magnitud del flujo de calor del suelo, bajo el cultivo de referencia es relativamente pequeño en períodos de uno a diez días, éste puede ser considerado como:

$$G_{\text{día}} \approx 0$$

2.5.5.2.4 Velocidad del viento (U_2)

El viento está caracterizado por la dirección y la velocidad. La velocidad del viento, dada en m s^{-1} .

Para los cálculos de evapotranspiración se requiere de mediciones a 2 m sobre la superficie. Para ajustar datos obtenidos a diferente altura de la estándar se debe utilizar un perfil logarítmico de velocidad del viento:

$$U_2 = U_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)}$$

donde:

u_2 = Velocidad del viento a 2 m sobre la superficie, en m s^{-1}

u_z = Velocidad del viento a z m sobre la superficie, en m s^{-1}

z = Altura de medición encima de la superficie, en m

2.5.5.2.5 Cálculo de la evapotranspiración de los cultivos (ETc)

La evapotranspiración de los cultivos (ET_c), es calculada mediante la multiplicación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) por el coeficiente de los cultivos (K_c)

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

donde:

ET_c = Evapotranspiración de los cultivos, en mm d^{-1}

K_c = Coeficiente de los cultivos, adimensional

ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia, en mm d^{-1}

Los coeficientes utilizados para el cultivo de maíz fueron: 0.30 (0 a 5 días), 0.40 (5 a 29 días), 0.75 (29 a 60 días) y 1.15 (60 a 93 días); para el cultivo de frijol fueron: 0.30 (0 a 5 días), 0.35 (5 a 29 días), 0.75 (29 a 48 días) y 1.12 (48 a 76 días) (FAO, 2008), períodos de tiempo correspondiente a: germinación, floración, llenado de grano y madurez fisiológica.

2.5.6 Cálculo del balance de agua

Los componentes del balance de agua fueron obtenidos en forma diaria, durante el período de desarrollo de los cultivos, (25 Mayo-18 Octubre para maíz y 25 Septiembre-17 Diciembre para frijol): la precipitación, medida en las microestaciones; la evapotranspiración, calculada mediante los métodos de Hargreaves y Samani (1985) y Penman-Monteith (FAO,1998), la interceptación y la escorrentía, estimadas mediante los procedimientos antes descritos para estos parámetros y el drenaje se estimó en el 10% de la precipitación para todos los sistemas de uso de suelo.

El balance hídrico fue calculado mediante la ecuación:

$$P = INTER + ET_o + ESC + D \pm \Delta H$$

donde:

P = Precipitación, en mm

$INTER$ = Interceptación por la cobertura, en mm

E_{TO} = Evapotranspiración, en mm d^{-1}

ESC = Escorrentía, en mm

D = Drenaje, en mm

ΔH = Cambio en el almacenamiento de humedad en el suelo, en mm

2.5.7 Rendimiento de los cultivos de maíz y frijol

2.5.7.1 Rendimiento del cultivo de maíz

El rendimiento del cultivo de maíz fue determinado, durante los años de evaluación, de 2005 a 2007, en las parcelas de producción y expresado como grano producido en t ha^{-1} , al 15% de humedad.

2.5.7.2 Rendimiento del cultivo de frijol

El rendimiento del cultivo de frijol fue determinado, durante los años de evaluación, de 2005 a 2007, en las parcela de producción y expresado como grano producido en t ha^{-1} , al 15% de humedad.

2.5.8 Cálculo de la productividad de agua de los cultivos de maíz y frijol

El cálculo de productividad de agua se realizó con base en los rendimientos de grano en kg ha^{-1} obtenidos en el 2007, en los cultivos de maíz y frijol y con base en la evapotranspiración calculada por los Métodos Hargreaves y Samani (1985) y Penman-Monteith (FAO, 1998).

2.5.9 Cálculo de la eficiencia de uso del agua por los cultivos

El cálculo de eficiencia en el uso del agua (Muñoz-Perea *et al.*, 2007) se realizó con base en los rendimientos de grano en kg ha⁻¹ obtenidos en el 2007, en los cultivos de maíz y frijol y con base en la evapotranspiración calculada por los Métodos Hargreaves y Samani (1985) y Penman-Monteith (FAO, 1998).

2.6 VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA HUMEDAD DEL SUELO Y VARIABILIDAD ESPACIAL DE DENSIDAD APARENTE, CARBONO ORGÁNICO Y TEXTURA

2.6.1 Localización geográfica

El estudio se realizó en la Comunidad de Camapara, Municipio de Candelaria, en un área de 2448 m² (24 × 102 m), distribuida así: SAQ<2 (64.7%), BS (23.5%) y TQ (11.8%), ubicados respectivamente a 512, 540 y 532 msnm, y con suelos de textura franco arcillosa. Los sistemas de uso de suelo BS y TQ involucran áreas correspondiente a las parcelas experimentales mientras el sistema SAQ<2 años corresponde a parcelas manejadas por el agricultor.

2.6.2 Muestreo de suelo y análisis de laboratorio

En el área de estudio, previamente georeferenciada, se demarcaron tres transectos paralelos en el sentido de la pendiente (N-S), separados nueve metros entre si. En cada transecto fueron señalados seis puntos fijos cada 18 metros. Para la evaluación del contenido de humedad se llevó a cabo un muestreo sistemático, a partir de los puntos fijos predeterminados, el cual consistió en la toma de muestras, durante nueve días (26 de Mayo a 3 de Junio de 2006), a las profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm. Alrededor de cada punto fijo se establecieron 8 puntos adicionales, separados entre si 3 m en la coordenada x y 6 m en la coordenada y, los cuales forman un rectángulo de 6 × 12 m. Para cada día el muestreo en el transecto 1 se inició a

las 9 am, en el transecto 2 a las 11 am y en el transecto 3 a las 3 pm; el primer día se muestrearon los puntos fijos y en los días subsiguientes los restantes puntos, para un total de 648 muestras (Figura 3).

Las muestras de suelo fueron analizadas para determinar contenido gravimétrico de humedad, textura por el método del hidrómetro (Gee y Boudier, 1986) y contenido de carbono orgánico por el método de Walkley y Black (Rabenhorst, 1988). Adicionalmente muestras sin disturbar (tomadas en anillos metálicos de 5 cm alto × 5 cm diámetro) fueron utilizadas para determinar densidad aparente.

2.6.3 Análisis estadístico

Las variables medidas fueron analizadas usando métodos de estadística clásica, para obtener los valores máximos, mínimos, media, mediana, desviación estándar y skewnees (Shapiro y Wilk, 1965), en cada sistema de uso de suelo y a las diferentes profundidades. El procedimiento estadístico ANOVA fue realizado (SAS Institute, 1996) para comparar cada variable a través del perfil, usando una prueba de diferencia mínima significativa protegida al ($P < 0.05$). Las variables con coeficiente de variación alto fueron transformadas usando logaritmo natural antes de realizar los análisis geoestadísticos.

El grado de variabilidad espacial para cada variable fue determinado por los métodos geo-estadísticos usando análisis de semivariograma, Kriging, y autocorrelación (Trangmar *et al.*, 1985; Bailey y Gatrell, 1998). Antes de aplicar las pruebas geoestadísticas, cada variable fue probada para determinar normalidad, tendencia y anisotropía. La tendencia geográfica fue determinada usando el Software (GS-Plus, 1985). Cuando la variable presentó una tendencia geográfica, entonces un modelo de primer orden (lineal) fue desarrollado para la variable z (variable dependiente) y las coordenadas geográficas x y y (variables independientes).

El modelo de tendencia lineal, fue probado con una regresión ordinaria mediante ANOVA. Si el modelo de tendencia lineal resulta significativo ($P < 0.05$), entonces la variable de suelo es ajustada mediante la sustracción de la variable de los cálculos del modelo lineal. Los residuales fueron cuantificados como cercanos a la estacionalidad y fueron usados para calcular el semivariogramas. La interpolación residual fue ejecutada con Kriging. Finalmente, se adicionan los residuales interpolados a la tendencia completa de primer orden para completar el mapa de la variable.

Aunque la forma exacta del semivariograma es desconocida, el modelo seleccionado y usado es solo una aproximación a ésta función (Journel y Huijbregts, 1978). Sin embargo, para seleccionar el mejor modelo el procedimiento de Jack - Knifing) fue ejecutado. En este modelo de ensayo y error, cada punto conocido es estimado usando los datos de puntos cercanos pero no el dato medido. De esta manera, el semivariograma, para cada variable del suelo fue ajustado por ensayo y error hasta lograr el mejor ajuste entre el valor estimado y el valor real (Bailey y Gatrell, 1998).

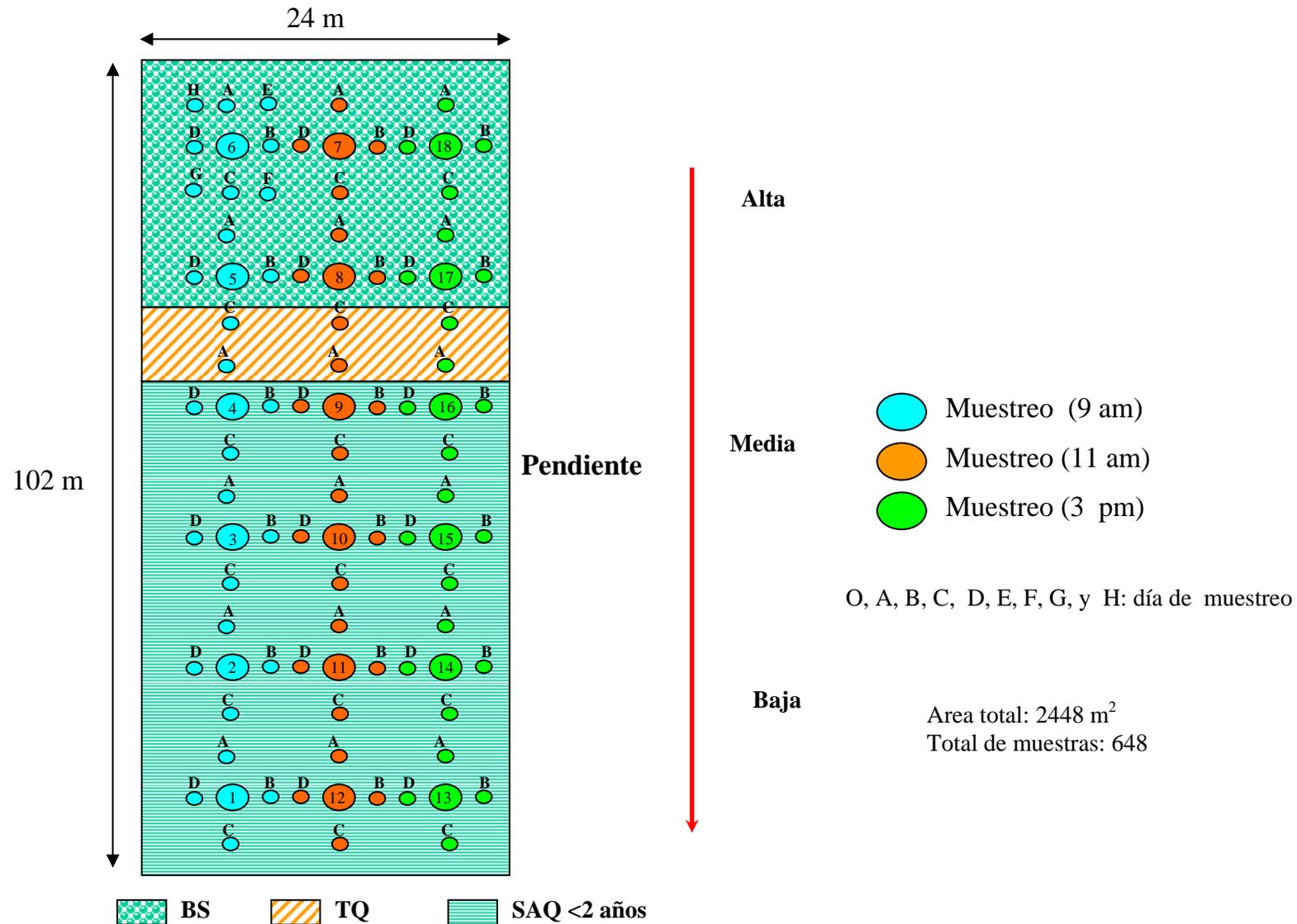


Figura 3. Distribución del muestreo en tiempo y espacio en el transecto en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ<2) y Bosque Secundario (BS). Camapara, Candelaria, Lempira.Honduras, 2006.

El semivariograma fue determinado para cada variable, para averiguar el grado de variabilidad espacial entre las observaciones vecinas y la función del modelo apropiado fijado al semivariograma. La función del semivariograma (Goovaerts, 1997) fue calculada así:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \left\{ \sum_{i=1}^{N(h)} [z(X_i + h) - z(X_i)]^2 \right\}$$

Donde:

γ = Es la semivarianza para el intervalo de clase (h)

$N(h)$ = Es el número de pares separados por la distancia (lag), entre dos posiciones muestreadas

$z(X_i)$ = Es una variable medida en la posición espacial (i)

$z(X_i + h)$ = Es una variable medida en la posición espacial (i+h)

Un semivariograma consiste de una función de tres parámetros básicos los cuales describen la estructura espacial como:

$$\gamma(h) = C_0 + C$$

Donde:

C_0 = Representa el efecto nugget, el cual es la variación local que ocurre a una escala menor que a los intervalos del muestreo

$C_0 + C$ = Es el sill, umbral, (varianza total)

La distancia a la cual los niveles del semivariograma caen al umbral es llamada rango.

Se elaboraron los mapas de contorno de cada variable, para cada horizonte a través del método ordinario de Kriging (David, 1977; Clark, 1979), usando sus respectivos modelos de semivariogramas mediante el software GS-Plus (1985).

La autocorrelación espacial es usada para expresar los cambios espaciales en las propiedades del suelo medidas en campo y el grado de dependencia entre

observaciones cercanas. Esta información identifica intervalos de muestreo adecuados, para las observaciones remanentes espacialmente correlacionados y puede ser usada para el diseño de esquemas de muestreo de suelo (Viera *et al.*, 1981).

Para la autocorrelación espacial, el estadígrafo I (Moran, 1950), fue usado para calcular el coeficiente a la distancia lag seleccionada. El estadígrafo I es una medición de autocorrelación de similar interpretación a la correlación de Pearson; ambos estadígrafos van desde el rango + 1.0, que significa autocorrelación positiva fuerte, pasando por cero (0), que significa patrón de comportamiento al azar hasta -1.0 que indica autocorrelación espacial negativa fuerte.

El estadígrafo I de Morán es definido como:

$$I = \left[\frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \right] \left[\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \right]$$

Donde:

n = Es el número de puntos

X = Es la variable de interés

\bar{X} = Es la media de X

W_{ij} = Es el peso espacial que describe la adyacencia ó distancia entre los puntos i -ésimo y j -ésimo.

2.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo en parcelas divididas, como parcelas principales los niveles de fertilización y como sub-parcelas los sistemas de uso de suelo. Sin embargo, se emplearon diseños experimentales específicos dependiendo de las variables evaluadas.

Los análisis de varianza, las comparaciones de medias, pruebas T-student, análisis de correlación y regresión fueron llevados a cabo mediante SAS (1996) a través de los siguientes procedimientos: ANOVA, GLM, MEANS, TTEST, CORR y REG. Los datos fueron también analizados por técnicas multivariadas (componentes principales).

La variabilidad espacial y temporal fue determinada en transectos, mediante análisis geoestadísticos usando el software GS-Plus (1985) para obtener semivariogramas, interpolación (Kriging), mapas de contorno y autocorrelogramas (Índice de Moran). Los datos fueron también analizados a través de técnicas de estadística clásica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL SUELO (Línea base)

Los resultados y la discusión tienen como base el análisis de las propiedades físicas y químicas tomadas para el establecimiento de la línea base, al momento del inicio de la evaluación de los sistemas de uso de suelo: sistema tradicional de Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de tres edades de establecimiento (<2, 5-7 y >10 años) y el Bosque secundario (BS).

3.1.1 Propiedades físicas

3.1.1.1 Determinaciones en campo

3.1.1.1.1 Resistencia tangencial al corte

La Figura 4 muestra los valores promedios de resistencia tangencial al corte en cada sistema de uso de suelo y su variabilidad en el perfil del suelo, de 0 a 40 cm de profundidad.

El análisis de los resultados mostró diferencias entre los valores promedio de resistencia tangencial al corte de la parte alta y baja de la pendiente. Los mayores valores promedio tanto en la parte alta como en la parte baja de la pendiente se presentaron en el sistema SAQ 5-7 (82.5 y 90.3 kPa). Los menores en SAQ>10 (50.6 y 55.5 kPa) en la parte alta y baja de la pendiente, respectivamente. Los valores altos del sistema SAQ 5-7 muy probablemente son debidos al mayor contenido de arcilla además de la historia de uso (ganadería), lo cual evidencia problemas de compactación, los valores de resistencia tangencial al corte corresponden a limitación alta para el desarrollo

de raíces. El BS mostró baja limitación para el desarrollo de las raíces tanto en la parte alta como en la baja de la pendiente. Mientras TQ presentó en todo el perfil valores más altos en la parte alta de la pendiente que en la parte baja; los sistemas SAQ<2 y BS presentaron la misma tendencia excepto a las profundidades de 20-40 cm y 0 a 10 cm, respectivamente. Los otros sistemas presentaron valores similares o menores en la parte alta de la pendiente. Las mediciones están asociadas además de la textura, al contenido de humedad al momento del muestreo, la cual tiende a disminuir la resistencia del suelo a ser cortado. Los valores de resistencia tangencial al corte < 45 kPa están asociados a alta productividad (Amézquita, 1998).

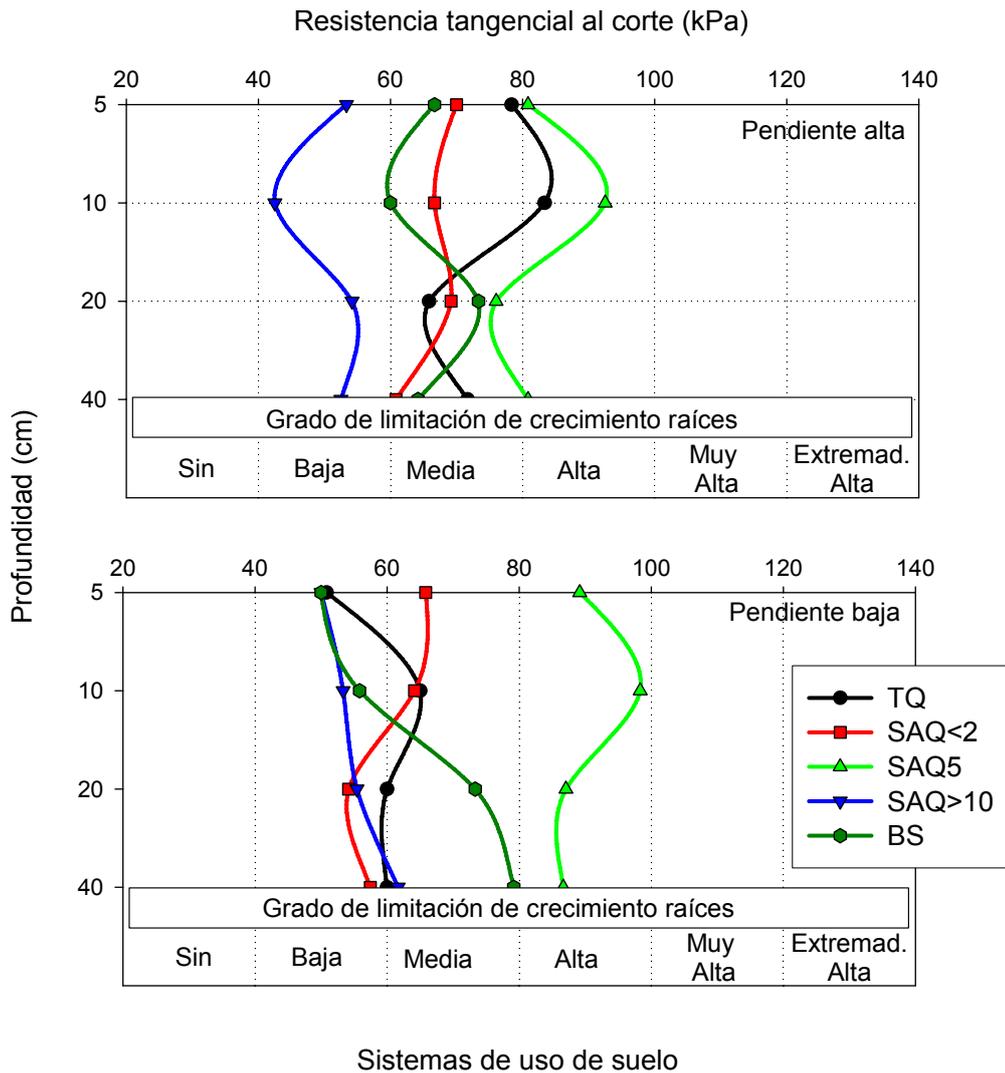


Figura 4. Valores promedio de resistencia tangencial al corte en los sistemas: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual, SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque Secundario (BS), de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.

3.1.1.1.2 Conductividad hidráulica saturada determinada en campo

La Figura 5 muestra los valores promedio de conductividad hidráulica saturada determinada en campo (CHS_{DC}), con el permeámetro de Guelph a 30 cm de profundidad en cada sistema de uso de suelo.

Los resultados muestran diferencias significativas entre sistemas de uso de suelo. Los valores estuvieron en el rango entre 1.0 y 14.6 $cm\ h^{-1}$ en los

sistemas TQ y BS, respectivamente. Los SAQ presentaron en promedio valores de 5.1 cm h^{-1} , los mayores se observaron en SAQ>10 (8.7 cm h^{-1}) y los menores SAQ 5-7 (2.8 cm h^{-1}), debidas a mejores condiciones físicas.

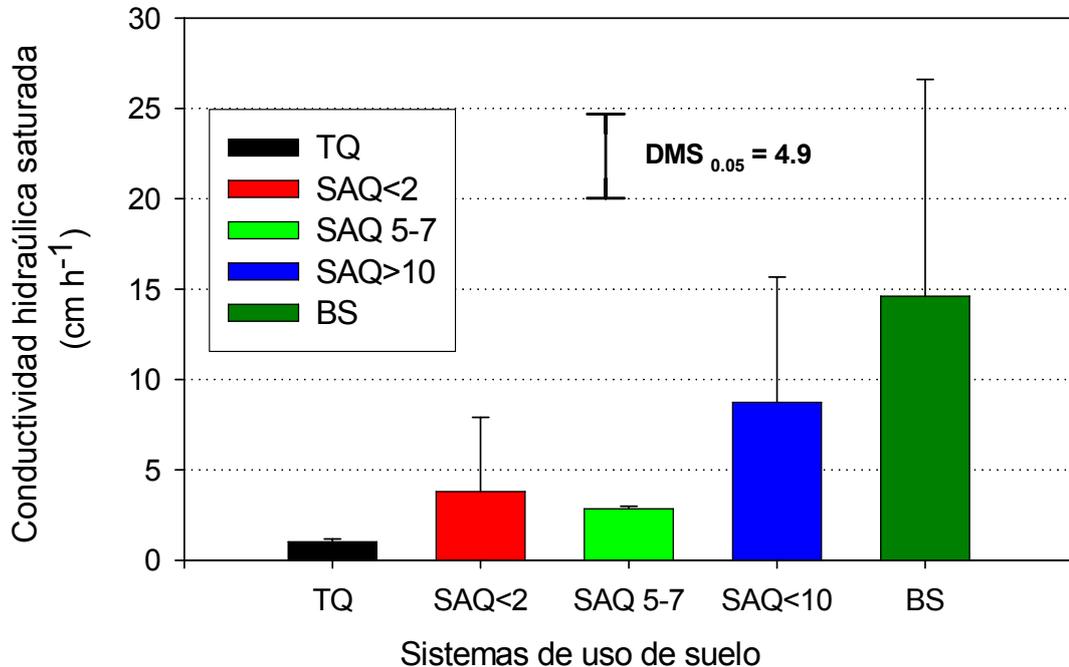


Figura 5. Valores promedio de conductividad hidráulica saturada, determinada en campo, en los Sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras, 2005.

Normalmente la CHS_{DC} es menor que la conductividad hidráulica saturada determinada en laboratorio, debido a las burbujas que quedan atrapadas en el suelo, por efecto del proceso de infiltración, resultando en un contenido menor de agua bajo condiciones saturadas. La CHS_{DC} es más apropiada para la simulación de los procesos de infiltración, puesto que representa fielmente las condiciones de humedecimiento en campo. Reynolds y Elrick (1985) encontraron que los valores de CHS_{DC} corresponden a la media de las conductividades hidráulicas saturadas horizontales y verticales de muestras de suelo no disturbadas. La CHS_{DC} , se considera que tiene un valor aproximadamente de la mitad de la conductividad hidráulica verdadera (Bouwer, 1986). Valores de conductividad hidráulica saturada $>6 \text{ cm h}^{-1}$ están asociados a alta productividad (Amézquita, 1998).

3.1.1.2 Determinaciones en laboratorio

3.1.1.2.1 Propiedades mecánicas

3.1.1.2.1.1 Textura

La Tabla 1, contiene el rango de valores para el contenido porcentual de arena, limo y arcilla y las correspondientes clases texturales en cada sistema de uso de suelo, determinadas de 0 a 40 cm de profundidad (Figura 6). El sistema TQ presentó el 77.1% de los suelos francos, el 17.1% franco arenosos y un 5.7% franco arcillosos.

El SAQ<2, el 44.1% franco arenosos, el 23.5% francos, el 23.5 % franco arcillo arenosos y un 8.8% franco arcillosos. El SAQ 5-7, el 75% francos, el 16.7% franco arcillosos y el 8.3% franco arcillo arenosos. El SAQ>10, el 30.1% franco arcillo arenosos, el 22.1% francos, el 19.4% franco arcillosos, el 19.4% franco arenosos y el 8.3% arcillosos. El BS, presentó el 75% de los suelos con textura franca y el 25 % franco arenosos.

El SAQ>10 mostró suelos con mayor proporción de textura franco arcillo arenosa, el 30% y menor proporción de texturas francas 22%, seguido de SAQ<2 con el 23% de suelos franco arcillo arenosos y 23% con textura franca. Los otros sistemas presentaron suelos con predominio de la textura franca, el 75%.

En general los sistemas de uso de suelo muestran la siguiente distribución de clases texturales: francos el 53.8%, franco-arenosos el 20.7%, franco arcillo arenosos el 13.0%, franco arcillosos el 10.7% y arcillosos el 1.8%.

Tabla 1. Distribución de las clases texturales, de su frecuencia de ocurrencia y del rango de valores porcentuales de arena, limo y arcilla (0 a 40 cm de profundidad) en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), de <2, 5-7 y >10 años y Bosque secundario (BS). Candelaria, Honduras, 2005.

Sistemas	Clase textural	Frecuencia ^{&}	Arena %	Limo %	Arcilla %
TQ	Franco	27	41.0 - 51.3	27.1 - 47.2	9.1 - 24.3
	Franco arcilloso	2	46.4 - 55.2	24.3 - 27.4	20.5 - 26.2
	Franco arenoso	6	55.0 - 63.4	22.1 - 33.7	10.6 - 19.2
SAQ<2	Franco	8	37.8 - 51.8	27.6 - 43.1	12.3 - 26.8
	Franco arcillo arenoso	8	50.1 - 57.8	21.3 - 26.9	20.2 - 24.0
	Franco arcilloso	3	35.6 - 42.3	27.8 - 28.2	29.6 - 36.3
	Franco arenoso	15	53.0 - 63.5	22.7 - 35.2	9.5 - 18.3
SAQ 5-7	Franco	27	35.8 - 45.8	27.6 - 43.9	16.0 - 26.8
	Franco arcillo arenoso	3	48.8 - 46.1	24.9 - 27.4	24.9 - 28.9
	Franco arcilloso	6	34.3 - 38.5	28.3 - 34.1	27.5 - 33.4
SAQ>10	Franco	8	33.4 - 46.6	30.4 - 42.5	15.1 - 25.5
	Franco arcillo arenoso	11	45.2 - 53.9	19.9 - 27.6	20.1 - 31.8
	Franco arcilloso	7	32.1 - 44.2	23.6 - 33.3	28.6 - 35.6
	Franco arenoso	7	52.8 - 62.5	22.5 - 33.7	11.3 - 19.2
	Arcilloso	3	23.5 - 31.3	28.7 - 30.4	40.1 - 46.1
BS	Franco	21	37.1 - 50.0	30.6 - 46.6	11.3 - 26.1
	Franco arenoso	7	53.2 - 63.3	24.0 - 33.0	10.2 - 15.3

&

Frecuencia = al número de veces de ocurrencia de cada clase textural para cada sistema de uso.

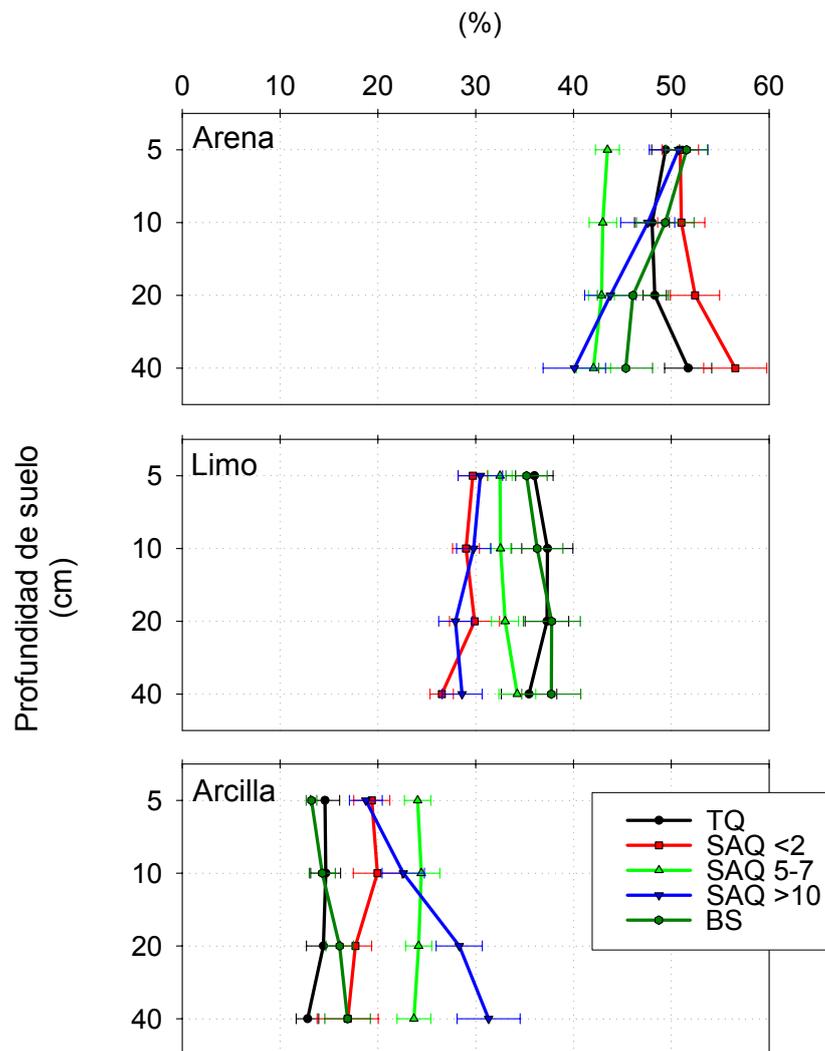


Figura 6. Valores promedio de contenido de arena, limo y arcilla, en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque Secundario (BS), de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.

3.1.1.2.1.2 Distribución de tamaño de agregados secos al aire

La Tabla 2 muestra los valores promedio de la distribución porcentual del tamaño de agregados determinados en seco, para los rangos de >6, 6-4, 4-2, 2-1, 1-0.5, 0.5-0.25, 0.25-0.125 <0.125 mm, en cada sistema (0 a 40 cm de profundidad).

Tabla 2. Valores promedio de distribución de tamaño de agregados de 0 a 40 cm de profundidad, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años y Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2005.

Tratamiento	Tamaño de agregados							
	>6mm	6-4mm	4-2mm	2-1mm	1-0.5mm	0.5-0.25 mm	0.25-0.125mm	<0.125mm
	%							
Sistema								
TQ	44.1 b	11.5 a	11.8 b	8.0 bc	7.8 bc	6.4 ab	5.5 b	5.0 bc
SAQ<2	52.5 a	11.0 a	11.2 b	6.7 d	6.3 d	4.8 c	4.1 c	3.4 d
SAQ 5-7	43.1 b	8.2 b	10.8 b	8.8 ab	9.1 ab	7.1 ab	6.6 a	6.2 a
SAQ>10	34.9 c	9.0 b	14.6 a	11.6 a	9.8 a	7.5 a	6.8 a	5.9 ab
BS	49.1 ab	9.4 b	11.5 b	7.7 cd	7.6 cd	6.0 b	4.5 c	4.2 cd
Prueba F	***	***	***	***	***	***	***	***
DMS _{0.05}	6.76	1.48	1.79	1.39	1.35	1.11	0.84	0.98
Prof (cm)								
0-5	48.1	9.7	11.4	7.6	7.1 c	5.8	5.2	5.1
5-10	44.3	10.8	12.6	8.6	7.6 bc	5.9	5.2	4.9
10-20	43.0	9.3	12.0	9.1	8.7 a	6.9	5.9	5.0
20-40	41.8	9.3	12.0	9.4	9.4 a	7.1	6.0	5.1
Prueba F	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
DMS _{0.05}	--	--	--	--	1.20	--	--	--
Sist × Prof	*	ns	ns	ns	*	*	*	*
CV%	31.5	31.2	30.9	33.3	34.2	36.0	31.5	40.5

Medias en la misma columna seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas (P= 0.05) prueba de Duncan. Prueba de F: ***P<0.001, **P=0.001-0.01, *P=0.01-0.05.

Los datos presentados muestran diferencias altamente significativas entre sistemas para los distintos tamaños de agregados. Para los agregados >6 mm, el SAQ>10 presentó los menores porcentajes (34.9 %) y los mayores el SAQ<2 (52.5%). Entre 6 y 4 mm, los mayores porcentajes se presentaron en TQ y SAQ<2 (11.5 y 11.0% respectivamente), los otros sistemas no mostraron diferencias significativas. Entre 4 y 2 mm, los porcentajes más altos se observaron en SAQ>10 (14.6%), los otros sistemas no presentaron diferencias significativas, alcanzando porcentajes promedio de 11.5%. Para los rangos 2-1, 1-0.5, 0.5-0.25 mm, los mayores valores se presentaron en SAQ>10 (11.6, 9.8 y 7.5% respectivamente), SAQ<2 mostró los menores valores (6.7, 6.3 y 4.8% respectivamente). Para los agregados entre 0.25-0.125 y <0.125 mm, los mayores porcentajes se presentaron en SAQ 5-7 (6.6 y 6.2%) y en SAQ>10 (6.8 y 5.9%) y los menores en SAQ<2 (4.1 y 3.4%). El SAQ<2 presentó los mayores porcentajes de agregados superiores a 4 mm y los menores porcentajes de agregados inferiores a 1 mm.

El análisis en profundidad mostró diferencias significativas únicamente para el rango de agregados entre 1.0 y 0.5 mm, presentando los mayores valores a las profundidades de 10 a 20 y de 20 a 40 cm (8.7 y 9.4% respectivamente) y los menores a las profundidades de 0 a 5 y de 5 a 10 cm (7.1 y 7.6% respectivamente).

De otra parte, para la interacción sistema por profundidad, se presentaron diferencias significativas para los rangos mayores de 6 mm y menores de 1 mm.

3.1.1.2.1.3 Distribución de tamaño de agregados estables en agua

La Tabla 3 muestra los valores promedio de la distribución porcentual del tamaño de agregados estables en agua, para los rangos de >6, 6-4, 4-2, 2-1, 1-0.125 <0.125 mm, en cada sistema de 0 a 40 cm de profundidad.

Tabla 3. Valores promedio de distribución de tamaño de agregados estables en agua, correspondientes a la línea base, de 0 a 40 cm de profundidad en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años y Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2005.

Tratamiento	Agregados estables en agua					
	>6mm	6-4mm	4-2mm	2-1mm	1-0.125mm	<0.125 mm
	-----%					
Sistema						
TQ	33.0 a	5.2 a	7.1 b	8.5 bc	12.8 d	33.1 b
SAQ<2	25.3 b	5.0 a	7.5 ab	12.3 a	16.9 bc	33.1 b
SAQ 5-7	13.9 c	3.5 b	4.9 c	7.8 c	20.4 a	49.5 a
SAQ>10	21.3 b	4.4 a	8.2 a	12.6 a	18.5 ab	34.9 b
BS	32.4 a	4.4 a	7.8 ab	9.6 b	14.3 cd	31.5 b
Prueba F	***	***	***	***	***	***
DMS _{0.05}	6.17	0.77	1.04	1.71	2.65	4.28
Prof (cm)						
0-5	42.8 a	5.4 a	8.0 a	7.9 c	10.6 c	25.2 d
5-10	25.9 b	4.9 ab	8.1 a	11.3 a	15.6 b	34.3 c
10-20	15.1 c	4.2 b	6.4 b	12.0 a	20.3 a	42.0 b
20-40	13.0 c	3.3 c	5.5 c	9.7 b	21.3 a	47.3 a
Prueba F	***	***	***	***	***	***
DMS _{0.05}	5.99	0.69	0.93	1.52	2.37	3.82
Sist × Prof	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV%	55.9	35.8	30.5	34.7	32.9	24.1

Medias en la misma columna seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas (P= 0.05) prueba de Duncan.

Prueba de F: ***P<0.001, **P=0.001-0.01, *P=0.01-0.05.

Los datos obtenidos muestran diferencias altamente significativas entre sistemas para los distintos tamaños de agregados estables en agua. Para los agregados >6mm, el sistema TQ presentó los valores más altos (33.0%), los más bajos se observaron en SAQ 5-7 (13.9%); los sistemas SAQ<2 y SAQ>10 mostraron valores de (25.3 y 21.3% respectivamente). Entre 6 y 4 mm los menores valores se presentaron en SAQ 5-7 (3.5%), en los otros sistemas no observaron diferencias significativas, con valores promedio (4.8%). Entre 2 y 1 mm los mayores agregados se presentaron en SAQ>10 (12.6%) y SAQ<2 (12.3%) y los valores más bajos en SAQ 5-7 (7.8%) y en TQ (8.5%). Para los agregados entre 1 y 0.125 mm y menores a 0.125 mm, los mayores valores se presentaron en SAQ 5-7 (20.4 y 49.5% respectivamente) y los menores en TQ (12.8%) para el rango entre 1 y 0.125 mm; para el rango de <0.125 los otros sistemas no presentaron diferencias, con valores promedio de 33.2%. El SAQ<2 y SAQ>10 presentaron los valores más altos de agregados estables en agua para los tamaños entre 6 y 1 mm y el SAQ 5-7 mostró los valores más bajos de agregados entre los rangos >6 y 1 mm y los más altos en los menores de 1 mm. El BS presentó valores altos de agregados entre 6 y 2 mm y bajos para los tamaños menores de 2 mm.

El análisis en profundidad mostró diferencias altamente significativas para todos los tamaños de agregados estables en agua, presentando los mayores valores de agregados >2 mm y las menores cantidades de agregados < 2mm, a la profundidad de 0 a 5 cm. Los agregados <1 fueron mayores en las profundidades de 10 a 20 y de 20 a 40 cm. No se presentaron diferencias significativas para la interacción sistemas por profundidad.

La Tabla 4 muestra la comparación de los valores promedio de los parámetros físicos evaluados en cada sistema de uso de suelo de 0 a 40 cm de profundidad.

Tabla 4. Valores promedio de parámetros físicos correspondientes a la línea base, de 0 a 40 cm de profundidad en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años y Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2005.

Tratamiento	D.A g cm ⁻³	PTOT	HSAT	HCC	HPMP	MACRO	MESO	PERCC	SUSC	CHS cm h ⁻¹
-----%-----										
Sistemas										
TQ	1.05 bc	59.0 ab	61.1 b	34.2 b	21.6 b	24.8 a	12.6	114.9 ab	81.7 c	18.9 ab
SAQ<2	1.06 bc	58.4 ab	63.5 a	36.3 a	23.5 a	22.1 ab	12.8	110.4 b	86.3 ab	16.5 b
SAQ 5-7	1.20 a	52.7 c	57.9 c	35.7 ab	22.8 ab	17.1 b	12.9	62.3 c	88.2 a	6.9 c
SAQ>10	1.09 b	57.1 b	62.6 ab	36.2 a	24.2 a	20.9 ab	12.0	89.9 bc	87.4 a	16.4 b
BS	1.03 c	59.8 a	62.3 ab	34.1 b	21.6 b	25.8 a	12.5	149.4 a	84.2 b	27.5 a
Prueba F	***	***	***	*	*	***	ns	**	***	*
DMS _{0.05}	0.05	2.28	1.81	1.60	1.87	3.55	--	35.75	2.43	9.06
Prof (cm)										
0-5	1.06 b	57.9	60.0	34.1 a	22.0	23.9	12.4	107.7	86.7	22.0 a
5-10	1.07 b	57.7	58.0	31.9 b	21.0	23.7	11.6	126.5	85.7	19.8 ab
10-20	1.12 a	56.2	56.1	32.2 b	20.1	20.4	13.4	95.0	85.5	12.6 b
20-40	1.12 a	57.2	55.4	32.4 b	20.8	21.1	12.9	76.6	84.5	11.5 b
Prueba F	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*
DMS _{0.05}	0.05	--	--	1.43	--	--	--	--	--	8.08
Sist × Prof	ns	ns	**	*	*	*	ns	*	ns	ns
CV%	11.2	8.2	6.1	9.4	17.0	33.5	26.1	71.7	5.8	111.9

DA = Densidad aparente, PTOT = Porosidad, HSAT = Humedad a saturación, HCC = Humedad a capacidad de campo, MACRO = Macroporos, MESO = Mesoporos, PERCC = Permeabilidad al aire a capacidad de campo, SUSC = Susceptibilidad a la compactación, CHS = Conductividad hidráulica saturada.

Medias en la misma columna seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas (P= 0.05) by Duncan. Prueba de F: ***P<0.001, **P=0.001-0.01, *P=0.01-0.05.

3.1.1.2.2 Propiedades volumétricas

3.1.1.2.2.1 Densidad aparente

Los sistemas TQ, SAQ<2 y BS presentaron valores bajos de densidad aparente y muy similares entre sí, debido a que tanto TQ y SAQ<2 para la fecha del muestreo correspondiente a la línea base estaban recién establecidos (a partir de BS), sus valores promedio fueron 1.05 g cm^{-3} . El SAQ 5-7 mostró valores mayores de densidad aparente, 1.20 g cm^{-3} (Figura 7). El análisis en profundidad mostró diferencias significativas, los menores valores se presentaron de 0 a 5 y 5 a 10 cm, con valores promedio (1.06 g cm^{-3}) y los mayores de 10 a 20 y 20 a 40 cm, con valores promedio (1.12 g cm^{-3}). No se encontraron diferencias significativas para la interacción sistema por profundidad (Figura 7). Valores de densidad aparente $>1.4 \text{ g cm}^{-3}$, son considerados críticos para la productividad (Amézquita, 1998).

3.1.1.2.2.2 Densidad real

Los análisis estadísticos no muestran diferencias significativas entre sistemas, con valores promedio entre sistemas de 2.55 g cm^{-3} . En profundidad se presentaron diferencias con valores menores en superficie y mayores en profundidad. Los valores fueron 2.50 y 2.53 g cm^{-3} de 0 a 5 y de 5 a 10 cm y de 2.55 y 2.61 g cm^{-3} de 10 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad, respectivamente (Figura 7).

3.1.1.2.2.3 Porosidad total

Los sistemas TQ, SAQ<2 y BS presentaron mayores valores de porosidad total, muy correlacionados a los bajos encontrados para densidad aparente en estos sistemas, con valores promedio de 59.1%; los mas bajos se observaron en SAQ 5-7, con valores promedio de 52.7%. El SAQ>10 presentó valores de 57.1%. Valores de porosidad total $>50\%$ son considerados indicadores de calidad del suelo y están asociados a alta productividad (Amézquita, 1998).

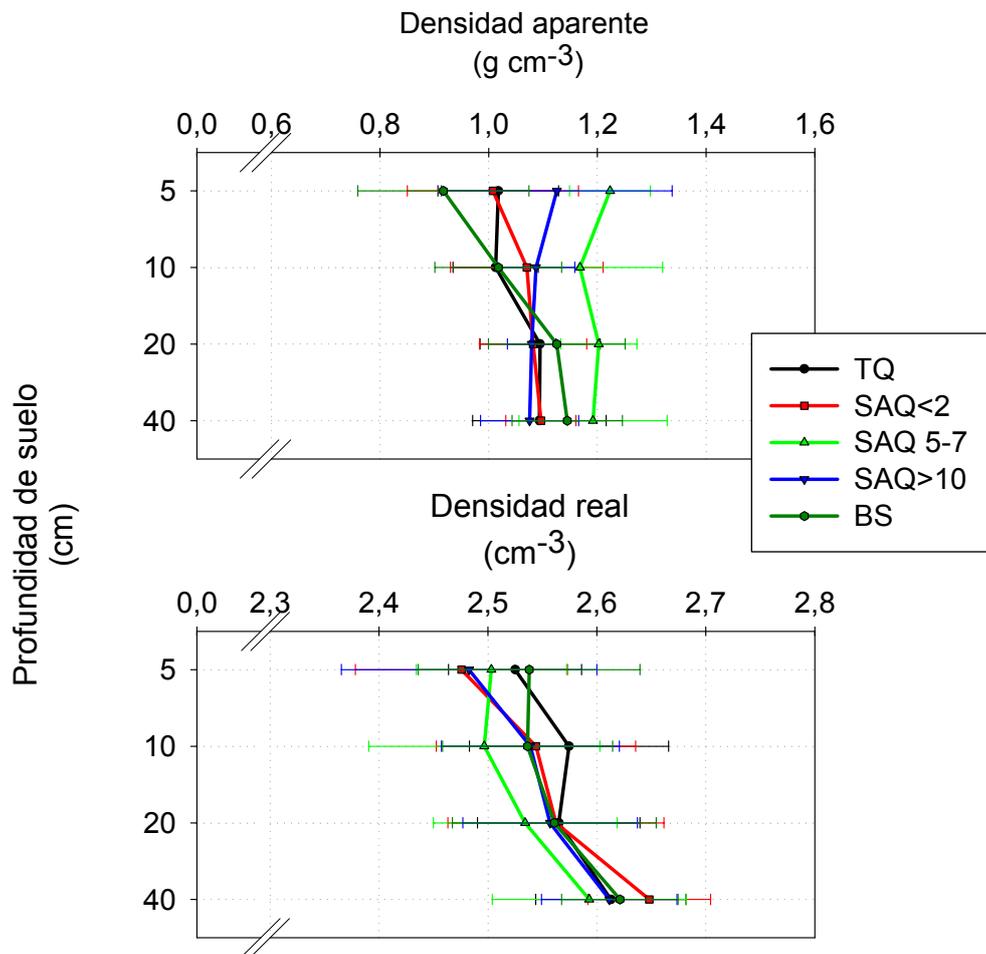


Figura 7. Valores promedios de densidad aparente y densidad real, en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque Secundario (BS), de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.

3.1.1.2.2.4 Porosidad de aireación

La porosidad de aireación a contenido de humedad a capacidad de campo, presentó diferencias altamente significativas entre sistemas de uso de suelo y no mostró diferencias entre profundidades, ni para la interacción sistema por profundidad. El mayor porcentaje de porosidad de aireación se observó en BS y TQ con valores de 25.7 y 24.7% respectivamente, los menores se encontraron en SAQ 5-7, 17.0%. El SAQ<2 y SAQ>10 presentaron valores de 22.1 y 20.9% respectivamente. Los resultados (Figura 8) indican que no existen

restricciones para el desarrollo de las raíces bajo ningún sistema, ya que el límite crítico para la aireación del suelo es 10%; por lo tanto, el suministro de oxígeno para el desarrollo de las raíces no está afectado (Amézquita, 1998).

3.1.1.2.2.5 Permeabilidad al aire

Los resultados muestran diferencias significativas entre sistemas de uso de suelo para permeabilidad al aire, a contenido de humedad a capacidad de campo. Los mayores valores se presentaron en BS (149.4 cm h⁻¹), TQ (114.9 cm h⁻¹), los menores en SAQ 5-7 (62.3 cm h⁻¹), los sistemas SAQ<2 y SAQ>10 mostraron valores de 110.4 y 89.9 cm h⁻¹, respectivamente.

3.1.1.2.2.6 Susceptibilidad a la compactación

Se observaron diferencias altamente significativas entre sistemas de uso de suelo, los mayores valores se presentaron en los SAQ, con porcentajes promedio de 87.3% y los menores en TQ y BS con 81.7 y 84.2%, respectivamente. Los resultados indican que el suelo en los SAQ tiene menos susceptibilidad a ser compactado, contrario a lo que ocurre en TQ y BS, cuya susceptibilidad a la compactación está cercana al 87%, valor que corresponde al límite crítico de éste parámetro (Figura 9).

3.1.1.2.3 Propiedades hidráulicas

3.1.1.2.3.1 Humedad volumétrica a saturación

Los mayores valores de humedad a saturación se observaron en SAQ<2, SAQ>10 y BS, con contenidos promedio de 62.8% y los menores en SAQ 5-7 con el (57.9%); TQ presentó valores de 61.1%. En profundidad, aunque se observó una tendencia a disminuir el contenido de humedad a saturación a mayor profundidad, el análisis no detectó diferencias (Figura 10).

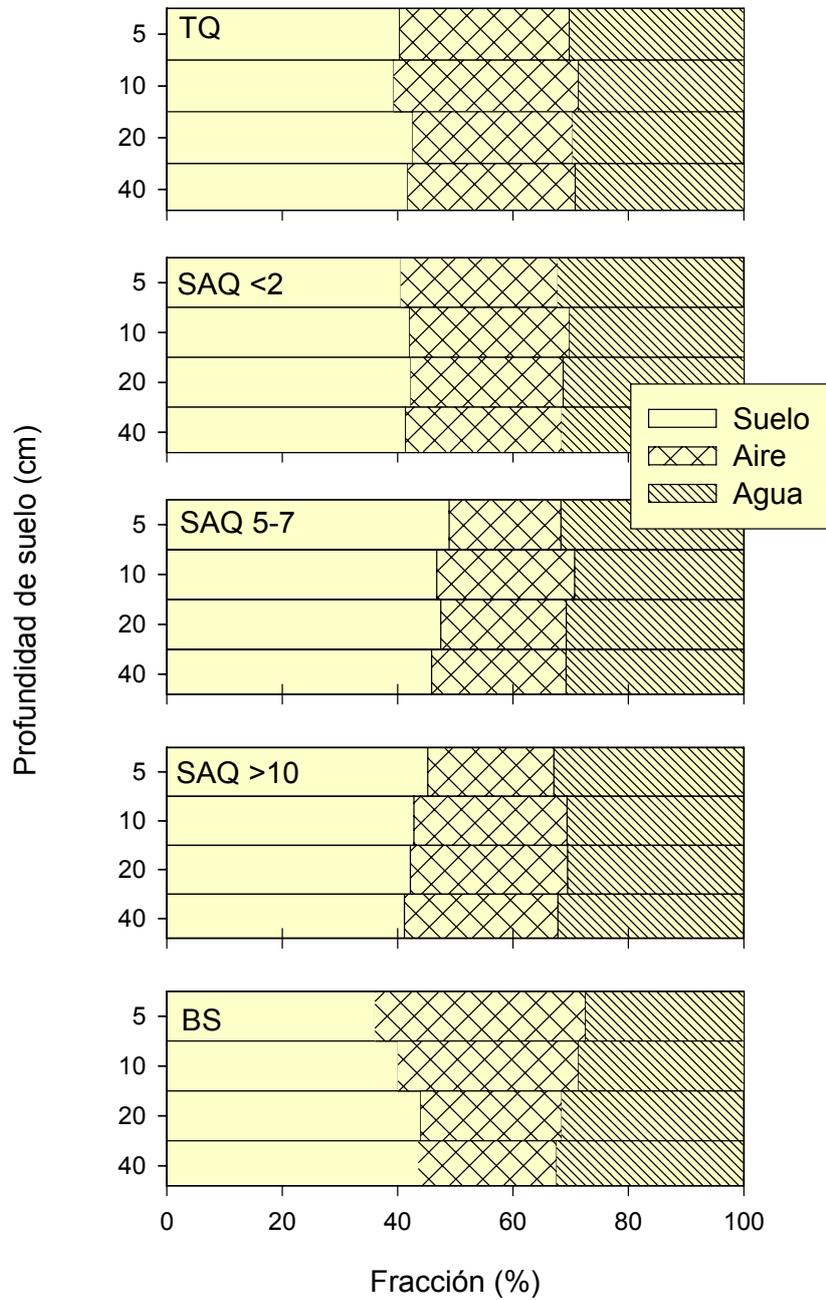


Figura 8. Distribución porcentual de la fracción sólida, líquida y gaseosa del suelo a capacidad de campo, a la profundidad de 0 a 40 cm, en los sistemas: Tala y Quema (TQ), SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2005

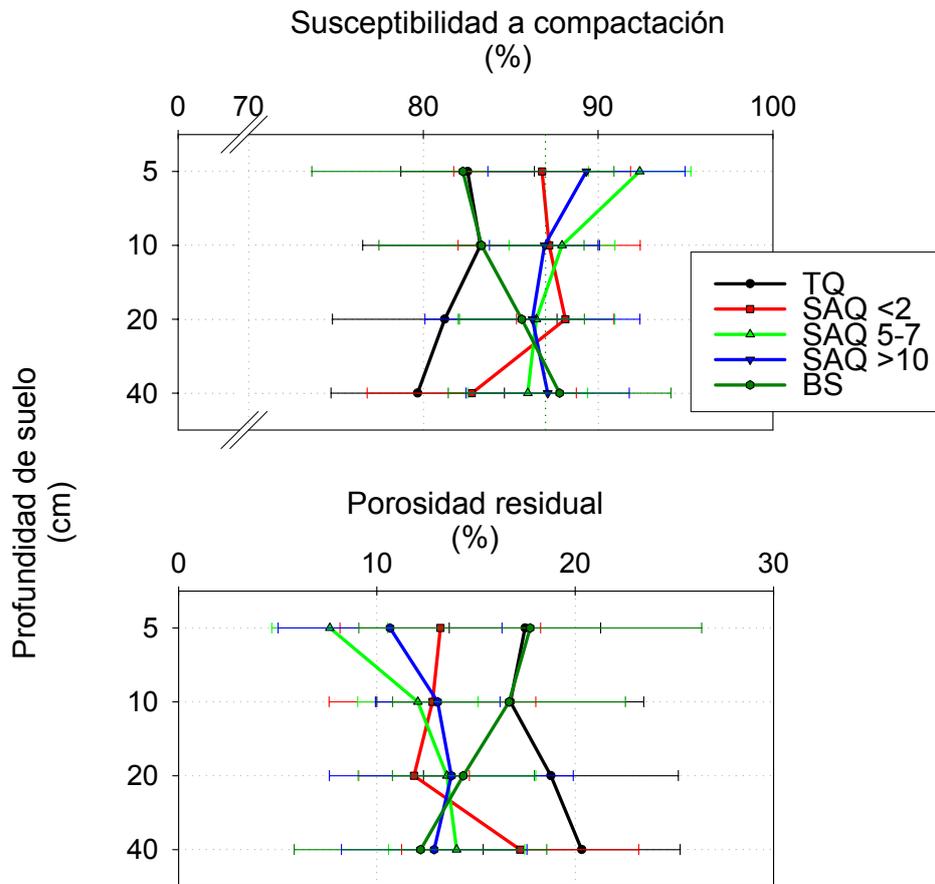


Figura 9. Valores promedio de susceptibilidad a compactación y porosidad residual en los sistemas: Tala y Quema (TQ), SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y en Bosque Secundario, BS de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.

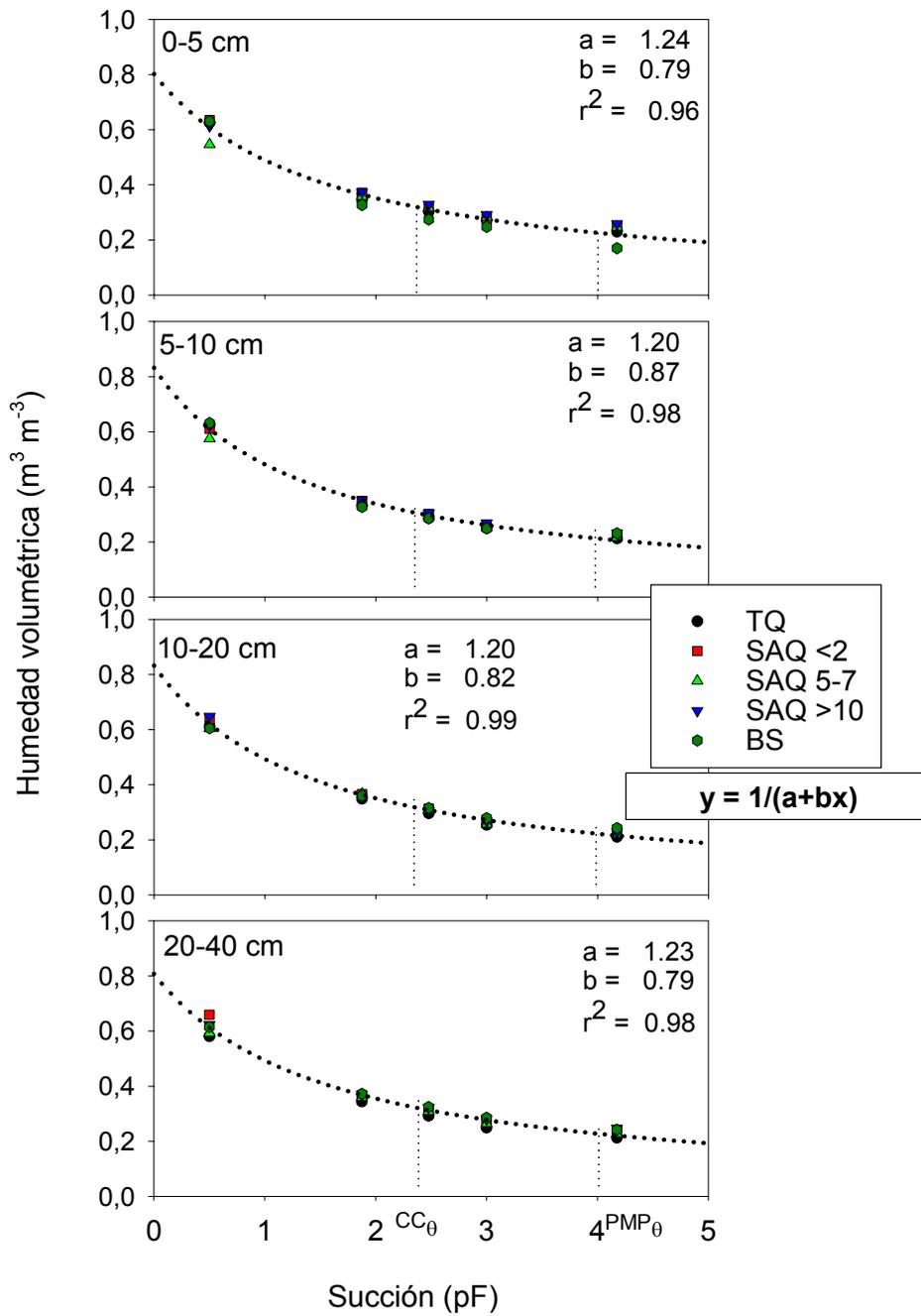


Figura 10. Curvas de retención de humedad y parámetros de ajuste al modelo Harris, en los sistemas: Tala y Quema (TQ), SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y en Bosque Secundario (BS), de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.

3.1.1.2.3.2 Humedad volumétrica a capacidad de campo

Los resultados obtenidos indican que hay diferencias significativas entre sistemas de uso de suelo para contenido de humedad a capacidad de campo. Los mayores valores se presentaron en los sistemas SAQ<2 y SAQ>10, con contenidos de humedad promedio del 36.2% y los menores en TQ y BS, con valores promedio de 34.1%; el SAQ 5-7 mostró valores de 35.7%. En el perfil del suelo los mayores valores se presentaron en la superficie de 0 a 5cm, 34.1%; de 5 a 40 cm, los valores promedio fueron 32.1%. Se observaron diferencias significativas en la interacción sistema por profundidad (Figura 10).

3.1.1.2.3.3 Humedad volumétrica a punto de marchitez permanente

Los resultados muestran diferencias significativas entre sistemas, con mayores valores de contenido de humedad en los SAQ que presentaron valores promedio de 23.5% y los menores en TQ y BS, con valores promedio de 21.6%. No se observaron diferencias significativas en profundidad, pero sí en la interacción sistemas por profundidad (Figura 10).

3.1.1.2.3.4 Agua aprovechable por las plantas

La cantidad de agua aprovechable por las plantas no presentó diferencias entre sistemas, profundidades ni en la interacción sistemas por profundidad. Los valores de agua aprovechable presentaron valores promedio de 12.6%.

3.1.1.2.4 Propiedades de conducción de humedad

3.1.1.2.4.1 Conductividad hidráulica saturada determinada en laboratorio

Los resultados indican diferencias significativas entre sistemas de uso de suelo; los mayores valores de conductividad hidráulica no saturada los

presentaron el BS (27.5 cm h^{-1}) y TQ (18.9 cm h^{-1}), los más bajos SAQ 5-7 (6.9 cm h^{-1}); SAQ>10 y SAQ<2 mostraron valores promedio de 16.4 cm h^{-1} . La conductividad hidráulica saturada en los sistemas BS y TQ es considerada como muy rápida, en los sistemas SAQ>10 y SAQ<2 como rápida y en el SAQ 5-7 como moderadamente rápida (FAO, 1995).

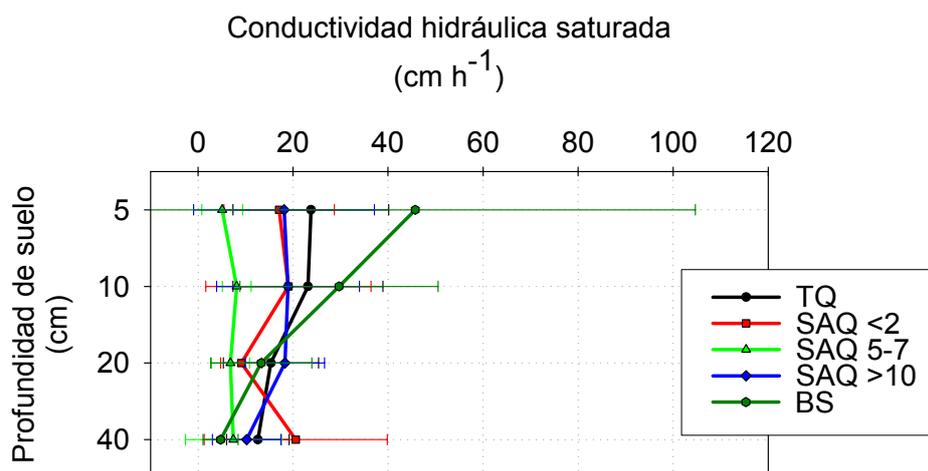


Figura 11. Valores promedio de conductividad hidráulica saturada, en los sistemas de uso: Tala y Quema, TQ, SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y en Bosque Secundario (BS), de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.

3.1.1.2.4.2 Conductividad hidráulica no saturada

La Figura 12 muestra los resultados de la conductividad hidráulica no saturada de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad, en cada sistema de uso de suelo, calculada por el método matemático presentado por Hillel (1998). Se observaron diferencias altamente significativas entre sistemas de uso de suelo y a profundidad. Los mayores valores de conductividad hidráulica no saturada de 0 a 5 y de 5 a 10 cm, de profundidad los presentó BS, con valores de $356,6$ y $249,5 \text{ cm d}^{-1}$; los menores a estas profundidades el SAQ 5-7, con valores de $24,8$ y $38,5 \text{ cm d}^{-1}$; de 10 a 20 cm, los valores más altos se observaron en SAQ>10 (125.6 cm d^{-1}) y los más bajos SAQ 5-7 (31.2 cm d^{-1});

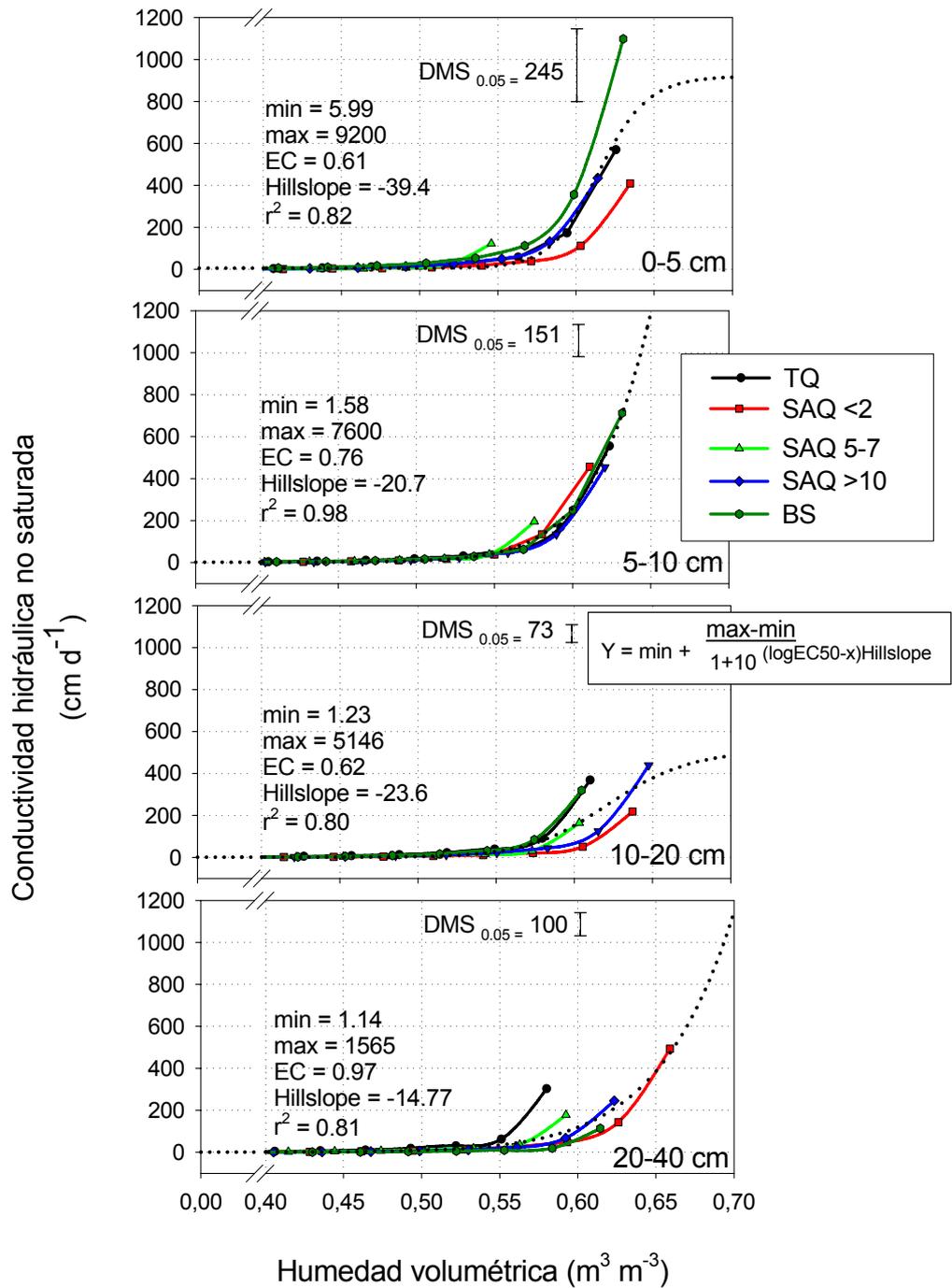


Figura 12. Valores promedio de conductividad hidráulica no saturada, en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque Secundario (BS), de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.

de 20-40 cm, los valores más altos los mostró SAQ<2 y los menores BS y SAQ 5-7, con valores de 20,2 y 36.5 cm d⁻¹, respectivamente.

Los sistemas de uso de suelo presentaron continuidad hasta 20 cm de profundidad, excepto el sistema SAQ 5-7. Los mayores contenidos de humedad volumétrica en superficie de 0 a 20 cm los presentó BS y los menores SAQ 5-7. Existe gran divergencia entre los modelos matemáticos y las aplicaciones prácticas en campo, modelos donde las variaciones impredecibles de clima y heterogeneidad del suelo, no tenidas en cuenta, pueden contribuir a hacer defectuosas formulaciones idealizadas de la teoría de la física (Matías *et al.*, 1989).

En general, los sistemas TQ, SAQ<2 y BS presentaron tendencias similares en las variables de suelo: densidad aparente, porosidad total, macroporos y permeabilidad al aire, debido muy probablemente a que TQ y SAQ<2 corresponden a sistemas recién establecidos a partir del BS.

El sistema SAQ>10 mostró bajos valores promedio de densidad aparente y altos de porosidad total, contenidos de humedad a saturación, a capacidad de campo y a punto de marchitez permanente y conductividad hidráulica rápida.

El sistema SAQ 5-7 presentó mayores valores promedio de densidad aparente y menores de porosidad total, conductividad hidráulica no saturada, contenido de macroporos, permeabilidad al aire a contenido de humedad a capacidad de campo.

En resumen, el análisis de los datos correspondiente a la línea base refleja condiciones particulares de las propiedades físicas de suelo en los sistemas de uso, al inicio de las evaluaciones.

3.1.2 Propiedades químicas

La Tabla 5 muestra la comparación de los valores promedio de los parámetros químicos evaluados en cada sistema de uso de suelo, de 0 a 40 cm de profundidad.

Tabla 5. Valores promedio de distribución de parámetros químicos, correspondientes a la línea base, de 0 a 40 cm de profundidad en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años y Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras, 2005

Tratamiento	pH Unid	N	P	C g kg ⁻¹	K ----- cmol kg ⁻¹ -----	Ca	Mg	B	Fe	Mn	Cu	Zn
		Total ----- mg kg ⁻¹ -----	Bray II ----- mg kg ⁻¹ -----									
Sistema												
TQ	6.0 a	1521 b	6.7	12.7 b	0.33 b	17.8 b	3.6 c	0.35 a	5.0 c	39.3 c	0.37 b	0.7a b
SAQ<2	5.6 b	1261 c	3.5	9.9 c	0.25 c	20.4 a	6.0 a	0.20 b	8.9 b	34.0 d	0.37 b	0.78 b
SAQ 5-7	5.6 b	1717 ab	3.7	9.8 c	0.25 c	11.6 d	3.0 d	0.31 a	16.2 a	46.0 b	0.47b	0.97 a
SAQ>10	5.4 c	1783 a	6.2	14.9 a	0.42 a	9.9 e	2.4 e	0.30 ab	14.8 a	27.4 e	0.45 b	0.59 b
BS	5.8 a	1813 a	6.1	15.5 a	0.38 ab	16.1 c	4.6 b	0.39 a	10.6 b	51.2 a	0.58a	0.96 a
Prueba F	***	***	ns	***	***	***	***	**	***	***	***	***
DMS _{0.05}	0.13	219	2.92	1.96	0.07	1.20	0.49	0.10	2.83	5.17	0.10	0.17
Prof (cm)												
0-5	5.9 a	2460 a	10.0 a	20.8 a	0.52 a	15.7	4.1	0.65 a	9.4	61.6 a	0.29 b	1.25 a
5-10	5.6 b	1671 b	4.9 b	12.8 b	0.32 b	14.8	3.6	0.26 b	11.3	41.0 b	0.47 a	0.76 b
10-20	5.6 b	1223 c	3.1 b	8.5 c	0.23 c	14.9	3.8	0.16 c	12.1	27.6 c	0.49 a	0.61 bc
20-40	5.6 b	975 d	2.2 b	6.5 d	0.20 c	14.8	3.9	0.13 c	12.2	22.7 d	0.53 a	0.54 c
Prueba F	***	***	***	***	***	ns	ns	***	ns	***	***	***
DMS _{0.05}	0.12	195	2.61	1.75	0.06	--	--	0.09	--	4.62	0.09	0.16
Sist × Prof	**	ns	ns	ns	ns	**	ns	**	*	ns	ns	ns
CV%	5.08	28.0	116.2	32.6	44.9	16.5	26.3	68.6	52.4	27.4	47.7	46.0

Medias en la misma columna seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas (P= 0.05) prueba de Duncan. Prueba de F:

***P<0.001, **P=0.001-0.01, *P=0.01-0.05.

3.1.2.1 pH

Los suelos presentan valores promedio de pH entre 5.4 y 6.0, clasificados como ácidos, presentando niveles óptimos para el desarrollo del cultivo de maíz que se ubican entre 5.4 y 6.0 (Tisdale *et al.*, 1993) y aptos para el cultivo de frijol, con valores optimos entre 5.0 y 8.1 (León, 1995).

Se presentaron diferencias de pH entre sistemas de uso de suelo, con valores promedio que variaron entre 5.4 y 6.0. Los mayores valores de pH correspondieron a TQ debido fundamentalmente a las cenizas provenientes de la quema. Los menores valores se observaron en SAQ>10. En profundidad se presentaron diferencias altamente significativas con tendencia a mostrar menos acidéz en superficie. Se observaron diferencias para la interacción sistema de uso de suelo por profundidad (Figura 13 y Tabla 5).

3.1.2.2 N-Total

El contenido de N total en el suelo está clasificado como de normal a ligeramente alto. Se presentaron diferencias significativas entre sistemas de uso de suelo, con valores promedio entre 1261 y 1813 mg Kg⁻¹. Los menores valores los mostró SAQ<2 y los mayores BS y SAQ>10, debido principalmente al efecto acumulado en el tiempo de la fijación de N.

En profundidad la tendencia fue a disminuir el contenido de nitrógeno total a medida que se profundiza en el perfil, con diferencias en contenido hasta de 2.5 veces menos de 20-40 cm respecto al presentado de 0-5 cm (Figura 13 y Tabla 5).

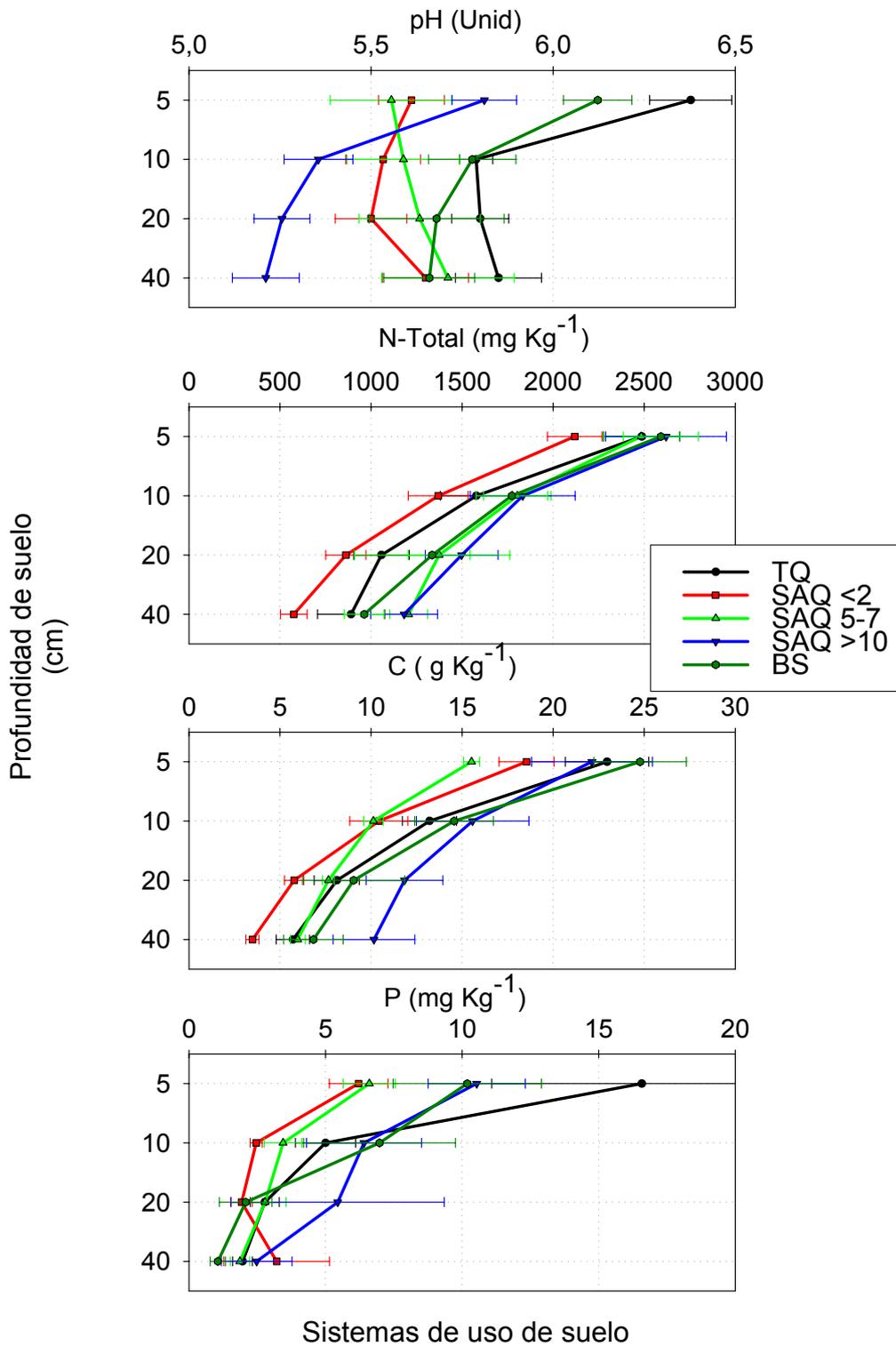


Figura 13. Valores promedio de pH, N-Total, C y P en los sistemas: Tala y Quema (TQ), SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque Secundario (BS), de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.

3.1.2.3 P-disponible

El contenido de P disponible presentó valores entre 3.5 y 6.7 mg kg⁻¹, clasificados como bajo. Contenidos que están por debajo de los requerimientos óptimos para el cultivo de maíz los cuales se encuentran por encima de 20 mg kg⁻¹ (León, 1995) y para el cultivo de frijol que deben ser mayores a 15 mg kg⁻¹ (Howler, 1989)

El contenido de P disponible no mostró diferencias significativas entre sistemas de uso de suelo. En profundidad se presentaron diferencias altamente significativas, con mayores valores (10.0 mg kg⁻¹) de 0 a 5 cm y menores (2.2 mg kg⁻¹) en la profundidad de 20 a 40 cm de profundidad (Figura 13 y Tabla 5).

3.1.2.4 C-orgánico

El contenido de C-orgánico en los sistemas de uso de suelo presentó valores promedios entre 9.8 y 15.5 g kg⁻¹, considerados como bajos y altos respectivamente. Los mayores valores correspondieron a BS y SAQ>10 y los menores a SAQ<2 y SAQ 5-7. Las diferencias presentadas en el perfil de suelo fueron altamente significativas, con mayores valores en superficie, 20.8 g kg⁻¹ y menores en profundidad, 6.5 g kg⁻¹ (Figura 13 y Tabla 5). Los contenidos de C-orgánico equivalen a materia orgánica entre 1.7 y 2.7%. El BS presentó valores mayores en el 58% y SAQ>10 valores mayores en el 51%, respecto a los más bajos; resultados acordes con lo señalado por Anger y Carter (1996) quienes reportan que prácticas de manejo agrícola como uso de árboles o adición de residuos incrementa el almacenamiento de materia orgánica.

3.1.2.5 K-disponible

El contenido de K⁺ disponible en el suelo mostró valores entre 0.25 y 0.42 cmol kg⁻¹, clasificados de ligeramente alto a alto. Con valores óptimos para maíz, que presenta niveles críticos entre 0.20 y 0.30 cmol kg⁻¹ (León, 1995) y para

fríjol que requiere contenidos mayores a $0.15 \text{ cmol kg}^{-1}$ (Howler, 1989). Se presentaron diferencias altamente significativas entre los sistemas de uso de suelo. Los mayores contenidos se observaron en SAQ>10 y BS (0.42 y $0.38 \text{ cmol kg}^{-1}$) y los más bajos en SAQ 5-7 y SAQ<2 ($0.25 \text{ cmol kg}^{-1}$ en promedio). En profundidad las mayores concentraciones se presentaron en superficie, con diferencias altamente significativas (Figura 14 y Tabla 5).

3.1.2.6 Ca y Mg disponibles

El contenido de Ca^{++} disponible en el suelo presentó valores promedio entre 9.9 y $20.4 \text{ cmol kg}^{-1}$, considerados como altos, suficientes para suplir los requerimientos de los cultivos de maíz, con niveles críticos de 6 a 10 cmol kg^{-1} (León, 1995) y del fríjol con niveles críticos mayores de 4.5 cmol kg^{-1} (Howler, 1989). Se observaron diferencias altamente significativas entre los sistemas de uso de suelo. Los mayores contenidos ocurrieron en SAQ<2, con valores de $20.4 \text{ cmol kg}^{-1}$ y los menores en SAQ>10, con valores de 9.9 cmol kg^{-1} (Figura 14 y Tabla 5).

El contenido de Mg^{++} disponible en el suelo presentó valores promedio entre 2.4 y 6.0 cmol kg^{-1} , aunque son considerados como de moderados a altos, no son suficientes en algunos sistemas de uso para suplir los requerimientos del cultivo de maíz, con niveles críticos de 4.0 a 6.0 cmol kg^{-1} (León, 1995), sin embargo el contenido es suficiente para el cultivo de fríjol con niveles críticos menores a 2.0 cmol kg^{-1} (Howler, 1989). Se presentaron diferencias altamente significativas entre los sistemas de uso de suelo. Los mayores contenidos ocurrieron en SAQ<2, con valores de 6.0 cmol kg^{-1} y los menores en SAQ>10, con valores de 2.4 cmol kg^{-1} (Figura 14 y Tabla 5). Los menores contenidos de Ca^{++} y Mg^{++} observados en SAQ> 10, pueden deberse a mayor actividad microbial y a mayor competencia por nutrientes en sistemas de mayor edad.

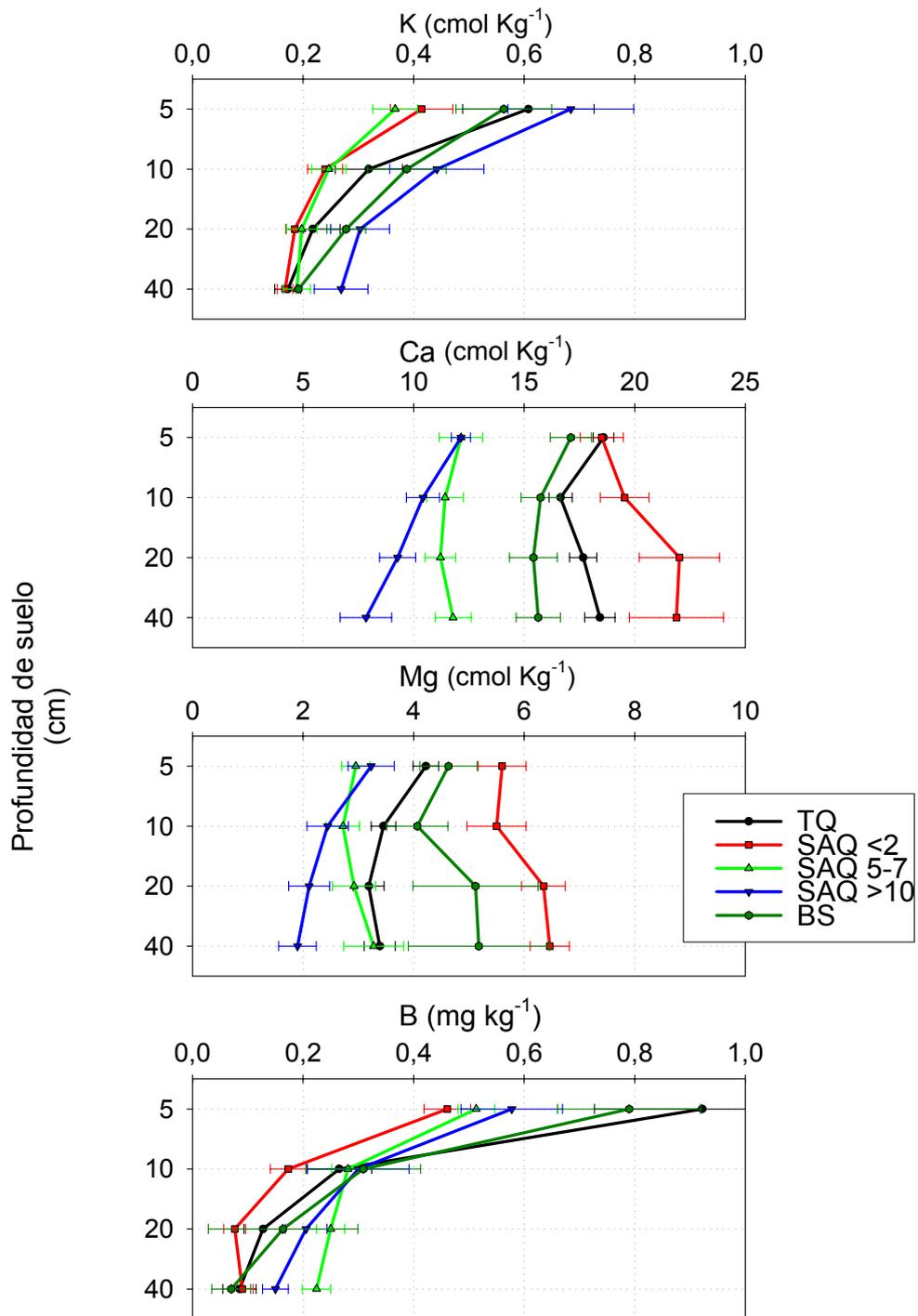


Figura 14. Valores promedio de contenido K, Ca, Mg y B, en los sistemas: Tala y Quema (TQ), SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque Secundario (BS) de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.

3.1.2.7 B

El contenido de B en el suelo presentó valores entre 0.20 y 0.39 mg kg⁻¹, considerados como de bajos a medios, contenidos no suficientes para suplir los requerimientos del cultivo de maíz en algunos sistemas de uso de suelo, el cual presenta niveles críticos mayores a 0.30 mg kg⁻¹ (León, 1995) e insuficientes para el cultivo de frijol, el cual presenta niveles críticos entre 0.40 y 0.60 mg kg⁻¹ (Howler, 1989).

Se observaron diferencias significativas entre sistemas de uso de suelo. Los mayores valores ocurrieron en BS y TQ y los más bajos en SAQ<2. En el perfil se presentaron diferencias significativas, los mayores contenidos se mostraron en superficie, con valores 4 veces mayores de 0 a 5 cm que los encontrados de 5 a 40 cm de profundidad (Figura 14 y Tabla 5).

3.1.2.8 Fe

El contenido de Fe en el suelo presentó valores entre 5.0 y 16.2 mg kg⁻¹, considerados entre bajos a medios. Contenidos suficientes para suplir los requerimientos de los cultivos de maíz, con valores críticos mayores de 2.1 mg kg⁻¹ (León, 1995) y de frijol con valores críticos entre 2.5 y 4.5 mg kg⁻¹ (Howler, 1989).

Se presentaron diferencias altamente significativas entre sistemas de uso de suelo. Los mayores valores correspondieron a SAQ 5-7 y SAQ>10 y los más bajos a TQ (Figura 15 y Tabla 5).

3.1.2.9 Mn

El contenido de Mn en el suelo presentó valores entre 27.4 y 51.2 mg kg⁻¹, considerados como medios. Contenidos suficientes para suplir las necesidades del cultivo de maíz, con niveles críticos de 10 a 15 mg kg⁻¹ (León, 1995) y del

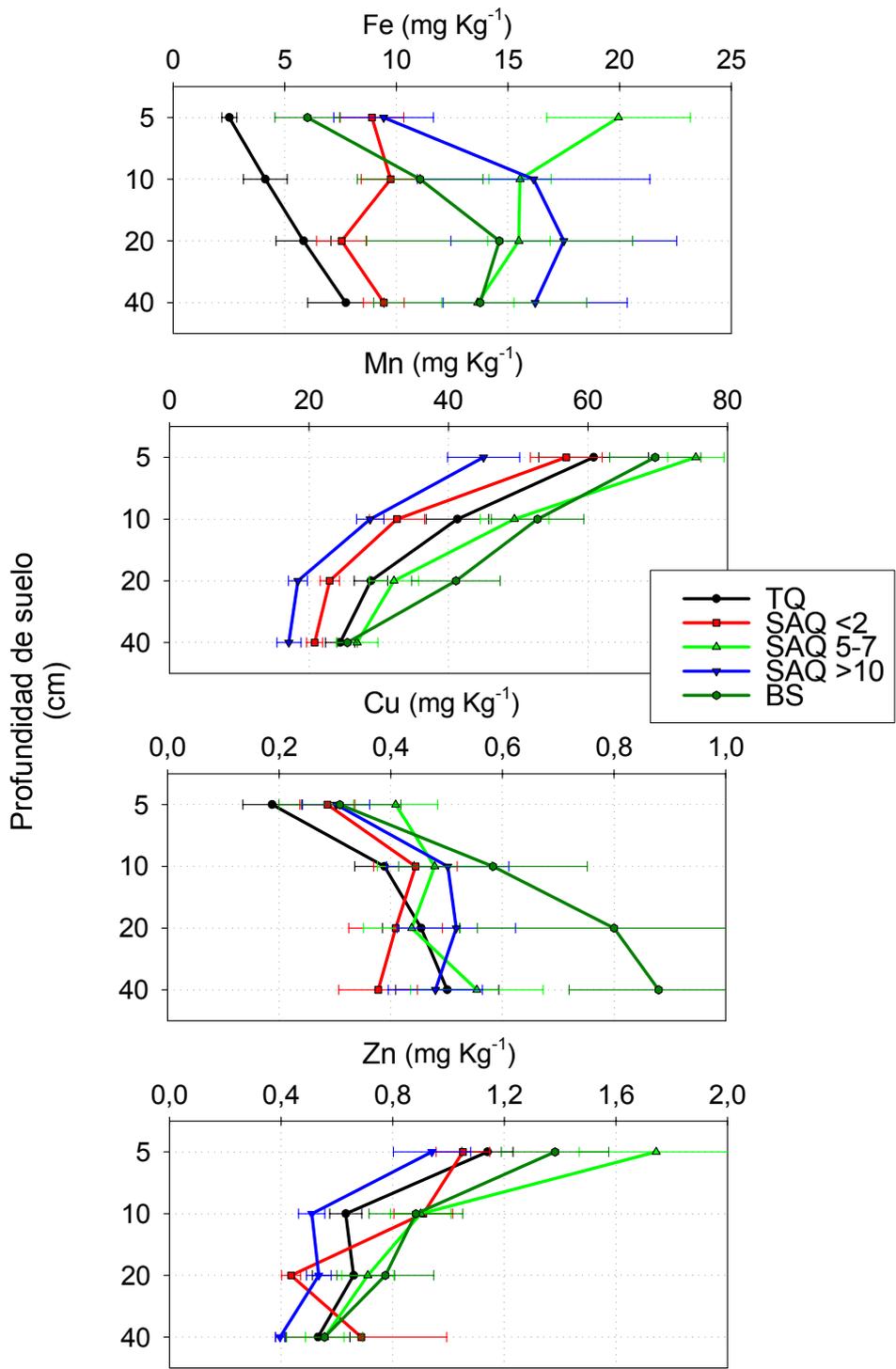


Figura 15. Valores promedio de contenido Fe, Mn, Cu y Zn en los sistemas: Tala y Quema (TQ), SAQ (<2, 5-7 y >10 años) y Bosque Secundario, BS de 0 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2005.

cultivo de frijol, con niveles críticos de 5 a 9 mg kg⁻¹ (Howler, 1989). Se observaron diferencias altamente significativas entre sistemas de uso de suelo. Los mayores contenidos de Mn se presentaron en BS, seguido de SAQ 5-7 y los menores en SAQ>10. Se presentaron diferencias significativas en profundidad con mayores contenidos (dos veces) en superficie 0 a 10 cm que de 10 a 40 cm.

3.1.2.10 Cu y Zn

El contenido de Cu en el suelo presentó valores entre 0.37 y 0.58 mg kg⁻¹, considerados como medios. Contenidos suficientes para el cultivo de maíz, con valores críticos entre 0.20 y 1.0 mg kg⁻¹, (León, 1995) y para el cultivo de frijol con valores críticos menores 0.60 mg kg⁻¹ (Howler, 1989).

El BS presentó los mayores valores con 0.58 mg kg⁻¹, seguido de SAQ 5-7 (0.47 mg kg⁻¹), y los más bajos se observaron en TQ y SAQ<2 con valores promedio de 0.37 mg kg⁻¹. Se observaron diferencias altamente significativas entre los sistemas de uso de suelo y en profundidad, con menores valores de 0 a 5 cm que de 5 a 40 cm (Figura 15 y Tabla 5).

En resumen, el contenido de C presentó valores de moderados a altos, valores consistentes con los contenidos de N total, de disponibilidad de normal a ligeramente alta. El contenido de K⁺, aunque es adecuado, podría estar limitado por el alto contenido de Ca⁺⁺. Los suelos tienen de moderada a alta fertilidad, a excepción del P que está por debajo de los requerimientos para la producción de maíz, el cual requiere cantidades de P mayores a 30 mg kg⁻¹ (Mugwira y Nyamangara, 1998). Los valores extremadamente bajos de P están probablemente relacionados con la fijación, debido al origen volcánico de los suelos (Deugd, 2000).

3.2 INFILTRACIÓN, ESCORRENTÍA, PÉRDIDA DE SUELO, SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN Y CALIDAD DE AGUA

3.2.1 Evaluación de infiltración, escorrentía, pérdida de suelo y susceptibilidad a la erosión, mediante lluvia simulada

Mediante lluvia simulada a las intensidades de 80 y 115 mm h⁻¹, en época seca y lluviosa, se evaluaron en cada sistema de uso de suelo los parámetros: lámina infiltrada, lámina de escorrentía y suelo perdido, a intervalos de 5 minutos durante media hora. Se determinó el tiempo de inicio de escorrentía y el contenido inicial y final de humedad de suelo, después de la aplicación de la lluvia simulada. Como era de esperarse, en la época seca aumentó la infiltración y el tiempo de inicio de escorrentía, en 31.7 y 366.4% respectivamente, con respecto a la época lluviosa mientras disminuyeron la escorrentía (83.7%) y el suelo perdido (58.2%). De otra parte, la humedad inicial en la época seca representó un 23.4% de la humedad inicial en la época lluviosa, en tanto que la humedad final para la época seca correspondió al 78.7% de la humedad final en la época lluviosa. Las Tabla 6 y 7 muestran el resultado de los parámetros evaluados durante las épocas lluviosa y seca.

3.2.1.1 Lámina infiltrada

La infiltración es el proceso de entrada de agua dentro del suelo, generalmente como flujo vertical a través de toda o parte de la superficie del suelo, la tasa de éste proceso determina cuanta agua entrará a la zona de la raíz y cuanta irá a escorrentía (Hillel, 1998).

La Figura 16 muestra los valores promedio de lámina infiltrada, durante la época lluviosa en los sistemas de uso de suelo a las intensidades de 80 y 115 mm h⁻¹, manejados con y sin fertilización, acumulados cada 5 minutos, durante media hora.

Tabla 6. Valores de parámetros obtenidos con el simulador de lluvia, durante la época lluviosa, a las intensidades de 80 y 115 mm ha⁻¹, con y sin aplicación de fertilizante, en los sistemas evaluados. Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Lámina Infiltrada mm/30minutos	Lámina Escorrentía	Suelo perdido tn ha ⁻¹	Humedad inicial %	Humedad final	Inicio escorrentía s ⁻¹
Intensidad (mm h⁻¹)						
80	27.5	7.4	0.308	24.3	28.4	149.4
115	38.1	12.2	0.577	24.3	28.1	115.4
F test	***	***	*	ns	ns	***
LSD _{0.05}	1.98	0.30	0.093	--	--	22.73
Sistema						
TQ	29.8	12.0	0.794	22.5	25.9	78.8
SAQ<2	31.2	10.2	0.323	25.2	29.8	113.6
SAQ5-7	31.9	12.1	0.416	21.7	26.0	158.9
SAQ>10	38.5	4.8	0.371	27.4	31.5	181.6
BS	32.4	10.1	0.175	24.9	27.8	125.8
F test	***	***	**	***	***	***
LSD _{0.05}	5.85	1.35	0.489	6.03	4.18	86.32
Fertilización						
Con	32.2	10.3	0.542	24.0	28.3	142.3
Sin	33.0	9.4	0.363	24.5	28.2	124.5
F test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
LSD _{0.05}	--	--	--	--	--	--
Int X Sist	*	*	ns	ns	ns	ns
Sist x Fert	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Int X Sist X Fert	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	9.86	16.13	15.84	7.15	7.60	27.88

Prueba de Tukey's Studentized: *** P<0.001, ** P = 0.001-0.01, * P = 0.01-0.05; ns, no significativa.

Tabla 7. Valores de parámetros obtenidos con el simulador de lluvia, durante la época seca, a las intensidades de 80 y 115 mm ha⁻¹, con y sin aplicación de fertilizante, en los sistemas evaluados. Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Lámina Infiltrada mm/30minutos	Lámina Escorrentía	Suelo perdido tn ha ⁻¹	Humedad inicial	Humedad final %	Inicio escorrentía s ⁻¹
Intensidad (mm h⁻¹)						
80	35.9	1.1	0.122	5.8	21.8	764.9
120	50.6	2.1	0.247	5.6	22.6	470.2
F test	***	***	**	ns	ns	***
LSD _{0.05}	0.60	0.17	0.042	--	--	99.57
Sistema						
TQ	41.9	2.4	0.338	6.6	21.1	520.1
SAQ<2	42.6	2.0	0.220	6.0	20.4	585.1
SAQ5-7	44.3	1.1	0.131	3.9	23.3	663.1
SAQ>10	43.9	0.9	0.092	5.9	24.2	702.8
BS	43.9	1.6	0.099	6.4	21.5	615.8
F test	***	**	**	***	**	ns
LSD _{0.05}	2.81	0.66	0.184	2.34	2.92	--
Fertilización						
Con	43.2	1.6	0.139	5.8	21.8	659.1
Sin	43.3	1.6	0.221	5.6	22.5	584.3
F test	ns	ns	*	ns	ns	ns
LSD _{0.05}	--	--	--	--	--	--
Int x Sist	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sist x Fert	ns	ns	ns	**9	ns	ns
Int x Sist X Fert	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	2.30	20.33	8.44	19.99	11.74	26.34

Diferencia mínima significativa Prueba de Tukey's Studentized: *** P<0.001, ** P = 0.001-0.01, * P = 0.01-0.05; ns, no significativa

Época Lluviosa

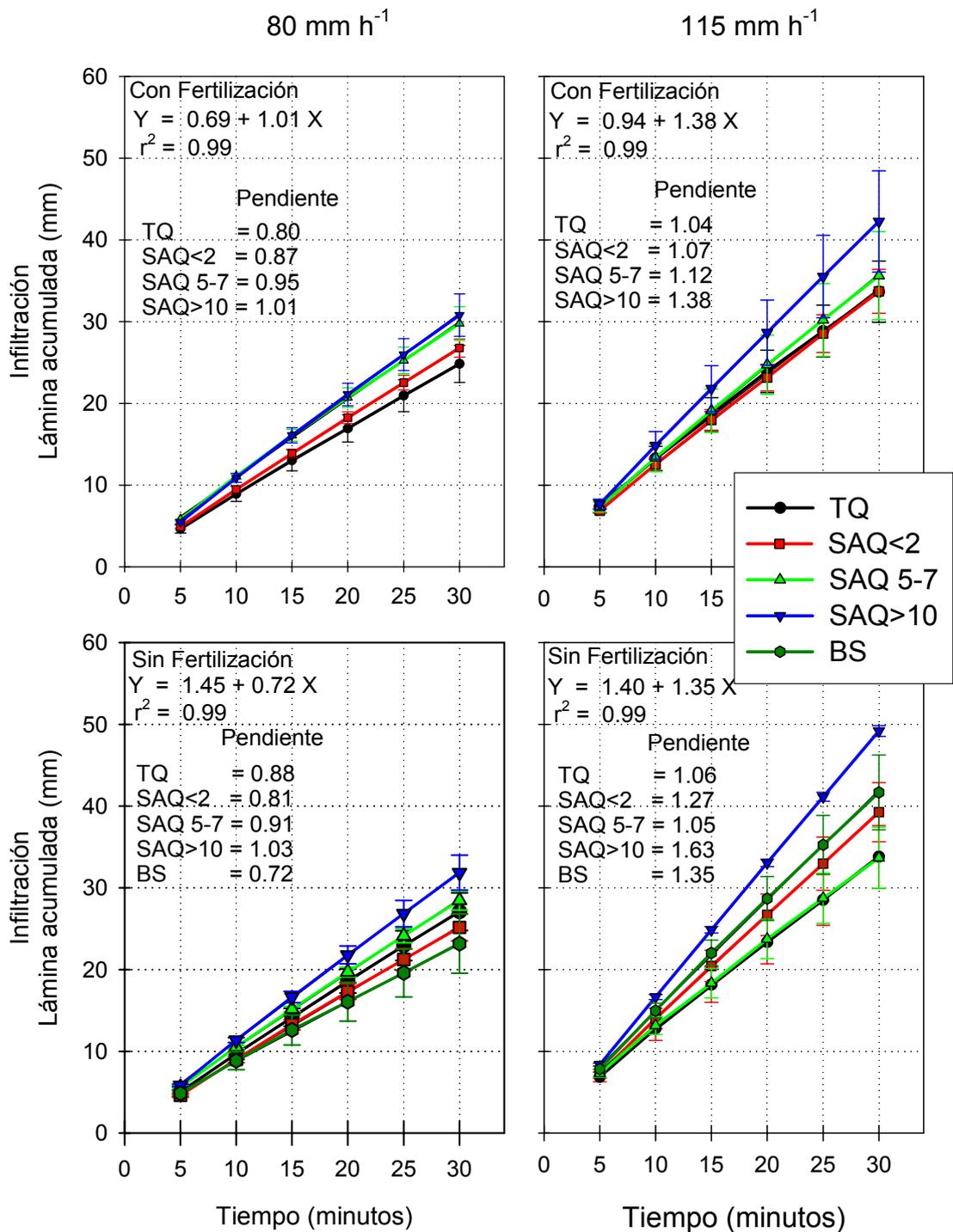


Figura 16. Valores promedio acumulados de lámina infiltrada (mm), en 30 minutos a 80 y 115 mm h⁻¹ de intensidad en los sistemas, con y sin fertilización en época lluviosa. Candelaria, Honduras, 2006

En la época lluviosa la lámina infiltrada varió entre 27.5 y 38.1 mm/30', a las intensidades de 80 y 115 mm h⁻¹ respectivamente, variación que representa un 38.5% más de lámina infiltrada a la mayor intensidad de lluvia. Comparando los sistemas de uso de suelo, los menores valores correspondieron al sistema TQ (29.8 mm/30') y los mayores a SAQ>10, (38.5 mm/30'), diferencia que equivale al 29.2% más de lámina infiltrada en SAQ>10. Se observó una tendencia a aumentar la lámina infiltrada a mayor edad de establecimiento del SAQ (Tabla 6).

La Figura 17 muestra los valores promedio de lámina infiltrada, durante la época seca en los sistemas de uso de suelo a las intensidades de 80 y 115 mm h⁻¹, manejados con y sin fertilización, acumulados cada 5 minutos, durante media hora.

En la época seca los valores de lámina infiltrada variaron entre 35.9 y 50.6 mm/30' a las intensidades de 80 y 115 mm h⁻¹ respectivamente, valores que corresponden a un aumento del 40.9% de la lámina infiltrada a la mayor intensidad de lluvia. Comparando los sistemas de uso de suelo, los menores valores correspondieron al sistema TQ (41.9 mm/30'); los otros sistemas no presentaron diferencias significativas (Tabla 7).

La menor lámina de agua infiltrada observada en TQ estaría indicando que éstos sistemas son más sensibles a los procesos erosivos, pues la baja infiltración en zonas de ladera propicia flujos de escorrentía que arrastran las partículas de suelo (Reid *et al.*, 1990). Los sistemas presentan mayores pendientes de las rectas ajustadas a los puntos, corresponden a los que absorben mayor cantidad de agua que puede ser aprovechada por las plantas, disminuyendo la escorrentía y en consecuencia el proceso de erosión (Figuras 15 y 16). La lámina infiltrada se incrementa al aumentar la intensidad de la lluvia, debido a la mayor energía cinética generada ($E = 4.0804 \times I^2$), la cual es capaz de remover delgados sellos superficiales que restringen la infiltración (Reid *et al.*, 1990).

Época Seca

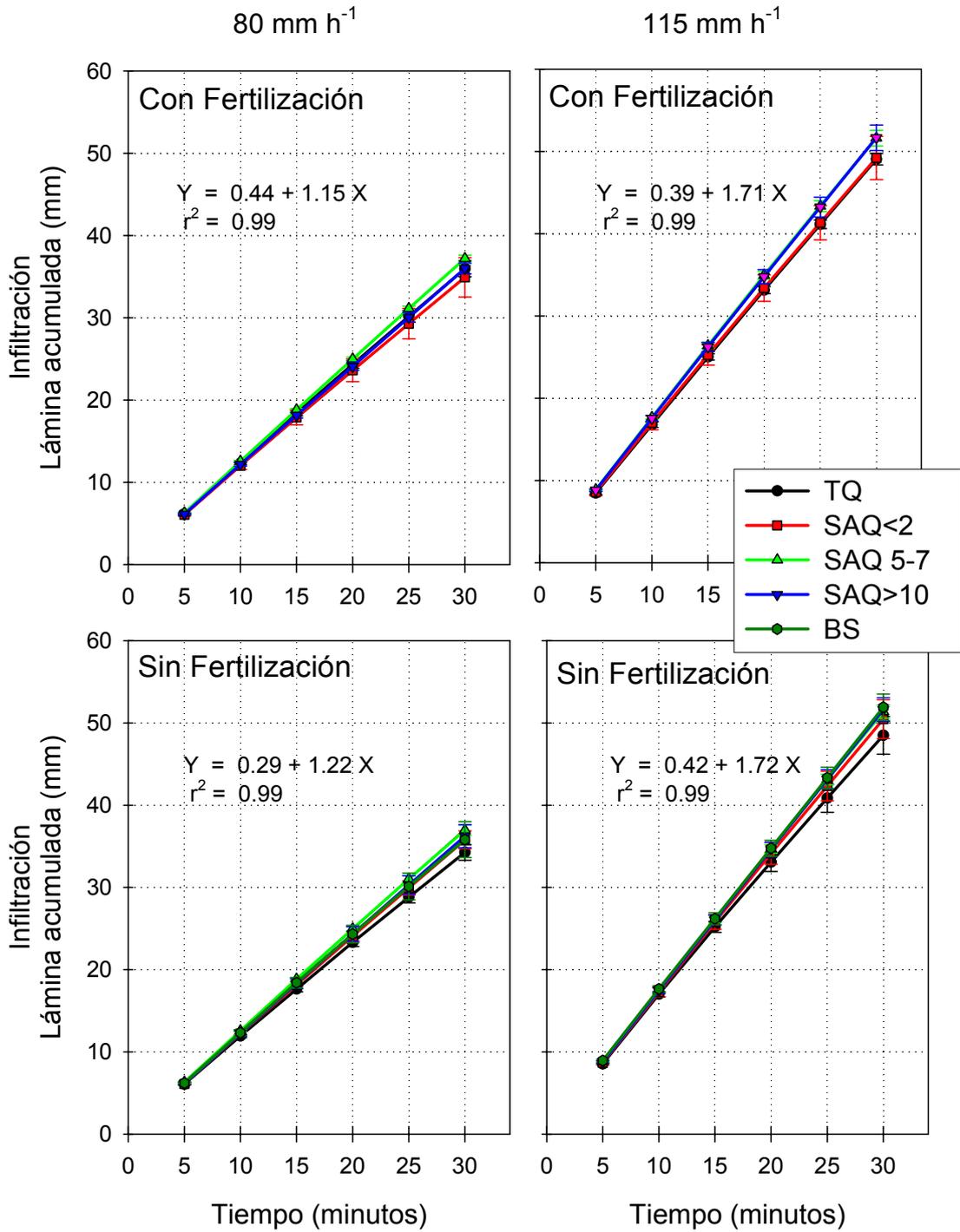


Figura 17. Valores promedio acumulados de lámina infiltrada (mm), en 30 minutos a 80 y 115 mm h⁻¹ de intensidad en los sistemas con y sin fertilización en época seca. Candelaria, Honduras, 2006

3.2.1.2 Lámina de escorrentía

La escorrentía corresponde a los flujos superficiales originados por lluvias de baja intensidad que logran saturar el suelo o por lluvias de alta intensidad que superan su capacidad de infiltración; el agua de escorrentía transporta las partículas de suelo desprendidas por la lluvia, cuando alcanza grandes velocidades desprende partículas y en ocasiones agregados del suelo (Morgan, 1986).

La Figura 18 muestra los valores promedio de lámina de escorrentía en los sistemas de uso de suelo, durante la época lluviosa, a las intensidades de 80 y 115 mm h⁻¹, manejados con y sin fertilización, acumulados cada 5 minutos, durante media hora.

En la época lluviosa la lámina escorrentía varió entre 7.4 y 12.2 mm/30', a las intensidades de 80 y 115 mm h⁻¹ respectivamente, variación que representa un 64.8% más de lámina de escorrentía a la mayor intensidad de lluvia. Comparando los sistemas de uso de suelo, los menores valores correspondieron al sistema SAQ>10 (4.8 mm/30') y los mayores a SAQ 5-7 y TQ (12.0 mm/30'), diferencia que equivale a 2.5 veces más de lámina de escorrentía en SAQ 5-7 y TQ (Tabla 6).

Los sistemas de uso de suelo que muestran menores pendientes de las rectas ajustadas a los puntos, corresponden a los que presentan menores valores de escorrentía. El SAQ>10 mostró las menores pendientes y por tanto la menor escorrentía, esto a las dos intensidades de lluvia, con y sin fertilización. Por el contrario las mayores pendientes (mayor escorrentía) ocurrieron en SAQ 5-7 y TQ a mayor intensidad de lluvia, con y sin fertilización mientras a la menor intensidad TQ presentó mayor escorrentía con fertilización (Figura 18).

Época Lluviosa

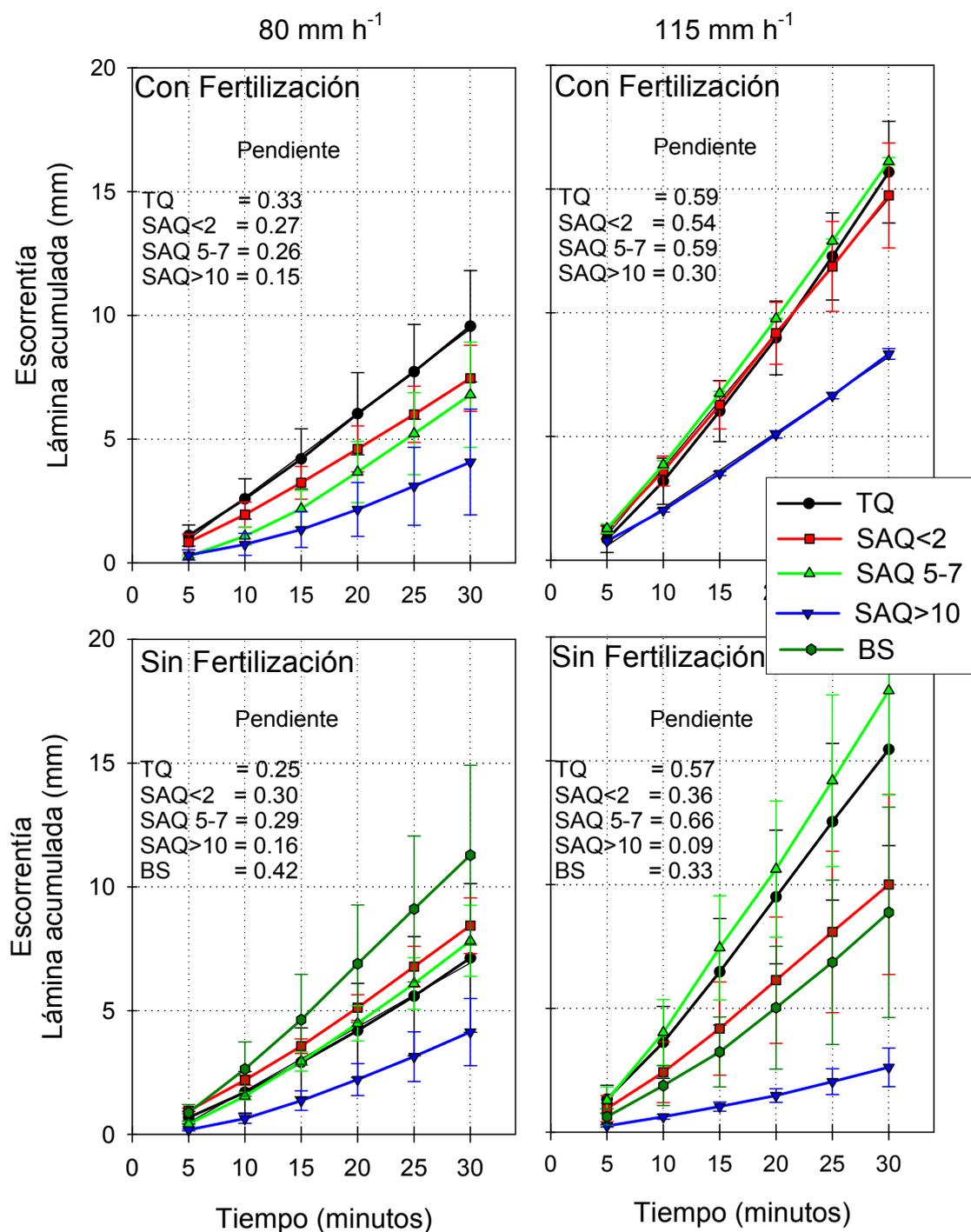


Figura 18. Valores de lámina de escorrentía acumulada (mm/30 minutos), en época lluviosa a la intensidad 80 y 115 mm h⁻¹) para los sistemas con y sin fertilización. Candelaria, Honduras, 2006.

El tiempo de inicio de la escorrentía durante la época lluviosa mostró valores promedio entre 149.4 y 115.4 seg a las intensidades de lluvia 80 y 115 mm h⁻¹ respectivamente, tiempo que equivale a un inicio de la escorrentía más rápido (34 seg) a la mayor intensidad de la lluvia. Comparando los sistemas de uso de suelo, TQ mostró el menor tiempo de inicio de la escorrentía, con valores de 78.8 seg y el sistema SAQ>10 los más altos, con 181.6 seg; diferencia equivalente a una ocurrencia de la escorrentía 2.3 veces más rápido en TQ. Entre los SAQ es marcada la tendencia a incrementar el tiempo de inicio de la escorrentía a mayor edad de establecimiento así: SAQ>10 > SAQ 5-7 > SAQ<2, con valores de 113.6, 158.9, 181.6 seg, respectivamente (Tabla 6).

La Figura 19 muestra los valores promedio de lámina de escorrentía, durante la época seca, en los sistemas de uso de suelo a las intensidades de 80 y 115 mm h⁻¹, manejados con y sin fertilización, acumulados cada 5 minutos, durante media hora.

En la época seca los valores de lámina de escorrentía variaron entre 1.1 y 2.1 mm/30' a las intensidades de 80 y 115 mm h⁻¹ respectivamente. Comparando los sistemas de uso de suelo, los menores valores correspondieron al sistema SAQ>10 (0.9 mm/30') y los mayores a TQ (2.4 mm/30'). En general las láminas de escorrentías en época seca fueron bajas (Tabla 7).

El tiempo de inicio de la escorrentía durante la época seca presentó valores entre 764.9 y 470.2 seg, para las intensidades 80 y 115 mm h⁻¹ respectivamente, tiempo equivalente a un inicio de la escorrentía más rápido (294.7 seg) a la mayor intensidad de la lluvia. Los sistemas de uso de suelo en general presentan valores altos de tiempo de inicio de escorrentía; sin embargo, TQ inició la escorrentía 182.7 seg más rápido que SAQ>10. La tendencia entre los SAQ se mantiene: a mayor edad de establecimiento mayor es el tiempo de inicio de la escorrentía (Tabla 7).

Época Seca

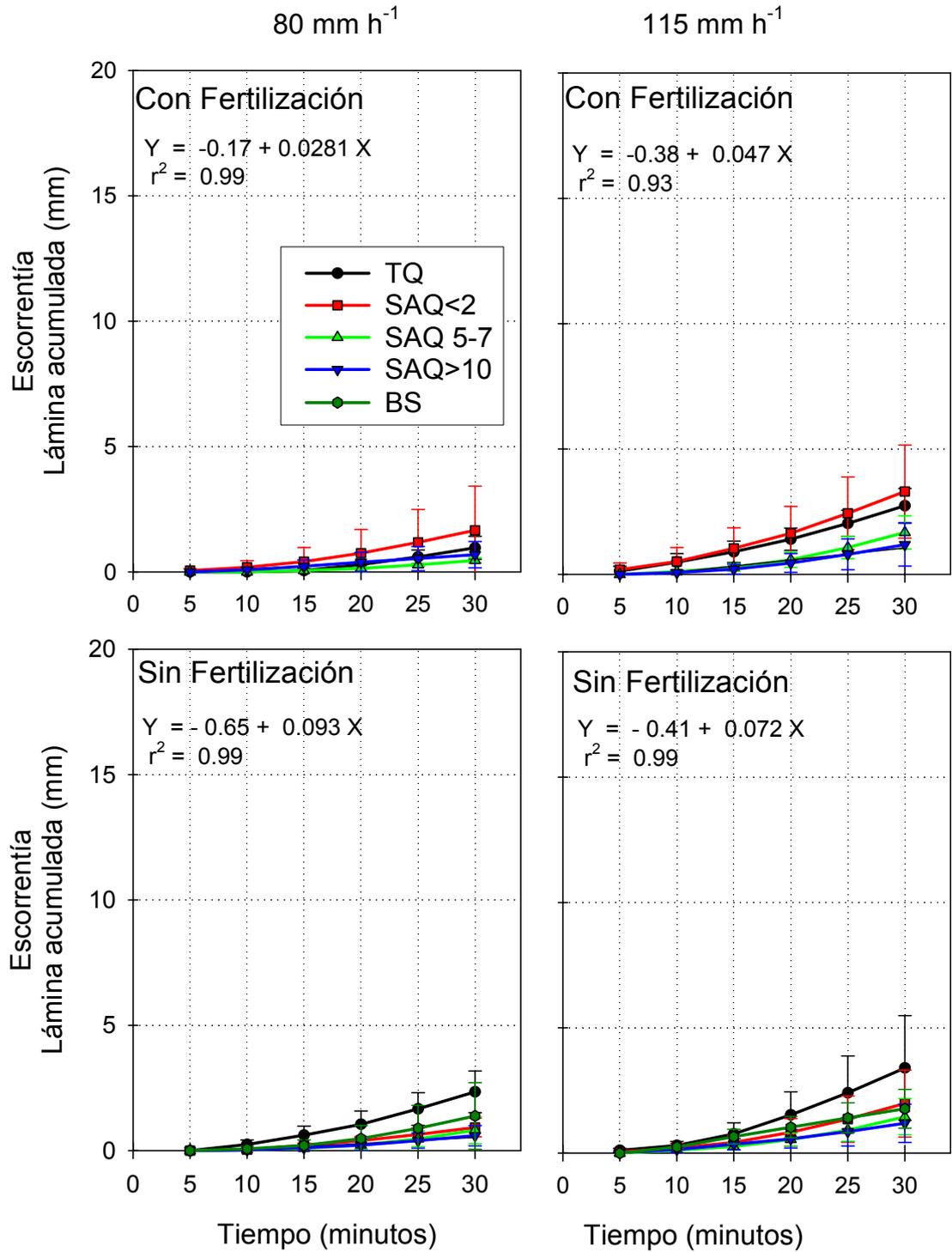


Figura 19. Valores promedios acumulados de lámina de escorrentía (mm), en 30 minutos a 80 y 115 mm h⁻¹ de intensidad en los sistemas con y sin fertilización en época seca. Candelaria, Honduras, 2006

3.2.1.3 Pérdida de suelo

En la época lluviosa, a las intensidades de 80 y 115 mm h⁻¹, el promedio de pérdida de suelo, fue de 0.308 y 0.577 t ha⁻¹, respectivamente; la diferencia de pérdida entre intensidades, corresponde a un 87.4% más de suelo perdido a la mayor intensidad de lluvia. Entre los sistemas de uso, las pérdidas de suelo estuvieron entre 0.175 y 0.794 t ha⁻¹. Los valores más bajos correspondieron al BS y los más altos a TQ. Las pérdidas de suelo en TQ equivalen a 4.5 veces más que las presentadas en BS y a más del doble de las ocurridas en promedio en los SAQ. Comparados los SAQ, SAQ 5-7 presentó 28.7% más pérdidas que SAQ<2 y 12.1% más que SAQ>10 (Tabla 6).

En época seca, a las intensidades de 80 y 115 mm h⁻¹, el promedio de pérdidas de suelo, fue de 0.122 y 0.247 t ha⁻¹, respectivamente; la diferencia de pérdidas entre intensidades, corresponde al doble de suelo perdido a la mayor intensidad de la lluvia. Entre los sistemas de uso, las pérdidas de suelo estuvieron entre 0.092 y 0.338 t ha⁻¹. Los valores más bajos correspondieron a SAQ>10 y los más altos a TQ. Las pérdidas de suelo en TQ, equivalen a 3.7 veces más que las presentadas en SAQ>10. Los SAQ mostraron tendencia a perder menos suelo a mayor edad de establecimiento, así: SAQ>10 (0.092 t ha⁻¹), SAQ 5-7 (0.131 t ha⁻¹) y SAQ<2 (0.220 t ha⁻¹). Se presentaron diferencias significativas para el manejo de la fertilización: mayores pérdidas sin aplicación (0.221 t ha⁻¹) y menores con aplicación (0.139 t ha⁻¹) (Tabla 7).

3.2.1.4 Relación entre láminas de escorrentía y de infiltración

Las Figuras 20 y 21 muestran la relación de los valores de lámina de escorrentía y de lámina infiltrada, en época húmeda y época seca, para las dos intensidades de lluvia y el manejo de la fertilización en los sistemas de uso de suelo. Se presentan los puntos ajustados a una recta, en la cual los valores altos de pendiente corresponden a menor lámina de escorrentía y a mayor lámina infiltrada. Como se puede observar, el resultado es congruente con el

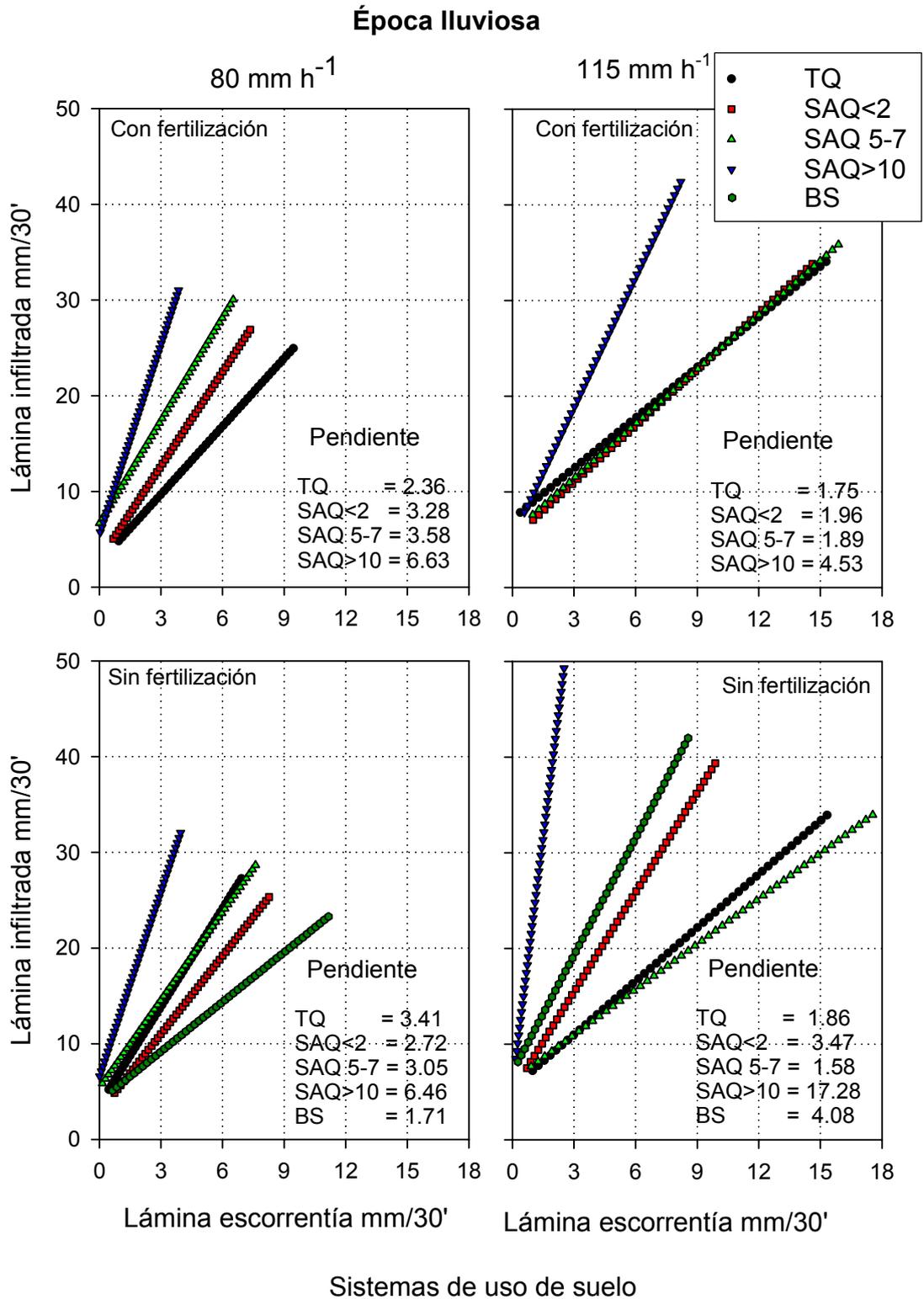
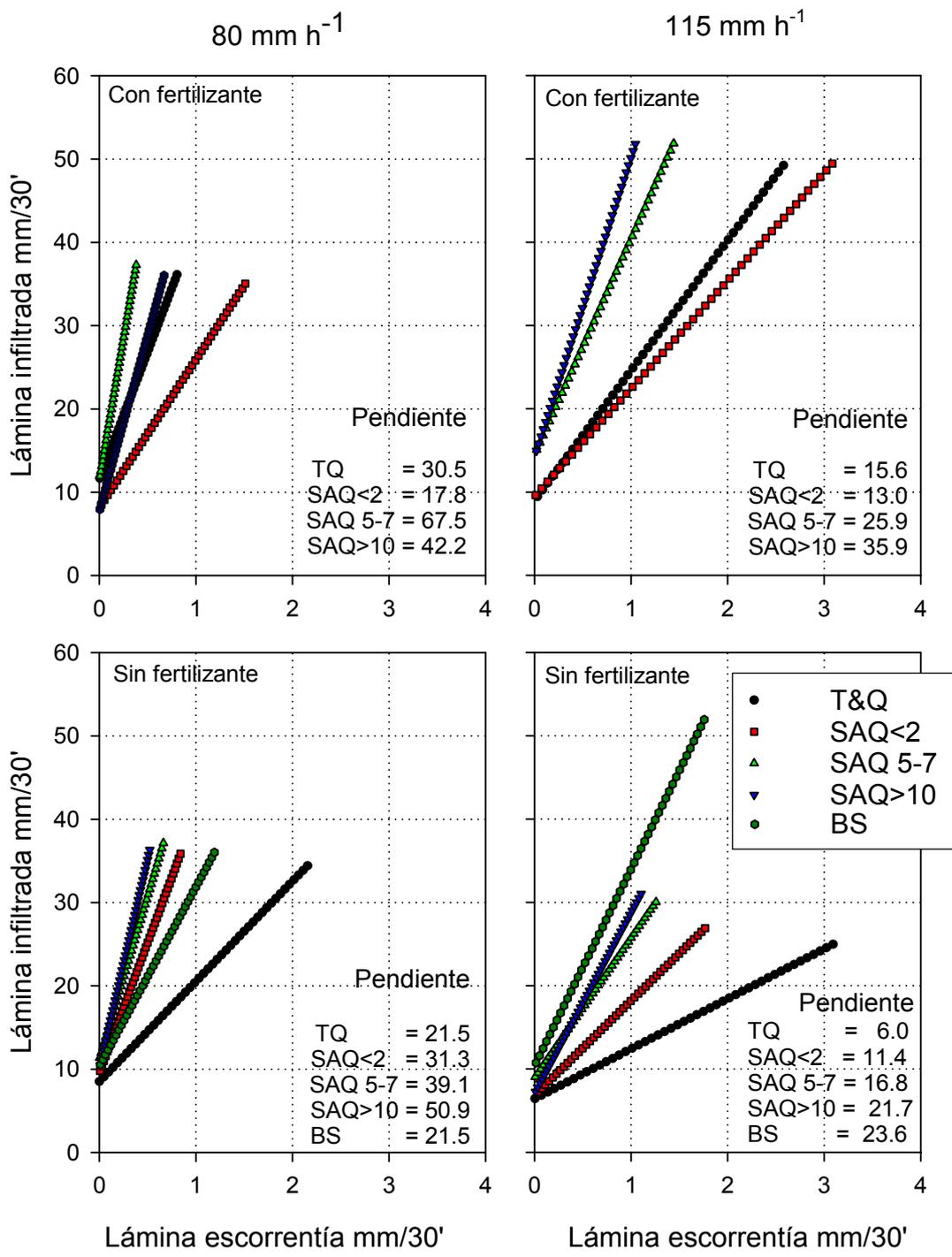


Figura 20. Valores de lámina de escorrentía vs lámina infiltrada acumulada (mm/30 minutos), en época lluviosa con el simulador de lluvia, intensidad 80 y 115 mm h⁻¹, en los sistemas con y sin fertilización. Candelaria, Honduras, 2006.

Época seca



Sistemas de uso de suelo

Figura 21. Valores de lámina de esorrentía vs lámina infiltrada acumulada (mm/30 minutos), en época seca con el simulador de lluvia a intensidad 80 y 115 mm h⁻¹, en los sistemas con y sin fertilización. Candelaria, Honduras, 2006.

análisis para cada variable, la tendencia de los datos corrobora que el comportamiento de la escorrentía y de la infiltración está determinado principalmente, además de la época de la evaluación, por la intensidad de la precipitación y el tiempo de duración. También permite deducir que existe un efecto del sistema de uso de suelo en la respuesta a estas variables.

3.2.1.5 Contenido de humedad de suelo

En la época lluviosa no se presentaron diferencias en el contenido inicial de humedad de suelo (humedad previa a la simulación) ni en el contenido de humedad final (humedad posterior a la simulación), entre las dos intensidades de lluvia. Entre los sistemas de uso de suelo, los menores valores de humedad inicial se presentaron en SAQ 5-7 y TQ (21.7 y 22.5% respectivamente), el mayor contenido de humedad inicial de suelo, se observó en SAQ>10 (27.4%), diferencia equivalente a un 26.3% mayor. El contenido de humedad final entre sistemas de uso de suelo mostró los menores valores en TQ (25.9%) y SAQ 5-7 (26.0%) y los mayores en SAQ>10 (31.5%), diferencia equivalente a un 21.6% mayor (Tabla 6).

En la época seca tampoco se presentaron diferencias de contenido de humedad inicial y final entre las intensidades de lluvia. En los sistemas de uso de suelo el menor valor de humedad inicial lo presentó SAQ 5-7 (3.9%), los otros sistemas presentaron valores promedio (6.2%), diferencia equivalente a 1.6 veces más alto. Respecto al contenido de humedad final, los mayores valores los presentaron SAQ>10 (24.2%) y SAQ 5-7 (23.3%), los otros sistemas en promedio mostraron valores del 21.0%, diferencia equivalente a un 15% más alto (Tabla 7).

Estudios realizados (Torres, 2000) con un simulador de lluvia, (similar al utilizado en Candelaria, Honduras), en Inceptisoles de origen volcánico en la localidad de Mondomo, Departamento del Cauca, Colombia, ubicado a 1450 msnm, con precipitación promedio anual de 2133 mm; con lluvia simulada

durante 30 minutos presentaron los siguientes resultados: i) a la intensidad 80 mm h⁻¹, en la rotación Maíz – Leguminosa (*Chamaecrista rotundifolia*), se registraron 31.3 mm de infiltración, 9.8 mm de escorrentía, 0.101 t h⁻¹ de suelo perdido y el tiempo de inicio de escorrentía fue 600 seg; mientras en el bosque secundario se observaron 40.7 mm de infiltración y no se presentó escorrentía ni pérdida de suelo. ii) a la intensidad de 120 mm h⁻¹, en la rotación se presentó 42.5 mm de infiltración, 18.3 mm, de escorrentía, 0.272 t ha⁻¹ de suelo perdido y el tiempo de inicio de escorrentía fue 667 seg; mientras en bosque secundario se registraron 59.6 mm de infiltración, 1.5 mm de escorrentía, 1.010 t ha⁻¹ y el tiempo de inicio de la escorrentía fue 1200 seg. Los valores de algunos parámetros físicos en la rotación fueron: densidad aparente (1.06 g cm⁻³), porosidad total (67.7%), macroporos (21.2%), mesoporos (5.5%), microporos (41.0%) y conductividad hidráulica saturada (6 cm h⁻¹); en tanto que en el bosque secundario fueron: densidad aparente (0.52 g cm⁻³), porosidad total (78.2%), macroporos (34.6%), mesoporos (6.4%), microporos (37.2%) y (27.3 cm h⁻¹).

La menor densidad aparente corresponde a mayores valores de porosidad total y de macroporos (Montenegro y Malagón, 1990). Según Amézquita (1998), la macroporosidad es la responsable del movimiento gravitacional del agua en el suelo, lo cual se ajusta a los resultados del estudio pues el bosque secundario presentó las mayores infiltraciones y la más alta macroporosidad y conductividad hidráulica saturada en la superficie de 0 a 5 cm de profundidad.

3.2.1.6 Susceptibilidad a la erosión

La susceptibilidad a la erosión fue evaluada mediante simulación de lluvia a dos intensidades (80 y 115 mm h⁻¹) en las parcelas de campo, en época seca y lluviosa. La susceptibilidad del suelo a la erosión se determinó mediante la comparación de los índices de erodabilidad del suelo, K-USLE (t ha h MJ⁻¹ mm⁻¹ ha⁻¹) y Ki-WEPP (kg s m⁻⁴), correspondientes a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Wischmeier y Smith, 1978) y al Proyecto de Predicción de Erosión por

el Agua (Nearing *et al.*, 1989). En época lluviosa, para los sistemas manejados con fertilización, los índices fueron mayores en 33.3% con K-USLE y en 24.2% con Ki-WEPP, que en los sistemas sin fertilización. En época seca, los sistemas con fertilización presentaron reducciones en éstos índices de 38.9 y 50.0% con respecto a los obtenidos en los sistemas manejados sin fertilización. Entre los sistemas de producción, los mayores índices de erodabilidad del suelo, se observaron en TQ por ambos métodos, tanto en época lluviosa como en seca. Los menores índices en la época lluviosa se presentaron en SAQ<2 (USLE-WEPP) y durante la época seca en SAQ>10 y SAQ 5-7. El BS mostró en promedio los valores más bajos de éstos índices.

El sistema TQ presentó en promedio, en época lluviosa y seca, valores de los índices K-USLE y Ki-WEPP que representan 2.2 veces más susceptibilidad a la erosión respecto al valor promedio de los SAQ y 3.5 veces más susceptibilidad respecto al BS. Los valores promedios de los índices de erodabilidad del suelo en época lluviosa fueron: para Ki-WEPP, en TQ (0.067), SAQ (0.030) y BS (0.018) y para K-USLE, en TQ (0.001), SAQ (0.0002) y BS (0.0002). En época seca fueron: para Ki-WEPP, en TQ (0.025), SAQ (0.013) y BS (0.008) y para K-USLE, en TQ (0.0002), SAQ (0.0001) y BS (0.0001).

El índice de erodabilidad Ki-WEPP indica que según su susceptibilidad a la erosión, los suelos son calificados como moderados para TQ y de estables para los restantes sistemas. El índice de K-USLE, califica los suelos de todos los sistemas en la condición de estable a natural (Albaladejo 1985; Rivera 1999).

Los índices K-USLE y Ki-WEPP, presentaron correlaciones positivas con la cantidad de suelo perdido, lámina de escorrentía, pendiente, contenido de limo, mesoporos, porosidad residual, porosidad total, pH y contenido de B; y correlaciones negativas con el tiempo de inicio de escorrentía, lámina infiltrada, agregados estables al agua (0.125 mm) y contenido de humedad volumétrica a capacidad de campo. El índice Ki-WEPP, además de todas las correlaciones

anteriores correlacionó de manera negativa con contenido de arcilla (Tabla 8 y Anexo 1).

3.2.2 Evaluación de pérdida de suelo, de nutrientes y calidad de agua en parcelas de escorrentía

La pérdida de suelo y de nutrientes y la calidad de agua fueron evaluadas mediante parcelas de escorrentía (5 m de largo x 1.5 m de ancho), las cuales se establecieron a comienzos del 2005. Las muestras de suelo erodado se recolectaron a intervalos semanales (durante ± 22 semanas), en la época lluviosa durante los años 2005, 2006 y 2007.

Las parcelas de escorrentía se definen como un área regular cuyo perímetro se delimita adecuadamente, con el fin de captar el agua de escorrentía en un sitio común de drenaje. Este tipo de parcela, se utiliza para medir el agua de escorrentía producida durante o después de la lluvia, para cuantificar el suelo erodado, la pérdida de nutrimentos, el efecto residual de herbicidas, insecticidas o para determinar algunos parámetros hidrográficos. En general, su aplicación se puede extender a determinar factores que inciden en el manejo a nivel de cuenca.

Tabla 8. Correlaciones entre los índices de erodabilidad K-USLE y Ki-WEPP y parámetros evaluados con lluvia simulada, propiedades físicas y químicas del suelo. Candelaria, Honduras. 2007.

Parámetros	K-USLE		Ki-WEPP	
	r - Pearson	Probabilidad	r - Pearson	Probabilidad
Suelo perdido	0.88	<0.0001	0.86	<0.0001
Lámina de escorrentía	0.30	0.0240	0.28	0.0400
Pendiente	0.38	0.0040	0.43	0.0011
Mesoporos	0.30	0.0200	0.32	0.0180
Porosidad total	0.27	0.0450	0.29	0.0330
Porosidad residual	0.28	0.0430	0.31	0.0200
Limo	0.31	0.0230	0.33	0.0160
pH	0.32	0.0200	0.32	0.0180
B	0.38	0.0045	0.37	0.0047
Tiempo de inicio de escorrentía	-0.40	0.0020	-0.40	0.0030
Agregados estables al agua < 0.025 mm	-0.35	0.0110	-0.36	0.0070
Lámina infiltrada	-0.28	0.0430	-0.30	0.0200
Humedad a capacidad de campo	-0.27	0.0470	-0.29	0.0370
Contenido de arcilla	--	--	-0.27	0.0460

3.2.2.1 Pérdida de suelo

Las Figuras 22 y 23 muestran la pérdida secuencial de suelo, evaluada semanalmente en parcelas de escorrentía, durante la época lluviosa de los años 2005, 2006 y 2007 en los sistemas manejados con y sin fertilización y en el bosque secundario.

En general, durante el período de evaluación para todos los sistemas, las mayores pérdidas de suelo ocurrieron durante el primer año (2005), siendo ampliamente mayores en TQ, seguido de los SAQ y del BS. Durante el 2006, la tendencia de las pérdidas se mantiene, pero caen al 50% con respecto al año anterior. En el 2007, las pérdidas de suelo bajan drásticamente alcanzando el 18% de las ocurridas durante el 2005. En los sistemas de producción, la cantidad promedio de suelo perdido por efecto de la erosión fue: 14.2, 7.1 y 2.6 t ha⁻¹, para los años 2005, 2006 y 2007 respectivamente.

Al evaluar el efecto de la fertilización se concluye que las mayores pérdidas de suelo durante el 2005 y 2006, se presentaron en los sistemas sin fertilización: 13.0% en promedio más que en los manejados con fertilización; durante el 2007 ocurrió lo contrario: las mayores pérdidas se presentaron en los sistemas manejados con fertilización, alcanzando un 28.3% más de suelo perdido.

Entre los sistemas de producción, las mayores pérdidas ocurrieron en TQ con valores promedio (con y sin fertilización) de 41.3, 18.2 y 3.4 t ha⁻¹, para los años 2005, 2006 y 2007 respectivamente. Los menores valores se presentaron en SAQ>10 para 2005 (3.9 t ha⁻¹), en SAQ 5-7 para 2006 (1.6 t ha⁻¹) y en SAQ<2 para 2007 (1.6 t ha⁻¹). Los SAQ presentaron en promedio pérdidas de 5.1, 3.4 y 2.3 t ha⁻¹, durante los tres años. El BS mostró pérdidas de 2.3, 0.2 y 0.4 t ha⁻¹, durante los mismos años (Figura 24).

Las pérdidas de suelo están clasificadas como de grado 1 (normales) cuando son $< 0.5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$; grado 2 (ligeras), entre 0.5 y $5.0 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$; grado 3 (moderadas), entre 5 y $15 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$; grado 4 (severas) entre 15 y $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$; grado 5 (muy severas), entre 50 y 200 ; y grado 6 (catastróficas) $>200 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (FAO 1980).

En San Ramón Matagalpa (Nicaragua) se determinó que la pérdida de suelo por erosión hídrica fue hasta de $88 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, acompañada de cambios evidentes en el contenido de materia orgánica (Somarriba *et al.*, 2005).

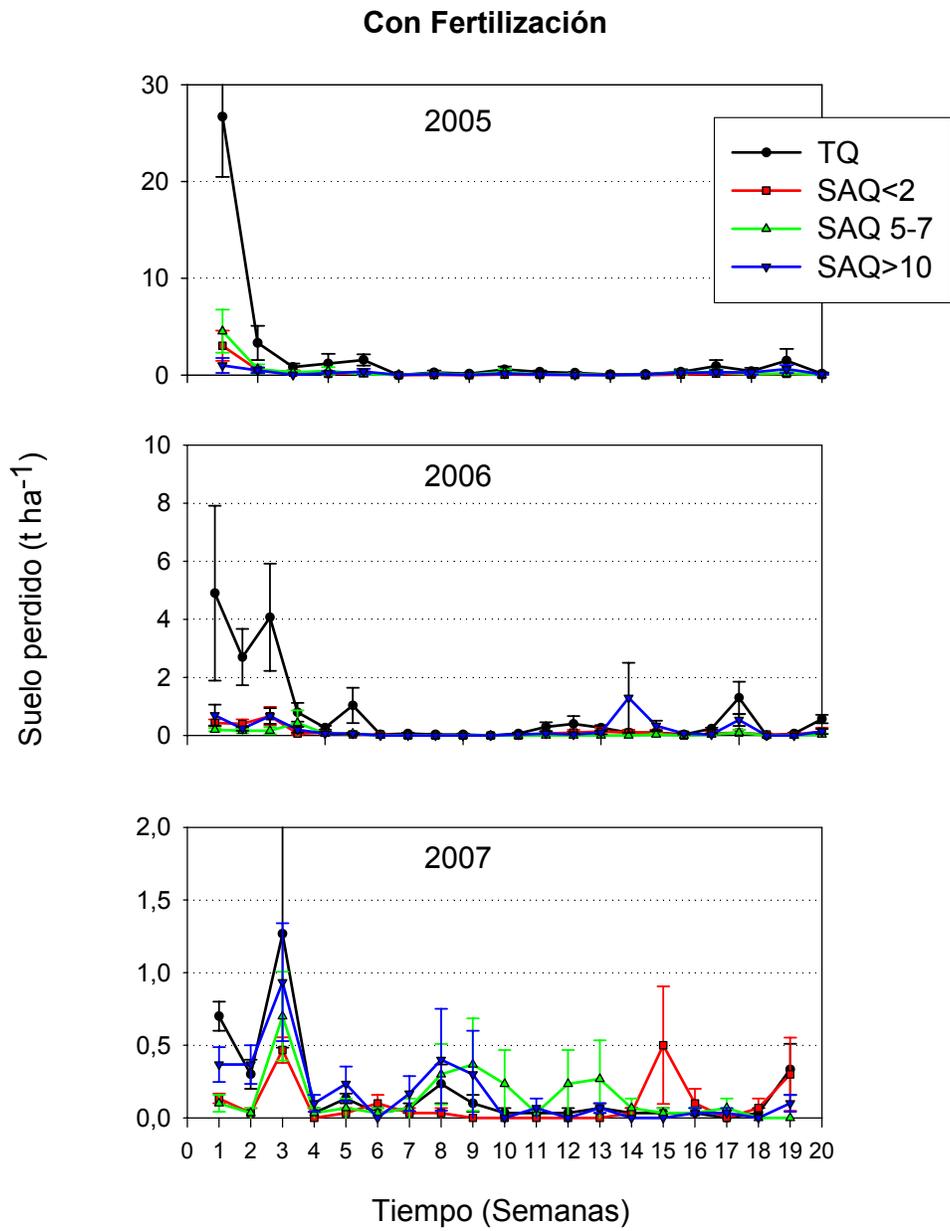


Figura 22. Valores promedio de suelo perdido ($t\ ha^{-1}$), en parcelas de escorrentía durante 2005, 2006 y 2007. Sistemas de producción con fertilización. Candelaria, Honduras, 2007.

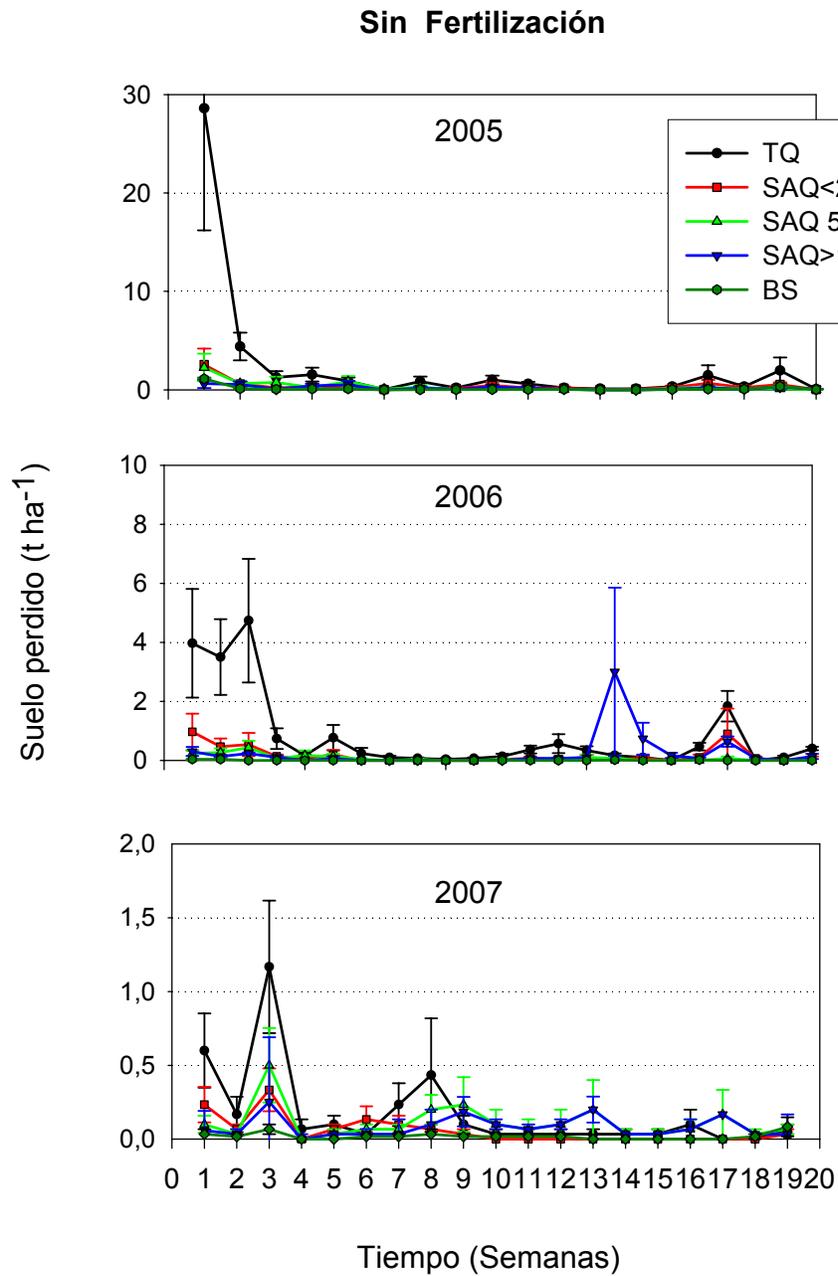


Figura 23. Valores promedio de suelo perdido ($t\ ha^{-1}$), en parcelas de escorrentía durante 2005, 2006 y 2007. Sistemas de producción sin fertilización y en el bosque secundario. Candelaria, Honduras, 2007.

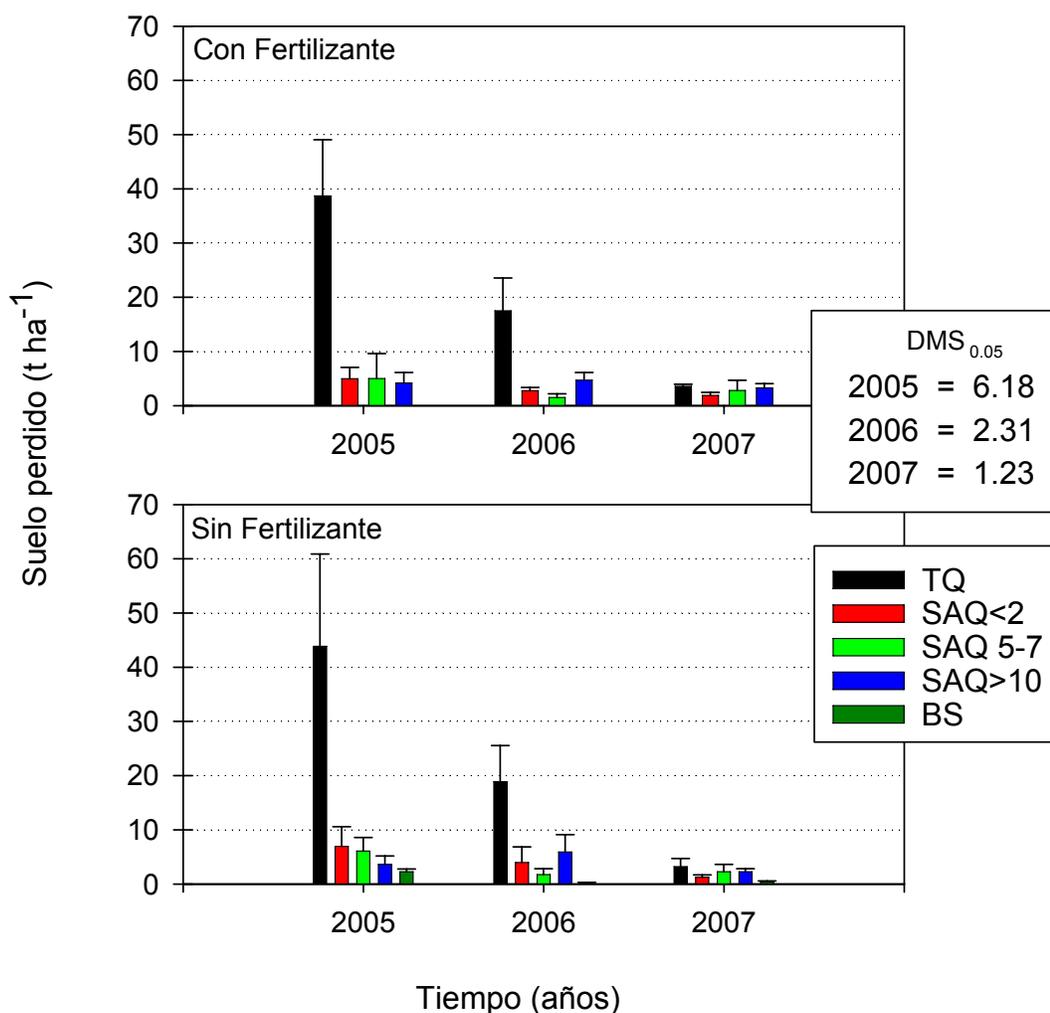


Figura 24. Valores promedio de suelo perdido (t ha⁻¹), parcelas de escorrentía durante 2005, 2006 y 2007. Sistemas de producción y Bosque secundario. Candelaria, Honduras, 2007.

3.2.2.2 Pérdida de nutrientes por erosión hídrica

La determinación de pérdida de nutrientes, se realizó con base en análisis químicos para contenido total en el suelo de N, P, K, Ca y Mg, realizados a las muestras de suelo erosionado, recolectadas en las parcelas de escorrentía evaluadas durante el año 2007.

La Tabla 9 muestra los resultados obtenidos de pérdida de suelo, concentración de nutrientes en el suelo perdido y pérdida total de nutrientes. Las mayores pérdidas de suelo se presentaron en los sistemas de producción manejados con fertilización (2.88 t ha^{-1}) y correspondieron a 28.3% más que sin aplicación de fertilizante (2.24 t ha^{-1}). El suelo proveniente de las parcelas con fertilización, presentó mayor contenido de P (24.6%) y menor contenido de Ca (11.8 %). El BS durante este período de evaluación, mostró las menores pérdidas de suelo equivalentes al 15.6% del promedio del suelo perdido.

La mayor concentración de N correspondió al SAQ>10 (3418 mg kg^{-1}) y la menor al SAQ 5-7 (2593 mg kg^{-1}). Igualmente, la mayor concentración de P (399 mg kg^{-1}) también correspondió al SAQ>10, mientras la menor (293 mg kg^{-1}) al SAQ<2. El K y el Ca presentaron las mayores concentraciones en TQ, con valores de 2023 y 6762 mg kg^{-1} , respectivamente; mientras la menor concentración ocurrió en SAQ>10, con valores 1037 y 4665 mg kg^{-1} , respectivamente. Respecto al Mg las mayores concentraciones se presentaron en SAQ<2 y TQ con valores de 7491 y 7135 mg kg^{-1} , respectivamente; la menor concentración correspondió al SAQ 5-7, con 4272 mg kg^{-1} . El BS presentó la mayor concentración de nutrientes en el suelo erosionado, con contenidos así: 40.9% (N), 23.2% (P), 121.3% (K), 23.2% (Ca) y 10.6% (Mg).

Como era de esperarse, las mayores pérdidas de nutrientes en el suelo erosionado se presentaron en los sistemas con fertilización, alcanzando valores superiores a los ocurridos en los sistemas sin fertilización, del orden de: 27.4% (N), 57.4% (P), 31.0% (K), 9.6% (Ca) y 22.5% (Mg).

Dado que entre los sistemas de producción, TQ perdió mayor cantidad de suelo (3.38 t ha^{-1}) y SAQ<2 la menor (1.55 t ha^{-1}), en consecuencia, TQ presentó las mayores pérdidas de nutrientes en kg ha^{-1} : de N (9.9), P (1.3), K (6.9), Ca (22.8) y Mg (24.2).

Tabla 9. Valores promedio de suelo perdido ($t\ ha^{-1}$), concentración de nutrientes ($mg\ kg^{-1}$) y nutrientes perdidos ($kg\ ha^{-1}$), en parcelas de escorrentía durante 2007.

Tratamiento	Suelo perdido $t\ ha^{-1}$	Concentración nutriente -----mg kg de suelo-----					Nutriente perdido -----kg ha ⁻¹ -----				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
+F											
TQ	3.57	2936	435	2124	6150	6919	10.5	1.6	7.6	21.9	24.3
SAQ<2	1.87	3126	344	1298	5296	7608	5.8	0.6	2.4	9.9	14.2
SAQ5-7	2.80	2644	405	1271	4283	4129	7.4	1.1	3.6	12.0	11.6
SAQ>10	3.27	3225	412	1009	4288	5624	10.5	1.3	3.3	14.0	18.4
-F											
TQ	3.20	2926	341	1921	7373	7452	9.4	1.1	6.1	23.6	23.8
SAQ<2	1.23	2902	243	1307	5381	7373	3.6	0.3	1.6	6.6	9.1
SAQ5-7	2.27	2542	310	1188	4896	4416	5.8	0.7	2.7	11.1	10.0
SAQ>10	2.27	3611	387	1064	5041	5710	8.2	0.9	2.4	14.1	12.9
BS	0.40	4213	443	3094	6569	6790	1.7	0.2	1.2	2.6	2.7
Sistema	**	**	**	***	**	***	**	***	***	**	**
Fertilización	ns	ns	**	ns	*	ns	ns	**	ns	ns	ns
Sist*Fert	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
DMS _{0.05}	1.23	562.2	73.0	566.4	1144.0	806.8	3.35	0.38	2.14	7.17	9.85
r ²	0.88	0.89	0.83	0.97	0.93	0.94	0.89	0.92	0.96	0.91	0.94
CV%	45.7	13.7	15.8	25.6	16.1	10.1	41.7	38.6	47.2	46.9	46.6

Duncan (P= 0.05). Prueba de F: ***P<0.001, **P=0.001-0.01, *P=0.01-0.05, ns =no significativa.

Las menores pérdidas de nutrientes, como era de esperarse, se presentaron en el sistema SAQ<2, con valores en kg ha⁻¹ de: P (4.7), K (0.5) y de Ca (8.3); sin embargo, para Mg los menores valores se presentaron en SAQ 5-7 (10.8 kg ha⁻¹) seguido de SAQ<2 (11.6 kg ha⁻¹). En general, a mayor edad de establecimiento del SAQ mayor pérdida de nutrientes, SAQ>10 > SAQ5-7 > SAQ<2. En el bosque secundario se observaron las menores pérdidas de nutrientes, con valores promedio en kg ha⁻¹ de: N (1.7), P (0.2), K (1.2), Ca (2.6) y Mg (2.7).

A menor edad de establecimiento, el SAQ presentó menor cantidad de suelo perdido, menor concentración de P y mayor concentración de K. La tendencia para N fue a aumentar con la edad, excepto en SAQ 5-7; mientras para el Mg la tendencia fue a disminuir.

La concentración de nutrientes en el suelo proveniente de las parcelas de escorrentía, refleja principalmente el estado de fertilidad de los sistemas y en segundo lugar el efecto de la aplicación de la fertilización. Los suelos más fértiles corresponden al BS, caracterizados por presentar la más alta concentración de todos los nutrientes, seguido del SAQ>10, que presenta los valores más altos de N y P dentro de los sistemas de producción, pero con los valores más bajos de K y Ca. TQ presenta los valores más altos de K y Ca, ya que la ceniza originada por la quema sucesiva durante los tres años, es rica en sales de potasio, calcio y magnesio.

El SAQ>2 presenta condiciones mejores de fertilidad que el SAQ 5-7, el cual muestra las condiciones más pobres de fertilidad entre los SAQ. Como era de esperarse, las mayores pérdidas de nutrientes suceden en TQ, en el cual ocurren las mayores pérdidas de suelo; las menores pérdidas de nutrientes ocurren en el SAQ<2, que corresponde al sistema donde suceden las menores pérdidas de suelo.

Las pérdidas de nutrientes causadas por la escorrentía, erosión y lixiviación contabilizan cerca de la mitad del agotamiento del N, P y K en África (Smaling, 1993). Se ha encontrado que los sistemas agroforestales disminuyen la pérdida de nutrientes por escorrentía y erosión a cantidades mínimas (Lal, 1989; Young, 1989). Evidencias de reducción de pérdidas por lixiviación fueron reportadas por Horts *et al.*, 1995 quienes demostraron que cultivos en callejones de *Leucaena leucocephala* redujeron la lixiviación de nitratos cuando se comparó con un sistema de control sin árboles en un Ultisol Arenoso en la republica de Benin. Menor contenido de agua en el sub-suelo dio evidencias indirectas de la reducción de perdidas por lixiviación de nutrientes bajo los árboles en sistemas agroforestales al occidente de Kenia (ICRAF, 1995).

Los árboles además de proteger el suelo mediante el suministro de biomasa lo hace mediante la protección por el follaje, de un lado disminuye la escorrentía y las pérdidas por erosión amortiguando la temperatura y de otro regula las fluctuaciones de humedad, en la mayoría de los casos mantienen ó mejoran las propiedades físicas del suelo (Sánchez *et al.*, 1985). En los sistemas agroforestales el efecto benéfico de la superficie del suelo protegida depende de la cobertura temporal y espacial del componente árboles; las raíces de los arboles pueden aflojarse el suelo por su crecimiento radial y mejorar la porosidad del suelo (Rao *et al.*, 1997). La naturaleza perenne del sistema radical de los árboles da la fuente de sustrato para los microorganismos en la rizósfera, el mucílago microbial une las partículas de suelo en agregados estables, lo cual resulta en el mejoramiento de la estructura del suelo (Tisdall y Oades, 1982), debido a estos beneficios ambientales es que ocurre la conservación del suelo y la biodiversidad y el secuestro de carbono.

3.2.2.3 Calidad de agua de escorrentía

Para la determinación de la calidad del agua proveniente de las parcelas de escorrentía, se analizaron muestras recolectadas 45 días después de la siembra, luego de la aplicación de fertilizantes y herbicidas.

El agua proveniente de las parcelas de escorrentía en los sistemas de producción, manejados con fertilización, presentó mayores contenidos de PO_4^- (0.4 mg L^{-1}), NO_3^- (8.5 mg L^{-1}), CL^- (0.03 mg L^{-1}) y NH_4^+ (0.6 mg L^{-1}), equivalentes a contenidos superiores en 20.0%, 56.1%, 7.6% y 21.8%, respectivamente en comparación con los sistemas sin fertilización. Así mismo mostró valores menores de P (0.6 mg L^{-1}) y sólidos suspendidos totales (93.8 mg L^{-1}), equivalentes a 49.1% y 30.6% menos que en los sistemas sin fertilización (Figuras 25, 26 y Anexo 2).

Los mayores contenidos de P (2.30 mg L^{-1}) y de PO_4^- (0.29 mg L^{-1}) en el agua proveniente de las parcelas de escorrentía se observaron en TQ y los menores contenidos P (0.18 mg L^{-1}) y de PO_4^- (0.25 mg L^{-1}), en SAQ>10.

Los mayores contenidos de NO_3^- (7.97 mg L^{-1}) y de NH_4^+ (0.70 mg L^{-1}) se presentaron también en TQ y los menores en SAQ 5-7 para NO_3^- (6.13 mg L^{-1}) y en SAQ>10 para NH_4^+ (0.24 mg L^{-1}).

A mayor edad de establecimiento del SAQ, se presenta menor concentración de P y PO_4^- en el agua proveniente de las parcelas de escorrentía; además, se evidencia una tendencia a disminuir la concentración de NO_3^- y de NH_4^+ .

Entre los sistemas de producción, la mayor concentración de sólidos solubles (183.3 mg L^{-1}), se presentó en SAQ 5-7 y la menor en SAQ<2 (83.3 mg L^{-1}). El BS mostró valores de concentración de P (0.65 mg L^{-1}), PO_4^- (0.43 mg L^{-1}), NO_3^- (4.73 mg L^{-1}), NH_4^+ (0.92 mg L^{-1}) y de valores (25.0 mg L^{-1}) para sólidos solubles totales, valores éstos que corresponden a los más bajos.

El sistema TQ presentó mayor concentración promedio de P y de iones (NO_3^- , y de NH_4^+), seguido del SAQ<2.

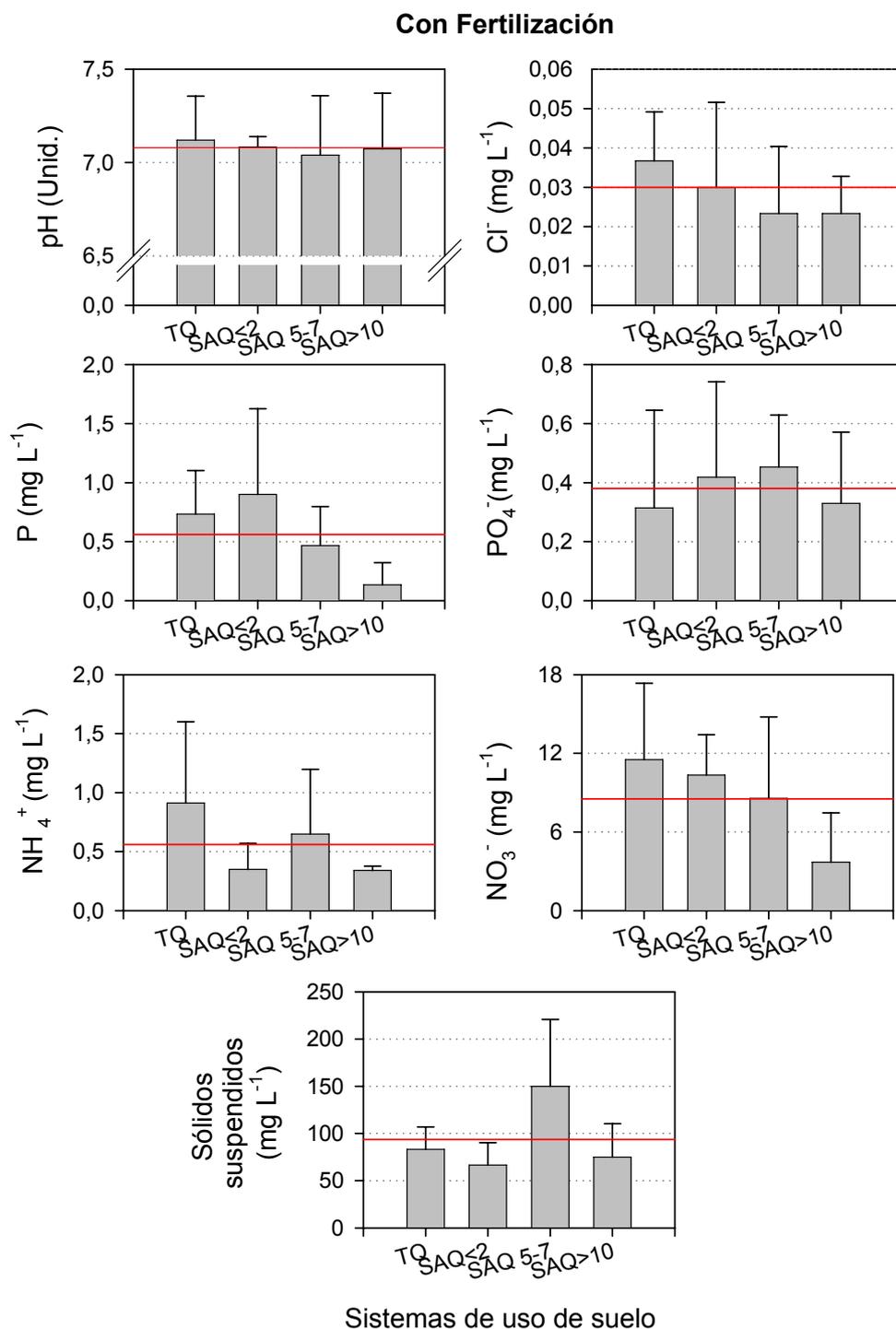


Figura 25. Valores de parámetros de calidad de agua de las parcelas de escorrentía. Sistemas de producción, con fertilización. (La línea, corresponde a valores promedios). Candelaria, Honduras, 2007.

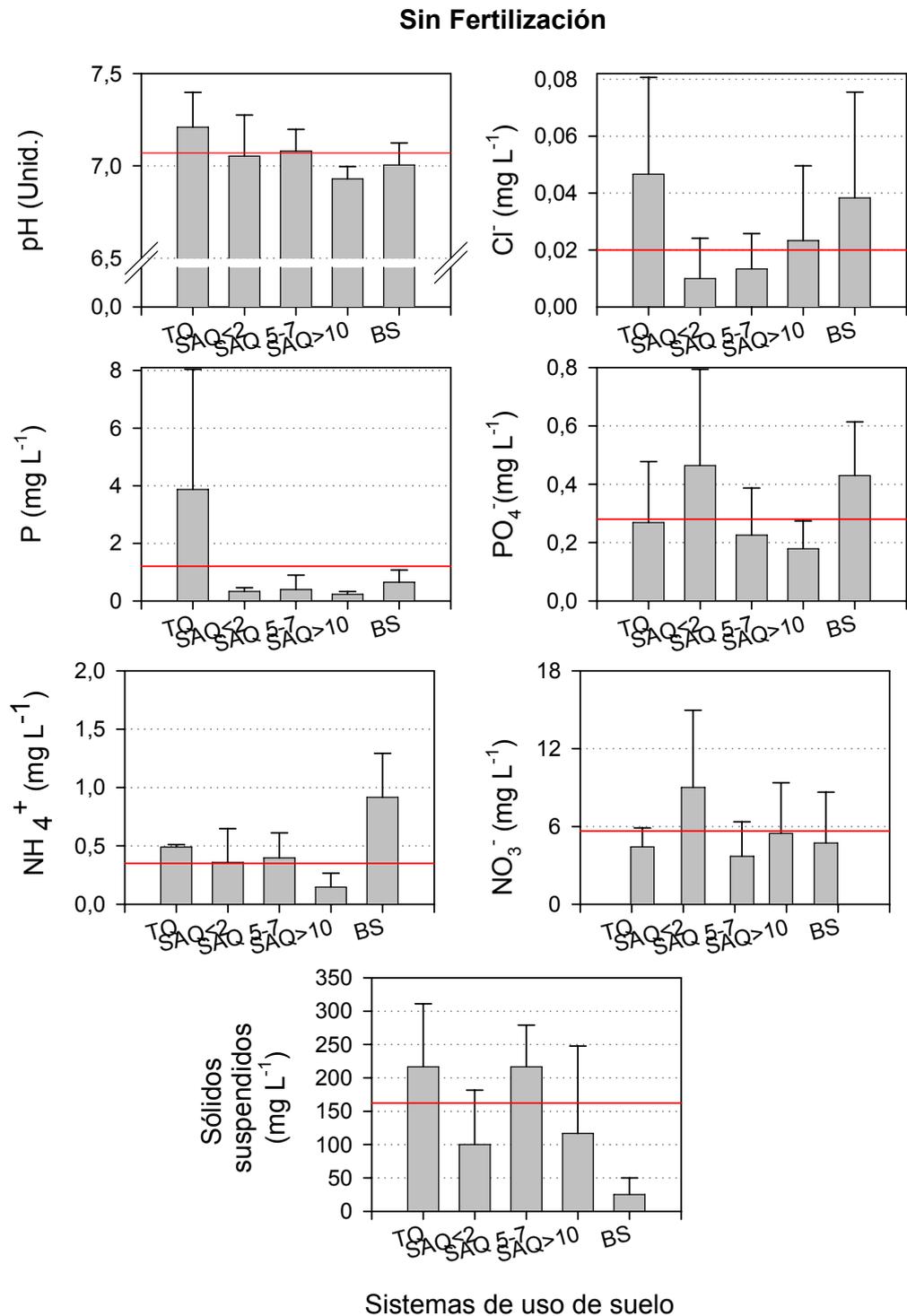


Figura 26. Valores de parámetros de calidad de agua de las parcelas de escorrentía. Sistemas de producción, sin fertilización. (La línea, corresponde a valores promedios). Candelaria, Honduras, 2007.

El sistema que menos pierde P y PO_4^- es el SAQ>10, el que menos pierde NO_3^- , y NH_4^+ , es SAQ 5-7. El sistema que más pierde P es TQ y el que más pierde PO_4^- es SAQ<2. El bosque secundario pierde PO_4^- y NH_4^+ . El SAQ 5-7 presentó la mayor cantidad de sólidos solubles y la menor el SAQ<2. El agua proveniente de las parcelas de escorrentía más limpia, o sea con menos concentración de sólidos solubles, es la proveniente del BS, sin embargo éste presenta iones de PO_4^- y NH_4^+ , en cantidades iguales o mayores a las que presentan los sistemas de producción; por lo tanto se puede sugerir que las pérdidas de estos iones no son producto de la fertilización, situación que si puede ocurrir con el P y con el NO_3^- , que se pierden más en TQ. El SAQ<2 pierde PO_4^- , lo que podría estar relacionado con la alta presencia de este ion en la solución del suelo, al igual que en el BS. El SAQ>10 es el sistema que presenta las menores concentraciones de P y de PO_4^- (Figuras 25 y 26). Es de resaltar que no se presentaron diferencias estadísticas significativas (0.05) en ninguno de los parámetros de calidad de agua evaluados (Anexo 2).

3.2.3 Calidad de agua domiciliaria y de fuentes naturales del área de influencia del estudio

3.2.3.1 Calidad de agua domiciliaria

La evaluación de calidad de agua domiciliaria se realizó con muestras de agua de uso doméstico, de agricultores pertenecientes a las comunidades de Camapara, Quesungual, Gualmuraca, Portillo Flor, El Obrajito y San Lorenzo y se comparó con los niveles críticos reglamentados por el Ministerio de Salud Pública de Colombia (MSPC, 1998), (Figura 27).

El pH del agua de uso doméstico varió entre los valores 5.75 y 7.35 unidades, para las comunidades El Obrajito y Quesungual, respectivamente. Las mayores concentraciones de NO_3^- , se presentaron en las comunidades de Gualmuraca, Quesungual y Portillo Flor, con valores de 20.4, 17.3 y 14.2 mg L^{-1} ,

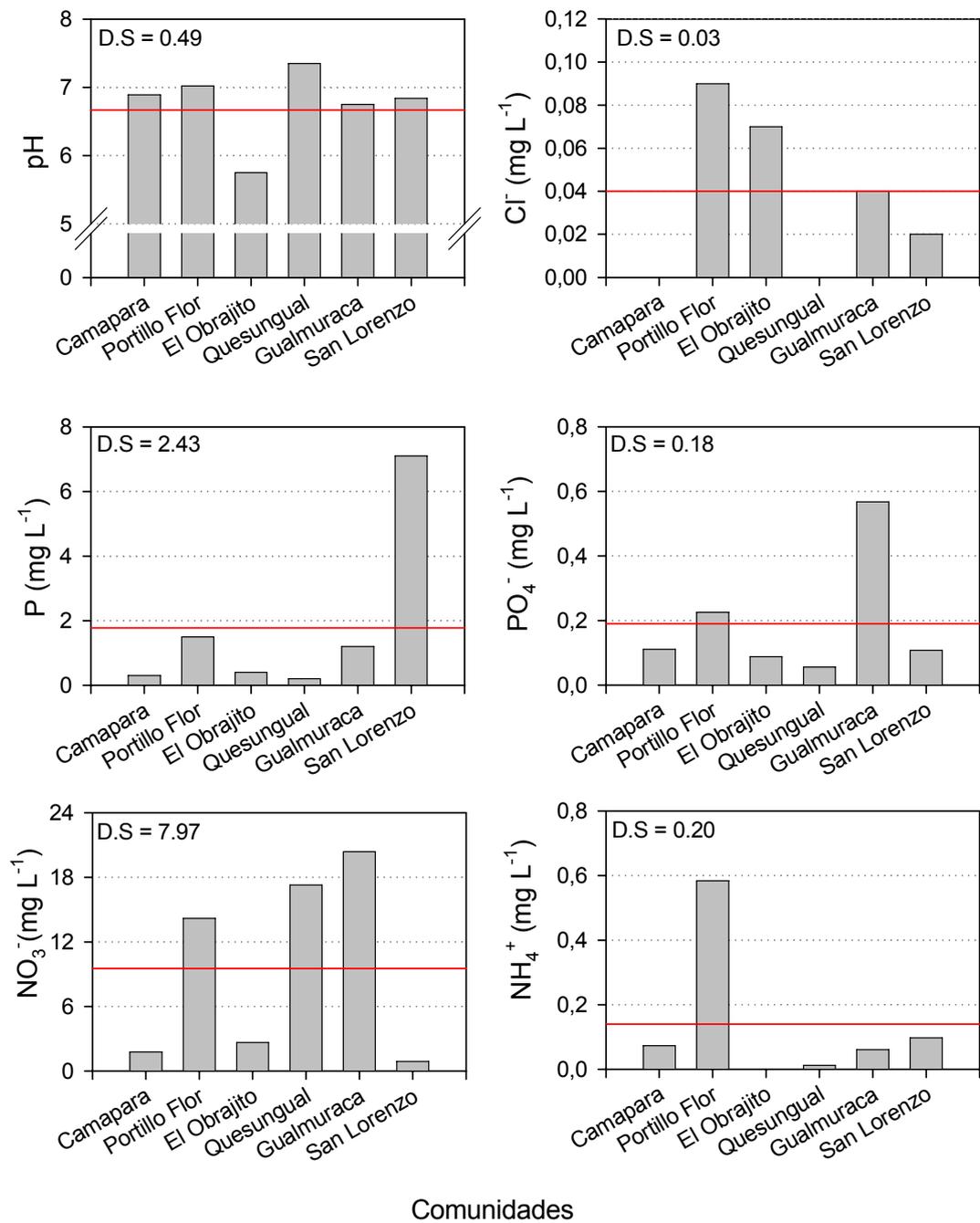


Figura 27. Valores de parámetros de calidad en agua domiciliaria en las comunidades de Camapara, Portillo Flor, El Obrajito, Quesungual, Gualmuraca y San Lorenzo. Candelaria, Honduras, 2007.

valores que sobrepasan el límite crítico ($<10 \text{ mg L}^{-1}$). En Gualmuraca se observaron valores para PO_4^- (0.56 mg L^{-1}) por encima del nivel crítico (0.40 mg L^{-1}). En la comunidad de San Lorenzo se presentaron los valores más altos de P (7.1 mg L^{-1}). Los valores de Cl^- estuvieron en general bajos, entre 0.00 y 0.09 mg L^{-1} , al igual que el contenido de NH_4^+ , el cual varió entre 0.00 y 0.97 mg L^{-1} . En general los sólidos suspendidos totales variaron entre 0 y 50 mg L^{-1} , magnitudes bajas, comparadas con los límites críticos (500 mg L^{-1}).

3.2.3.2 Calidad de agua en fuentes naturales

La evaluación de calidad agua de las fuentes naturales fue realizada con muestras provenientes de los cerros Cerique y Congolón (nacimientos El Chupadero y El Campanario), los cuales proveen el agua al Municipio de Candelaria y en muestras de agua de los Ríos Pobo, Chayel y Lempa (Figura 28).

En el nacimiento de las fuentes (Cerro Cerique y Congolón), el pH varió entre 5.21 y 7.36 unidades, mientras en los Ríos Pobo, Chayel, hasta llegar al Lempa, varió entre 7.76 y 7.93 tendiendo a ser de pH más básico.

Los Ríos Pobo, Chayel y Lempa presentaron altos niveles de NO_3^- (11.5 , 28.4 y 14.6 mg L^{-1}), por encima de los niveles críticos ($<10 \text{ mg L}^{-1}$).

En el Cerro Cerique y en el Río Chayel se observaron las mayores concentraciones de PO_4^- (0.90 y 0.54 mg L^{-1}), encima del nivel crítico ($<0.40 \text{ mg L}^{-1}$), muy probablemente la contaminación es originada por pastoreo de ganado. El Río Lempa presentó también contenidos de NO_2^- (0.99 mg L^{-1}), por encima del nivel crítico ($<0.5 \text{ mg L}^{-1}$), al igual que la mayor concentración de NH_4^+ (0.27 mg L^{-1}).

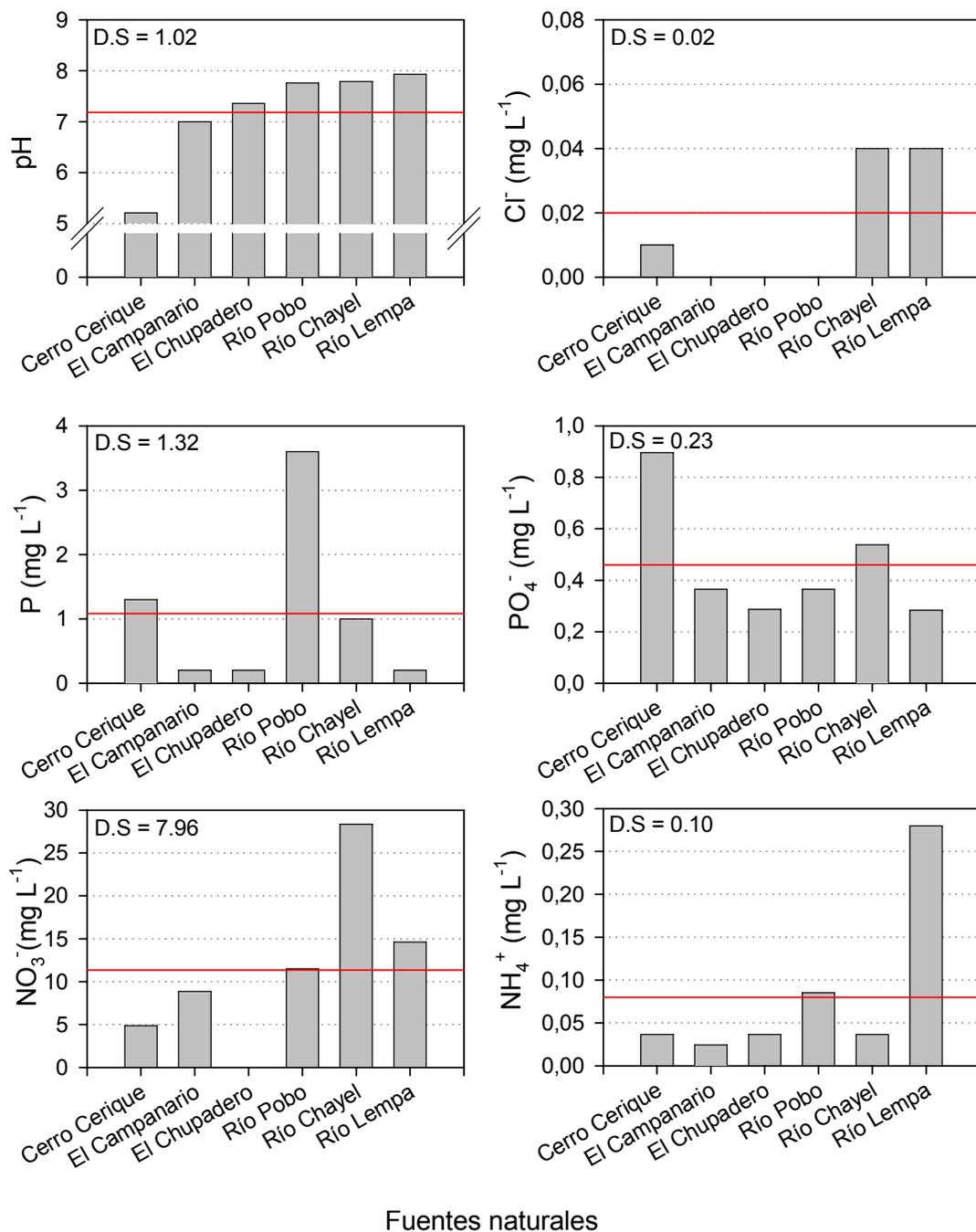


Figura 28. Valores de parámetros de calidad en agua en fuentes naturales, influencia del área del estudio. Candelaria, Honduras, 2007.

3.3 BALANCE DE AGUA

Los resultados y la discusión que a continuación se presentan, tienen como base el análisis de los componentes del balance hídrico en los sistemas de uso del suelo: Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), de tres edades de establecimiento (SAQ<2, SAQ 5-7 y SAQ>10 años), el sistema tradicional de Tala y Quema (TQ) utilizado como referencia, manejados con y sin fertilización y el bosque secundario (BS), usado como sistema de control, en respuesta a factores climáticos, edafológicos y de cobertura.

3.3.1 Componentes del balance de agua

Los componentes del balance hídrico en los cultivos de maíz y frijol, fueron cuantificados en los sistemas de producción, de siembra a madurez fisiológica (Tablas 10 y 11) y (Anexos 4 y 5) y para los períodos de desarrollo: de siembra a floración (25 de Mayo a 24 de Julio), floración a llenado de grano (25 de Julio a 22 de Agosto) y de llenado de grano a madurez fisiológica (23 de Agosto a 17 de Septiembre) para el cultivo de maíz; de siembra a floración (25 de Septiembre a 23 de Octubre), de floración a llenado de grano (24 de Octubre a 12 de Noviembre) y de llenado de grano a madurez fisiológica (13 de Noviembre a 10 de Diciembre) para el cultivo de frijol. Datos adicionales de los componentes del balance de agua fueron cuantificados en BS en las mismas fechas de la evaluación de los cultivos, con fines comparativos.

3.3.1.1 Precipitación

Como se anotó en la parte metodológica, los datos de precipitación corresponden a los registros obtenidos en las tres microestaciones meteorológicas, esta circunstancia hace que los datos de precipitación presenten reducidas variaciones que dependen de la ubicación de las tres

Tabla 10. Valores promedio de los componentes del balance de agua en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, manejados con (+F) y sin fertilización (-F) y en el Bosque Secundario (BS). Cultivo de Maíz. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	PREC	INTER	ESC	DRE mm	ET ^{&}	ET ^{&&}	ΔH ^{&}	ΔH ^{&&}
Sistema								
TQ	980	39.2	201.5a	98.0	465.5a	721.2a	176.0b	-79.8a
SAQ<2	980	141.1	157.0ab	98.0	408.8b	310.2c	174.0b	273.1a
SAQ 5-7	968	112.3	170.8ab	96.8	419.1b	582.8b	168.7b	4.5b
SAQ>10	1122	123.4	87.1c	112.2	404.1b	524.1b	395.0a	275.3a
BS	980	205.8	149.3b	98.0	435.1b	315.5c	91.6c	211.3a
Media	1005	124.3	153.1	100.6	426.5	490.8	201.0	136.9
r ²	--	--	0.88	--	0.87	0.96	0.95	0.96
Prueba F	--	--	**	--	**	***	***	***
DMS _{0.05}	--	--	46.4	--	31.1	76.5	59.4	80.1
Fertilización								
(+F)	1006	124.4	161.3	100.6	423.5	486.6	195.7	132.8
(-F)	1006	124.4	144.9	100.6	429.5	494.9	206.4	140.9
Prueba F	--	--	ns	--	ns	ns	ns	ns
DMS _{0.05}	--	--	--	--	--	--	--	--
Sist × Fert	--	--	--	--	--	***	--	***
CV%	--	--	23.5	--	5.67	12.1	22.9	45.5

Medias en la misma columna seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas (P= 0.05) prueba de Duncan. Prueba de F: ***P<0.001, **P=0.001-0.01, *P=0.01-0.05. PREC=Precipitación; INTER=Interceptación; ESC=Escorrentía; DRE = Drenaje; ET[&] = Evapotranspiración-Hargreaves, ET^{&&} Evapotranspiración-Pennam-Monteith; ΔH[&] = Diferencia de humedad-Hargreaves; ΔH^{&&}= Diferencia de humedad-Pennam-Monteith.

Tabla 11. Valores promedio de los componentes del balance de agua en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, manejados con (+F) y sin fertilización (-F) y en el Bosque Secundario (BS). Cultivo de Fríjol. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	PREC	INTER	ESC	DRE mm	ET ^{&}	ET ^{&&}	ΔH ^{&}	ΔH ^{&&}
Sistema								
TQ	407.0	16.3	58.5a	40.7	222.1a	386.4a	69.4b	-94.8d
SAQ<2	407.0	58.6	45.5a	40.7	196.9b	181.8c	65.6b	80.4a
SAQ 5-7	412.3	47.8	52.5a	41.2	215.5a	310.4b	55.2b	-39.9c
SAQ>10	466.0	51.2	28.3b	46.6	200.1b	278.4b	139.0a	60.5ab
BS	407.0	85.5	43.3ab	40.7	217.5a	201.6c	20.8c	36.1b
Media	419.1	51.9	45.6	41.9	210.4	271.7	70.0	8.48
r ²	--	--	0.85	--	0.82	0.97	0.95	0.96
Prueba F	--	--	*	--	*	***	***	***
DMS _{0.05}	--	--	15.4	--	15.2	32.9	23.0	32.3
Fertilización								
(+F)	419.9	51.9	48.2	41.9	209.0	268.4	68.7	9.0
(-F)	419.9	51.9	43.0	41.9	211.9	275.0	71.3	7.9
Prueba F	--	--	ns		ns	ns	ns	ns
DMS _{0.05}	--	--	--	--	--	--	--	--
Sist × Fert	--	--	--	--	--	***	--	***
CV%	--	--	26.2	--	5.62	9.41	25.5	96.3

Medias en la misma columna seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas (P= 0.05) prueba de Duncan. Prueba de F: ***P<0.001, **P=0.001-0.01, *P=0.01-0.05. PREC=Precipitación; INTER=Interceptación; ESC=Escorrentía; DRE = Drenaje; ET[&] = Evapotranspiración-Hargreaves, ET^{&&} Evapotranspiración-Pennam-Monteith; ΔH[&] = Diferencia de humedad-Hargreaves; ΔH^{&&}= Diferencia de humedad-Pennam-Monteith.

estaciones. Para los sistemas TQ, SAQ<2 y BS se utilizaron los registros de la estación de Camapara. En los sistemas SAQ 5-7 y SAQ>10, en dos de sus repeticiones, también se usaron los registros de la estación de Camapara, en tanto que para la tercera repetición, de éstos dos sistemas, se tomaron los registros de las estaciones ubicadas en Gualmuraca y en Quesungual, respectivamente.

La precipitación se cuantificó, en los cultivos de maíz y frijol, para los períodos de siembra a floración, floración a llenado de grano y llenado de grano a madurez fisiológica.

La precipitación total presentada de siembra a madurez fisiológica para el cultivo de maíz fue de 1012 mm, distribuida así: 500 mm (49.4%) de siembra a floración (61 días), 281 mm (27.7%) de floración a llenado de grano (29 días) y 232 mm (22.9%) de llenado de grano a madurez fisiológica (26 días). Mientras la precipitación total de siembra a madurez fisiológica para el cultivo de frijol fue de 423 mm, distribuida así: 345 mm (81.5%) de siembra a floración (29 días), 47 mm (11.1%) de floración a llenado de grano (20 días) y 32 mm (7.4%) de llenado de grano a madurez fisiológica (28 días).

La distribución de la lluvia fue más uniforme durante el tiempo de desarrollo del cultivo de maíz con un 49.4% de siembra a floración, un 27.5% de floración a llenado de grano y un 22.9% de llenado de grano a madurez fisiológica mientras para el cultivo de frijol el 81.5% de la lluvia se presentó entre la siembra y floración el 11.1% entre floración y llenado de grano y solo el 7.4% entre llenado de grano y madurez fisiológica. Gran parte de la cantidad de lluvia caída de siembra a floración en el cultivo de maíz (500 mm) es almacenada en el suelo para restablecer la humedad del suelo luego de la larga temporada seca, a pesar de la distribución de la lluvia durante el desarrollo del cultivo de frijol, el agua almacenada en el suelo es suficiente para las necesidades del cultivo. FAO 2008, reporta cantidades de agua necesaria entre 500 y 800 mm para el cultivo de maíz y entre 300 y 500 mm para el cultivo de frijol.

3.3.1.2 Evapotranspiración

3.3.1.2.1 Evapotranspiración para el cultivo de maíz

La evapotranspiración (ET_o), obtenida por los métodos Hargreaves y Penman-Monteith y expresada en mm y como % de la precipitación (Anexo 3.1) indica que:

La evapotranspiración (ET_o), (promediando los valores con y sin fertilización para cada sistema), varió entre 409 y 466 mm (Hargreaves) y 310 y 721 mm (Penman-Monteith). Los mayores valores correspondieron a TQ y los menores a SAQ>2. Los SAQ presentaron en promedio 11.9% (Hargreaves) y 34.5% (Penman-Monteith) menos evapotranspiración que TQ. El BS, durante el mismo período de evaluación, presentó valores de 435 y 316 mm, para los dos métodos, respectivamente.

Expresada como porcentaje de la precipitación, la mayor ET_o se observó en el sistema TQ para ambos métodos de determinación, con valores de 48.7 y 61.0% con fertilización y 46.3 y 86.2% sin fertilización.

En general, los sistemas SAQ presentaron menores valores de ET_o que TQ: con fertilización, los valores promedio fueron del 39.5 y 46.9% para los dos métodos; sin fertilización, fueron 41.1 y 45.2%.

Con el método de Hargreaves, el SAQ>10 presentó los valores más bajos de ET_o, con y sin fertilización (36.4 y 35.6%), mientras que con el método de Penman-Monteith, los valores más bajos se presentaron en el SAQ<2, también con y sin fertilización (32.5 y 30.1%).

Durante el mismo período de evaluación para el cultivo de maíz, el BS presentó valores de 44.4 y 32.2%, para los dos métodos.

3.3.1.2.2 Evapotranspiración para el cultivo de frijol

La evapotranspiración (ET_o), obtenida por los métodos Hargreaves y Penman-Monteith y expresada en mm y como % de la precipitación (Anexo 3.2) indica que:

La evapotranspiración (ET_o), (promediando los valores con y sin fertilización para cada sistema), varió entre 197 y 222 mm (Hargreaves) y 182 y 387 mm (Penman-Monteith). Los mayores valores correspondieron a TQ y los menores a SAQ>2. Los SAQ presentaron en promedio 8.0% (Hargreaves) y 33.6% (Penman-Monteith) menos ET_o que TQ.

Durante el mismo tiempo de evaluación del cultivo de frijol, el BS presentó valores de 217.6 y 201.6 mm de ET_o para los dos métodos, respectivamente.

Expresada como porcentaje de la precipitación, la mayor ET_o se observó en el sistema TQ, para ambos métodos de determinación: con valores de 56.4 y 78.7%, con fertilización. Sin fertilización, TQ también mostró el porcentaje más alto de ET_o (111.3%), con el método Penman-Monteith; mientras que con Hargreaves los valores más altos se presentaron en SAQ 5-7 (53.6%) y TQ (52.8%).

En general, los SAQ presentaron menores valores de ET_o que TQ, con y sin fertilización, excepto SAQ 5-7, que con el método de Hargreaves, sin fertilización, que mostró un valor similar a TQ.

Con el método de Hargreaves, el SAQ>10 presentó los valores más bajos de ET_o, con y sin fertilización, (43.3 y 42.6%); mientras que con el método de Penman-Monteith, los valores más bajos se observaron en SAQ<2, también con y sin fertilización (45.6 y 43.8%).

Durante el mismo tiempo de evaluación para el cultivo de frijol, el BS presentó valores de 53.5 y 49.5 %, para los dos métodos.

La mayor evapotranspiración presentada en TQ comparada con los otros sistemas se debe principalmente a la no presencia de cobertura la cual protege el suelo de las pérdidas directas por evaporación y contribuye al almacenamiento de humedad. Mientras TQ no presenta cobertura de árboles ni arbustos y la cantidad de mulch esta reducida a la mínima cantidad (0.6 t ha^{-1}) debido a la quema, los otros sistemas presentan cobertura por hectárea, distribuída de la siguiente manera: SAQ<2, (181) árboles enteros, (1447) árboles con poda severa, (66) árboles podados y 3.0 t ha^{-1} de materia seca (mulch); SAQ 5-7 (265) árboles enteros, (302) árboles con poda severa, (83) árboles podados y 1.8 t ha^{-1} de materia seca (mulch); SAQ>10, (265) árboles enteros, (302) árboles con poda severa, (193) árboles podados y 1.9 t ha^{-1} de materia seca (mulch). El BS presentó 1573 árboles y 3.5 t ha^{-1} de mulch.

Los valores de evapotranspiración obtenidos expresados como porcentaje de la precipitación (55 y 66%), son mayores que los presentados por Rockström, 2001, que presenta valores de evapotranspiración entre el 20 y el 40%.

Los SAQ presentaron en promedio 34% menos evapotranspiración que TQ, mientras el BS a pesar de presentar menores valores que TQ presenta valores mayores que los SAQ en promedio, muy probablemente debido a mayor actividad debido a la mayor cobertura.

La diferencia en los resultados de evapotranspiración calculada por los dos métodos radica en que tienen origen en datos de diferentes variables.

(Wallace, 1991), reportó pérdidas de evaporación del suelo en un periodo de cultivo de entre 35 y 45% de la lluvia en Millo (*Sorghum bicolor*) en Nigeria. Para la cebada (Cooper *et al.*, 1983), reportó pérdidas hasta del 60% por evaporación del suelo. La labranza del horizonte superficial del suelo puede conservar el agua del sub-suelo mediante la prevención del flujo capilar del agua hacia la superficie, de manera que evitaría la pérdida por evaporación.

En contraste, (Harfield *et al.*, 1996) midió tasas de evaporación en campos agrícolas de Iowa, USA y encontró que la labranza con cincel incremento la evaporación en 20% y hasta 130% en los primeros días después de la siembra de los cultivos de maíz (*Zea mays*) y soya (*Glycine max*), Grandes tasas de vaporación fueron registradas en áreas donde la labranza produjo un alto grado de disturbio lo cual expuso grandes cantidades de humedad de suelo a secamiento. Claramente la labranza tiene un importante efecto en la evaporación del suelo, pero el resultado neto dependerá del tipo de suelo, del contenido de agua la práctica de labranza y la época del año.

Los sistemas agroforestales tienen un gran potencial para reducir la evaporación del suelo mediante la mezcla de los cultivos con los árboles por ejemplo: Modelando la evaporación en un sistema agroforestal de *Grevillea robusta* en Kenia se demostró el potencial para reducir la evaporación del suelo usando la sombra del follaje, sin sombra de follaje el 55% de la lluvia se perdió por evaporación del suelo, la sombra del follaje redujo a 39% de la lluvia la evaporación del suelo, el sistema agroforestal tenía el 50% de cobertura y sin embargo el efecto neto de la sombra del follaje de los árboles fue reducir la evaporación del suelo en 100 mm a⁻¹, equivalente al 13% de la precipitación. Este sustancial ahorro de agua disminuyó cuando la cobertura por follaje disminuyó pero claramente demuestra el potencial para mejorar el suelo del agua lo cual puede ser logrado incrementando la cobertura en agricultura de secano y en sistemas agroforestales (Wallace, 1996).

La manipulación del microclima es una ventaja de los sistemas agroforestales, la presencia del follaje altera la radiación, la humedad relativa y la temperatura de los cultivos, datos de ensayos en Kenia han mostrado que el aire alrededor de las plantas de maíz que crecieron debajo de *Grevillea robusta* era más húmeda que el aire de encima de los árboles, la disminución es una consecuencia de los cambios en el balance de la energía superficial debido a la sombra de los árboles y a la transferencia lenta del vapor de agua debido a la presencia física de los árboles, si el microclima alrededor del cultivo tiene

menor déficit de saturación, la eficiencia de la transpiración de un cultivo bajo los árboles puede ser mayor que de un monocultivo que crece sin árboles (Wallace, 1996).

3.3.1.3 Escorrentía, interceptación y drenaje

3.3.1.3.1 Escorrentía, interceptación y drenaje para el cultivo de maíz

La escorrentía, interceptación y drenaje, obtenidos de siembra a madurez fisiológica para el cultivo de maíz, expresados en mm y como % de la precipitación (Anexo 3.3) indican que:

Los valores de escorrentía (ESC), (promediando los valores con y sin fertilización para cada sistema), variaron entre 87 y 222 mm; los mayores valores correspondieron a TQ y los menores a SAQ>10. Los SAQ presentaron en promedio 31.6% menos escorrentía que TQ.

Los valores de interceptación de la lluvia (INTER), (promediando los valores con y sin fertilización para cada sistema) variaron, entre 39 y 141 mm; los mayores valores correspondieron a SAQ>2 y los menores a TQ.

Los SAQ presentaron en promedio 3.2 veces más interceptación que TQ.

Expresada como porcentaje de la precipitación (con y sin fertilización), la mayor ESC, se observó en el sistema de TQ, (22.0 y 19.1%). En general los SAQ, mostraron valores promedio de ESC menores que TQ (14.6 y 13.6%). El sistema SAQ>10 presentó los menores valores (10.1 y 5.6%).

El bosque secundario, durante el mismo período de evaluación presentó valores de escorrentía de 15.2%.

Como corresponde, el bosque secundario presentó mayor interceptación (21.0%), debido al mayor número de árboles por ha. La menor interceptación, también como era de esperar, se observó en TQ (4%) ya que no tiene cobertura de árboles y la interceptación de la lluvia está dada por el cultivo. Entre los SAQ, la mayor interceptación se presenta en SAQ<2 (14.4%), en tanto que SAQ5-7 y SAQ>10 muestran valores similares (11.6 y 11.0%).

El drenaje fue calculado como el 10% de la precipitación, dada las características de físicas del suelo (permeabilidad y textura), asumiendo que éste se da a partir de los 40 cm de profundidad.

3.3.1.3.2 Escorrentía, interceptación y drenaje para el cultivo de frijol

La escorrentía, interceptación y drenaje, obtenidos de siembra a madurez fisiológica para el cultivo de frijol, expresados en mm y como % de la precipitación (Anexo 3.4) indican que:

Los valores de escorrentía (ESC), (promediando los valores con y sin fertilización para cada sistema) variaron entre 28 y 59 mm; los mayores valores correspondieron a TQ y los menores a SAQ>10. Los SAQ presentaron en promedio 28.8% menos escorrentía que TQ.

Los valores de interceptación de la lluvia (INTER), (promediando los valores con y sin fertilización para cada sistema), variaron entre 16 y 59 mm; los mayores valores correspondieron a SAQ>10 y los menores a TQ. Los SAQ mostraron en promedio 10.2% más interceptación que TQ.

El BS presentó para el mismo período de evaluación 43.0 mm de escorrentía y 85.5 mm de interceptación.

Referida a la precipitación en términos porcentuales, la mayor escorrentía (con fertilización), se presentó en TQ (15.3%) y la menor en SAQ>10 (8.0%); SAQ<2 y SAQ 5-7 no mostraron diferencias. Sin fertilización, los mayores valores se observaron en SAQ 5-7 (13.8%) y en TQ (13.4) y los menores en SAQ>10 (4.1%). El bosque secundario presentó valores del 10.6%.

En términos porcentuales, los valores de la interceptación, arrojan resultados iguales a los obtenidos para el cultivo del maíz. Esto es debido a que siendo el total de la precipitación diferente para los dos cultivos, los factores para el cálculo de la interceptación están dados por la cobertura, que es igual en ambos casos.

El drenaje fue calculado como el 10% de la precipitación, dada las características de físicas del suelo (permeabilidad y textura), asumiendo que éste se da a partir de los 40 cm de profundidad.

Hay dos maneras básicas para en que la escorrentía puede ser disminuida: incrementando la superficie de almacenamiento ó incrementando la tasa de infiltración, por ejemplo dejar residuos de cultivos en la superficie del suelo o sembrar cultivos de cobertura o callejones en contorno reducen la escorrentía (Lal, 1989). La cobertura de vegetación generalmente incrementa la infiltración mientras reduce la escorrentía mediante la reducción de encostramiento superficial y el mejoramiento de la conductividad hidráulica saturada (Wallace, 1996), por ejemplo en Senegal la escorrentía disminuyo de 456 mm en suelo desnudo a 264 mm en suelo cultivado y hasta 200 mm en suelo que contenida mezcla de árboles y arbustos. El uso de mulch reduce también la escorrentía (Lal, 1991) y también reduce la evaporación directa del suelo (Hanks, 1992). El efecto de la labranza superficial en la infiltración ha sido demostrado por usando un simulador de lluvia en suelos cultivados de millo en Nigeria. Solamente el 35% se infiltró el 35% de la lluvia en un suelo no disturbado comparado con el 69% en un suelo recién preparado manualmente (Hoogmoed *et al.*, 1991).

En suelos arenosos profundos, típicos de muchas regiones semiáridas, el drenaje en cultivos de secano puede ser sustancial. Por ejemplo Bley *et al.*, 1991, reporto cálculos de drenaje par cultivos de millo usando el modelo SWATRER para un periodo de 28 años en cuatro diferentes localidades en Nigeria, para Niamey, 26% de pérdidas por drenaje de una precipitación promedio anual de 595 mm; en años húmedos el drenaje incrementó hasta 400 mm, solamente cuando la precipitación disminuyo a menos de 200 mm el drenaje comenzó a ser insignificante. Similares resultados son reportados por (Ong *et al.*, 1991), para cultivos de la región de Deccan plateau en la India, donde los mejores sistemas de cultivos perdieron hasta el 33% de la lluvia como drenaje.

La reducción de perdidas por drenaje en cultivos de secano es difícil cuando ésta depende del crecimiento rápido del sistema de raíces de las plantas anuales. Sin embargo especies perennes como los árboles generalmente tienen sistemas radicales más profundos los cuales pueden utilizar más efectivamente el agua del suelo y reducir el drenaje.

Por ejemplo (Calder *et al.*, 1992) reporto resultados en plantaciones de *Eucalyptus* en el sur de la India donde las pérdidas por drenaje no solamente se redujeron a cero, si no que los árboles desarrollaron raíces a tan gran profundidad que ellos pudieron utilizar el agua de exceso de al precipitación anual. El drenaje es uno de los componentes del ciclo hidrológico que puede ser fácilmente modificado por la presencia de árboles y otra vegetación perenne.

3.3.1.4 Diferencia en el contenido de humedad en el suelo

3.3.1.4.1 Diferencia en el contenido de humedad en el cultivo de maíz

La diferencia en el contenido de humedad, obtenida de siembra a madurez fisiológica para el cultivo de maíz, expresada en mm y como % de la precipitación (Anexo 3.5) indica que:

La diferencia en el contenido de humedad ($\Delta H^{\&}$), (promediando los valores con y sin fertilización para cada sistema,) varió entre 169 y 395 mm. Los mayores valores correspondieron a SAQ>10 y los menores a SAQ 5-7. El SAQ >10 y el SAQ<2 presentaron en promedio 286 mm (68%) más que SAQ 5-7. El BS mostró para el mismo período de evaluación 91 mm de $\Delta H^{\&}$.

La diferencia en el contenido de humedad ($\Delta H^{\&\&}$), varió entre -80 y 275 mm. Los mayores valores correspondieron a SAQ>10 y SAQ >2, los menores a TQ. SAQ 5-7 presentó valores de 5mm. El BS mostró para el mismo período de evaluación 211 mm de $\Delta H^{\&\&}$.

Con fertilización, expresada como porcentaje de la precipitación, la mayor diferencia en el contenido de humedad ($\Delta H^{\&}$) se presentó en SAQ>10 (32.5%) y la menor en TQ (15.3%). Sin fertilización, la mayor diferencia en contenido de humedad se observó también en SAQ >10 (37.9%) y la menor en SAQ 5-7 (15.3%). El bosque secundario, durante el mismo período de evaluación, mostró valores del (9.4%).

Con fertilización, la mayor diferencia en el contenido de humedad ($\Delta H^{\&\&}$) se presentó en SAQ<2 (26.0.5%) y la menor en TQ (3.0%). Entre los sistemas SAQ el menor valor lo mostró SAQ 5-7 (6.5%). Sin fertilización, el menor valor se observó en TQ (-19.3%) y el mayor en SAQ>10 (33.5%). Entre los SAQ, l SAQ 5-7 presentó el menor valor (-5.8%). El bosque secundario, durante el mismo período de evaluación, reportó valores del 21.6%

3.3.1.4.2 Diferencia en el contenido de humedad para el cultivo de frijol

La diferencia en el contenido de humedad, obtenida de siembra a madurez fisiológica para el cultivo de frijol, expresada en mm y como % de la precipitación (Anexo 3.6) indica que:

La diferencia de humedad ($\Delta H^{\&}$), (promediando los valores con y sin fertilización para cada sistema), varió entre 53.5 y 107.1 mm. Los mayores valores correspondieron a SAQ 5-7 y los menores a SAQ<2. El BS presentó para el mismo período de evaluación 84.5 mm de $\Delta H^{\&}$.

La diferencia de humedad ($\Delta H^{\&\&}$), varió entre 2.0 y 46.8 mm. Los mayores valores correspondieron a SAQ 5-7 y los menores a SAQ<2. El BS mostró para el mismo período de evaluación -1.9 mm de $\Delta H^{\&\&}$.

Con fertilización, expresada como porcentaje de la precipitación, la mayor diferencia en el contenido de humedad ($\Delta H^{\&}$) se presentó en SAQ>10 (27.6%) y los menores en TQ (14.3%). Sin fertilización, los mayores también se presentaron en SAQ>10 (32.3%) y los menores en SAQ 5-7 (11.3%). El bosque secundario, durante el mismo período de evaluación, mostró valores del (4.7%). Con fertilización, la mayor diferencia en el contenido de humedad ($\Delta H^{\&\&}$) se presentó en SAQ<2 (8.0%) y los menores en TQ (-8.2%); entre los SAQ el menor valor lo mostró el SAQ 5-7 (-2.4%). Sin fertilización, el mayor valor lo mostró SAQ>10 (22.2%) y el menor TQ (-28.6%); entre los SAQ, SAQ 5-7 presentó el menor valor (-6.8%). El bosque secundario, durante el mismo período de evaluación, reportó valores del 8.8%.

3.3.2 Comparación del balance de agua entre los períodos de desarrollo de los cultivos de maíz y frijol

3.3.2.1 Comparación del balance de agua entre los períodos de desarrollo para el cultivo de maíz

Las Tablas 12, 13 y 14 muestran, para cada sistema de uso de suelo, los resultados obtenidos en los componentes del balance hídrico para el cultivo de

maíz, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica.

El sistema SAQ>10 presentó en promedio 15% más precipitación que los otros sistemas, debido a que una de sus repeticiones está ubicada en el área de mayor precipitación (Estación Quesungual).

De la evaluación del cultivo de maíz para los períodos de desarrollo, con fertilización, se desprende que:

De siembra a floración, TQ presentó los mayores valores de evapotranspiración y escorrentía y los menores para interceptación y drenaje. SAQ<2, mostró los menores valores de evapotranspiración y la mayor interceptación. SAQ>10, mostró evapotranspiración muy similar a TQ, mayor drenaje y menor escorrentía. En cuanto a la diferencia de contenido de humedad en el suelo, SAQ<2 presentó los mayores valores (125.9 mm), mientras los menores se observaron en TQ (17.3 mm), seguido de SAQ 5-7 (30.8 mm). SAQ>10 presentó valores intermedios (91.2 mm).

Tabla 12. Valores promedio de los componentes del balance de agua en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, manejados con (+F) y sin fertilización (-F) y en el Bosque Secundario (BS). Cultivo de Maíz. Siembra a Floración. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	PREC	INTER	ESC	DRE mm	ET ^{&}	ET ^{&&}	ΔH ^{&}	ΔH ^{&&}
Sistema								
TQ	482.0	19.0	96.8a	48.2	233.8a	355.0a	84.1b	-37.0c
SAQ<2	482.0	69.0	75.8a	48.2	206.1b	154.3c	82.8b	134.6a
SAQ 5-7	472.3	55.0	84.3a	47.2	209.1b	286.3b	76.6b	-0.54c
SAQ>10	562.7	62.0	45.5b	56.2	202.1b	257.5b	196.7a	141.4a
BS	482.0	101.0	71.6a	48.2	236.8a	171.3c	24.3c	89.8b
Media	496.2	61.2	74.8	49.6	217.6	244.9	92.9	65.6
r ²	--	--	0.85	--	0.89	0.96	0.96	0.96
Prueba F	--	--	*	--	**	***	***	***
DMS _{0.05}	--	--	24.5	--	16.08	36.77	31.46	39.13
Fertilización								
(+F)	496.2	61.2	79.1	49.6	216.0	242.8	90.2	63.4
(-F)	496.2	61.2	70.5	49.6	219.2	247.0	95.5	67.8
Prueba F	--	--	--	--	--	--	--	--
DMS _{0.05}	--	--	--	--	--	--	--	--
Sist × Fert	--	--	--	--	--	***	--	***
CV%	--	--	25.49	--	5.74	11.67	26.32	46.33

Medias en la misma columna seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas (P= 0.05) prueba de Duncan. Prueba de F: ***P<0.001, **P=0.001-0.01, *P=0.01-0.05. PREC=Precipitación; INTER=Interceptación; ESC=Escorrentía; DRE = Drenaje; ET[&] = Evapotranspiración-Hargreaves, ET^{&&} Evapotranspiración-Pennam-Monteith; ΔH[&] = Diferencia de humedad-Hargreaves; ΔH^{&&}= Diferencia de humedad-Pennam-Monteith.

Tabla 13. Valores promedio de los componentes del balance de agua en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, manejados con (+F) y sin fertilización (-F) y en el Bosque Secundario (BS). Cultivo de Maíz. Floración a Llenado de Grano. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	PREC	INTER	ESC	DRE mm	ET ^{&}	ET ^{&&}	ΔH ^{&}	ΔH ^{&&}
Sistema								
TQ	276.0	11.0	60.1a	27.6	134.8	210.1a	42.4b	-32.9c
SAQ<2	276.0	40.0	46.8b	27.6	119.0	90.0c	42.5b	71.5a
SAQ 5-7	283.0	32.6	52.6ab	28.3	122.1	170.1b	47.2b	-0.80b
SAQ>10	278.3	31.3	20.5c	28.7	116.5	153.1b	90.2a	53.6a
BS	276.0	58.0	44.3b	27.6	108.5	78.1c	37.5b	67.9a
Media	279.7	34.6	44.9	27.9	120.2	140.3	52.0	31.8
r ²	--	--	0.92	--	0.88	0.97	0.93	0.95
Prueba F	--	--	***	--	***	***	***	***
DMS _{0.05}	--	--	11.17	--	9.20	22.63	15.77	23.81
Fertilización								
(+F)	279.7	34.6	46.7	27.9	119.2	138.6	51.1	31.7
(-F)	279.7	34.6	43.0	27.9	121.1	142.0	52.9	31.9
Prueba F	--	--	--	--	--	--	--	--
DMS _{0.05}	--	--	--	--	--	--	--	--
Sist × Fert	--	--	--	--	--	**	--	**
CV%	--	--	19.33	--	5.95	12.53	23.58	58.0

Medias en la misma columna seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas (P= 0.05) prueba de Duncan. Prueba de F: ***P<0.001, **P=0.001-0.01, *P=0.01-0.05. PREC=Precipitación; INTER=Interceptación; ESC=Escorrentía; DRE = Drenaje; ET[&] = Evapotranspiración-Hargreaves, ET^{&&} Evapotranspiración-Pennam-Monteith; ΔH[&] = Diferencia de humedad-Hargreaves; ΔH^{&&}= Diferencia de humedad-Pennam-Monteith.

Tabla 14. Valores promedio de los componentes del balance de agua en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, manejados con (+F) y sin fertilización (-F) y en el Bosque Secundario (BS). Cultivo Maíz. Llenado de Grano a Madurez fisiológica. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	PREC	INTER	ESC	DRE mm	ET ^{&}	ET ^{&&}	$\Delta H^{\&}$	$\Delta H^{\&&}$
Sistema								
TQ	222.0	9.0	44.5a	22.2	96.8a	156.1a	49.4b	-9.8
SAQ<2	222.0	32.0	34.8a	22.2	84.3b	66.0c	48.6b	66.9
SAQ 5-7	212.3	24.6	33.8a	21.2	87.6b	126.6b	44.9b	5.93
SAQ>10	271.7	29.6	21.0b	27.1	85.3b	113.5b	108.0a	80.3
BS	222.0	47.0	33.0a	22.2	90.0b	66.1c	29.8c	53.6
Media		28.4	33.4	23.0	88.9	105.7	56.1	39.4
r ²	--	--	0.87	--	0.88	0.96	0.95	0.96
Prueba F	--	--	*	--	**	***	***	***
DMS _{0.05}	--	--	11.11	--	5.64	17.26	12.78	17.67
Fertilización								
(+F)		28.4	35.6	23.0	88.5	105.2	54.4	37.6
(-F)		28.4	31.2	23.0	89.3	106.1	57.9	41.1
Prueba F	--	--	--	--	--	--	--	--
DMS _{0.05}	--	--	--	--	--	--	--	--
Sist × Fert	--	--	--	--	--	***	--	***
CV%	--	--	25.82	--	4.93	12.69	17.68	34.85

Medias en la misma columna seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas (P= 0.05) prueba de Duncan. Prueba de F: ***P<0.001, **P=0.001-0.01, *P=0.01-0.05. PREC=Precipitación; INTER=Interceptación; ESC=Escorrentía; DRE = Drenaje; ET[&] = Evapotranspiración-Hargreaves, ET^{&&} Evapotranspiración-Pennam-Monteith; $\Delta H^{\&}$ = Diferencia de humedad-Hargreaves; $\Delta H^{\&&}$ = Diferencia de humedad-Pennam-Monteith.

De floración a llenado de grano, TQ mostró los mayores valores de evapotranspiración y de escorrentía y los menores de interceptación. SAQ<2, presentó los menores valores de evapotranspiración y los mayores de interceptación. SAQ>10, reportó valores de evapotranspiración similares a TQ y los más altos de drenaje. Frente a la diferencia de contenido de humedad de suelo, TQ mostró un valor negativo (-1.4 mm), SAQ<2 los mayores valores (66.1 mm), mientras SAQ 5-7 y SAQ>10 presentaron valores de 17.4 y 26.2 mm, respectivamente.

De llenado de grano a madurez fisiológica, TQ presentó los mayores valores de evapotranspiración y de escorrentía y los menores de interceptación. SAQ>10, mostró evapotranspiración similar a TQ, los mayores valores de drenaje y los menores de escorrentía. Respecto a la diferencia en el contenido de humedad del suelo, el mayor valor se observó en SAQ<2 (62.4 mm), seguido de SAQ>10 (56.3 mm) y los menores en TQ (133.6 mm) y SAQ 5-7 (18.7).

3.3.2.2 Comparación del balance de agua entre los períodos de desarrollo para el cultivo de frijol

Las Tablas 15, 16 y 17 muestran, para cada sistema de uso de suelo, el resultado de los componentes del balance hídrico para el cultivo de frijol, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica.

De la evaluación del cultivo de frijol, para los períodos de desarrollo, con manejo de fertilización tenemos:

En cuanto a la evapotranspiración, SAQ>10 presentó los mayores valores y los menores SAQ<2. Respecto a la escorrentía los mayores valores los mostró TQ y los menores SAQ>10 de siembra a floración, en los otros períodos de evaluación no se produjo escorrentía. Para interceptación TQ, presentó los menores valores y los mayores SAQ<2. En relación con el drenaje, el comportamiento fue similar entre los sistemas.

Tabla 15. Valores promedio de los componentes del balance de agua en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, manejados con (+F) y sin fertilización (-F) y en el Bosque Secundario (BS). Cultivo de Frijol. Siembra a Floración. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	PREC	INTER	ESC	DRE mm	ET ^{&}	ET ^{&&}	ΔH ^{&}	ΔH ^{&&}
Sistema								
TQ	329.0	13.0	58.5	32.9	32.0b	66.3a	192.6b	158.2c
SAQ<2	329.0	47.0	45.6	32.9	27.3d	30.3c	176.1c	173.1b
SAQ 5-7	320.3	37.0	52.5	32.0	31.6b	56.5b	167.1c	142.3d
SAQ>10	400.0	44.0	28.5	40.0	29.3c	50.5b	258.1a	237.0a
BS	329.0	69.0	43.3	32.9	71.0a	70.5a	112.7d	113.2e
Media	341.5	42.0	45.7	34.1	38.2	54.8	181.3	164.7
r ²	--	--	0.84		0.99	0.96	0.98	0.98
Prueba F	--	--	*		***	***	***	***
DMS _{0.05}	--	--	15.4		1.24	8.91	15.62	14.54
Fertilización								
(+F)	341.5	42.0	48.4	34.1	38.00	56.2	178.8	160.9
(-F)	341.5	42.0	48.4	34.1	38.46	53.4	183.8	168.9
Prueba F	--	--	--	--	--	--	--	--
DMS _{0.05}	--	--	--	--	--	--	--	--
Sist × Fert	--	--	--	--	--	***	--	**
CV%	--	--	26.2	--	2.52	12.63	6.69	6.85

Medias en la misma columna seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas (P= 0.05) prueba de Duncan. Prueba de F: ***P<0.001, **P=0.001-0.01, *P=0.01-0.05. PREC=Precipitación; INTER=Interceptación; ESC=Escorrentía; DRE = Drenaje; ET[&] = Evapotranspiración-Hargreaves, ET^{&&} Evapotranspiración-Pennam-Monteith; ΔH[&] = Diferencia de humedad-Hargreaves; ΔH^{&&}= Diferencia de humedad-Pennam-Monteith.

Tabla 16. Valores promedio de los componentes del balance de agua en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, manejados con (+F) y sin fertilización (-F) y en el Bosque Secundario (BS). Cultivo de Fríjol. Floración a Llenado de Grano. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	PREC	INTER	ESC	DRE mm	ET ^{&}	ET ^{&&}	ΔH ^{&}	ΔH ^{&&}
Sistema								
TQ	45.0	2.0	0.0	4.5	63.0a	107.1a	-24.5b	-68.6d
SAQ<2	45.0	6.0	0.0	4.5	56.3b	50.3d	-21.8b	-15.8a
SAQ 5-7	65.3	7.3	0.0	6.5	60.6ab	85.0b	-9.2a	-33.5b
SAQ>10	32.6	3.6	0.0	3.5	57.3b	74.5c	-31.6c	-48.7c
BS	45.0	9.0	0.0	4.5	62.1a	55.5d	-30.6c	-24.0a
Media	46.6	5.6	0.0	4.6	59.9	74.5	-23.5	-38.16
r ²	--	--	--	--	0.82	0.97	0.98	0.97
Prueba F	--	--	--	--	*	***	***	***
DMS _{0.05}	--	--	--	--	4.53	8.73	4.53	8.73
Fertilización								
(+F)	46.6	5.6	0.0	4.6	59.7	72.0	-23.3	-35.7
(-F)	46.6	5.6	0.0	4.6	60.3	76.9	-23.7	-40.5
Prueba F	--	--	--	--	--	--	--	--
DMS _{0.05}	--	--	--	--	--	--	--	--
Sist × Fert	--	--	--	--	--	***	--	***
CV%	--	--	--	--	5.88	9.11	-14.9	-17.79

Medias en la misma columna seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas (P= 0.05) prueba de Duncan. Prueba de F: ***P<0.001, **P=0.001-0.01, *P=0.01-0.05. PREC=Precipitación; INTER=Interceptación; ESC=Escorrentía; DRE = Drenaje; ET[&] = Evapotranspiración-Hargreaves, ET^{&&} Evapotranspiración-Pennam-Monteith; ΔH[&] = Diferencia de humedad-Hargreaves; ΔH^{&&}= Diferencia de humedad-Pennam-Monteith.

Tabla 17. Valores promedio de los componentes del balance de agua en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, manejados con (+F) y sin fertilización (-F) y en el Bosque Secundario (BS). Cultivo Frijol. Llenado de Grano a Madurez fisiológica. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	PREC	INTER	ESC	DRE mm	ET ^{&}	ET ^{&&}	$\Delta H^{\&}$	$\Delta H^{\&&}$
Sistema								
TQ	33.0	1.0	0.0	3.3	127.3a	213.1a	-98.6cd	-184.4e
SAQ<2	33.0	5.0	0.0	3.3	113.3b	101.5c	-88.6bc	-76.8b
SAQ 5-7	26.6	3.3	0.0	2.6	123.3ab	169.3b	-102.6d	-148.6d
SAQ>10	33.3	4.0	0.0	3.3	113.5b	153.6b	-87.5b	-127.6c
BS	33.0	7.0	0.0	3.3	84.0c	75.8d	-61.3a	-53.1a
Media	31.8	4.0	0.0	3.2	112.3	142.7	-87.7	-118.1
r ²	--	--	--	--	0.92	0.98	0.92	0.98
Prueba F	--	--	--	--	***	***	***	***
DMS _{0.05}	--	--	--	--	10.26	16.40	10.26	16.44
Fertilización								
(+F)	31.8	4.0	0.0	3.2	111.2	140.4	-86.7	-115.9
(-F)	31.8	4.0	0.0	3.2	113.3	144.9	-88.7	-120.3
Prueba F	--	--	--	--	--	--	--	--
DMS _{0.05}	--	--	--	--	--	--	--	--
Sist × Fert	--	--	--	--	--	***	--	***
CV%	--	--	--	--	7.10	8.95	-9.08	-10.81

Medias en la misma columna seguidas de la misma letra no presentan diferencias significativas (P= 0.05) prueba de Duncan. Prueba de F: ***P<0.001, **P=0.001-0.01, *P=0.01-0.05. PREC=Precipitación; INTER=Interceptación; ESC=Escorrentía; DRE = Drenaje; ET[&] = Evapotranspiración-Hargreaves, ET^{&&} Evapotranspiración-Pennam-Monteith; $\Delta H^{\&}$ = Diferencia de humedad-Hargreaves; $\Delta H^{\&&}$ = Diferencia de humedad-Pennam-Monteith.

En cuanto a la diferencia en el contenido de humedad en el suelo, de siembra a floración SAQ>10 presentó los valores más altos (219.9 mm) y los más bajos SAQ5-7 (149.7 mm); De floración a llenado de grano, todos los sistemas presentan valores negativos, siendo SAQ>10 el que extrae mayor cantidad de agua del suelo (-55.6 mm), seguido de TQ (-48.5 mm); SAQ<2 muestra el balance menos negativo (-16.0 mm); De llenado de grano a madurez fisiológica, el resultado más negativo lo presenta TQ (-152.0 mm), seguido de SAQ>10 (-145.3 mm) y el más favorable SAQ<2 (-72.2 mm).

Estos resultados indican que tanto en la etapa de floración a llenado de grano como en la de llenado de grano a madurez fisiológica, todos los sistemas extraen agua de la almacenada en el suelo.

3.3.2.3 Comparación del balance de agua total de los cultivos de maíz y frijol

Las Tablas 18 y 19 muestran la comparación de los componentes del balance hídrico en cada sistema de uso, de siembra hasta madurez fisiológica para los cultivos de maíz y frijol.

La comparación entre la diferencia de contenido de humedad del suelo, obtenida usando la evapotranspiración calculada por el método de Hargreaves ($\Delta H^{\&}$), para los cultivos de maíz y frijol, señala que:

Con fertilización, los mayores valores se presentaron en SAQ>10 tanto en maíz como en frijol: 364.4 mm (32.5%) y 128.7 mm (27.6%), respectivamente; los menores, en TQ también para los dos cultivos: 150.2 mm (15.3%) y 58.0 mm (14.3%), respectivamente. Sin fertilización, los mayores valores se observaron también en SAQ>10 tanto en maíz como en frijol: 425.2 mm (37.9%) y 150.5 mm (32.3%), respectivamente; los menores, en SAQ 5-7 para los dos cultivos: 148.3 mm (15.3%) y 46.6 mm (11.3%), respectivamente.

Tabla 18. Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años y Bosque secundario (BS). Cultivo de Maíz. Con (+) y sin (-F) Fertilización. Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	PREC	ETo ^{&}	ETo ^{&&}	ESC	INT	DRE	$\Delta H^{\&}$	$\Delta H^{\&&}$
(+F)								
TQ	980	477.0	597.7	215.6	39.2	98.0	150.2	29.5
SAQ<2	980	391.9	318.4	168.0	141.1	98.0	181.0	254.5
SAQ 5-7	967	408.5	531.0	160.9	112.2	97.7	189.3	66.8
SAQ>10	1124	408.6	599.3	113.1	123.4	112.2	364.4	173.6
Promedio	1012	421	511	164	104	101	221	131
(-F)								
TQ	980	454.1	844.8	187.4	39.2	98.0	201.3	-189.5
SAQ<2	980	425.8	302.1	146.1	141.1	98.0	168.9	292.6
SAQ 5-7	967	429.7	634.8	180.7	112.2	97.7	148.3	-56.8
SAQ>10	1124	399.7	448.9	61.2	123.4	112.2	425.2	376.1
BS	980	435.2	315.5	149.3	205.8	98.0	91.7	211.4
Promedio	1012	427	557	143	104	101	235	105

PREC = Precipitación, ETo = Evapotranspiración, ESC = Escorrentía, INT = Interceptación, DRE = Drenaje, ΔH = Diferencia en contenido de humedad
[&] = Método Hargreaves ; ^{&&} = Método Penman-Monteith, (+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización.

Tabla 19. Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años y Bosque secundario (BS). Cultivo de Frijol. Con (+) y sin (-F) Fertilización. Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	PREC	ETo ^{&}	ETo ^{&&}	ESC	INT	DRE	$\Delta H^{\&}$	$\Delta H^{\&&}$
	-----mm-----							
(+F)								
TQ	408	229.4	320.2	62.6	16.3	40.8	58.0	-32.8
SAQ<2	408	188.5	185.6	48.8	58.6	40.7	60.4	73.4
SAQ 5-7	412	210.3	284.1	49.2	47.8	41.2	63.8	-10.0
SAQ>10	466	201.8	311.5	37.6	51.3	46.6	128.7	19.0
promedio	423	207	275	49	43	42	77	12
(-F)								
TQ	408	214.9	452.8	54.5	16.3	40.8	80.7	-157.3
SAQ<2	408	205.4	178.1	42.4	58.6	40.7	59.9	87.2
SAQ 5-7	412	220.9	336.8	55.8	47.8	41.2	46.6	-69.3
SAQ>10	466	198.4	245.4	19.2	51.3	46.6	150.5	103.6
BS	408	217.6	201.6	43.0	85.5	40.7	19.9	35.9
Promedio	423	209	303	43	43	42	84	-9

PREC = Precipitación, ETo = Evapotranspiración, ESC = Escorrentía, INT = Interceptación, DRE = Drenaje, ΔH = Diferencia en contenido de humedad
[&] = Método Hargreaves ; ^{&&} = Método Penman-Monteith, (+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización.

La comparación obtenida usando la evapotranspiración calculada por el método de Penman-Monteith ($\Delta H^{\&\&}$), para los cultivos de maíz y frijol, señala que:

Con fertilización, los mayores valores se presentaron en $SAQ < 2$ para maíz y para frijol: 254.5 mm (26.0%) y 73.4 mm (18.0%), respectivamente; los menores en TQ para ambos cultivos: 29.5 mm (3.0%) y -32.8mm (-8.0%), respectivamente.

Sin fertilización, los mayores valores se observaron en $SAQ > 10$ para maíz y frijol: 376.1 mm (33.5%) y 103.6 mm (22.2%), respectivamente; los menores también en TQ para los dos cultivos: -189.5 mm (-19.3%) y -157.3 mm (-38.6%), respectivamente.

En términos generales, de esta comparación se puede deducir que: el $SAQ > 10$ presenta un mejor balance en cuanto a la diferencia en el contenido de humedad del suelo, con y sin fertilización, tanto para maíz como para frijol, seguido de $SAQ > 2$, con fertilización. El balance más desfavorable, con y sin fertilización, lo presenta TQ para los dos cultivos, seguido de $SAQ 5-7$, sin fertilización.

Hanks, 1992, presenta resultados sobre los componentes del balance hídrico en condiciones de secano y su relación con rendimiento de maíz monocultivo así: i) en Davis California, con una precipitación durante el ciclo de desarrollo del cultivo de solo 4 mm y una aplicación de riego de 3 mm durante el mismo tiempo, ocurre una evapotranspiración de 409 mm (con cero drenaje y cero escorrentía), la diferencia en contenido de humedad fue -402 mm con un rendimiento de maíz de 15.4 t ha^{-1} ; ii) en Ft Collins, Colorado con una precipitación de 186 mm, una aplicación de riego de 11 mm, una evapotranspiración 365 mm, 65 mm de drenaje y cero escorrentía la diferencia en el contenido de humedad fue de -233 mm con un rendimiento de 10.7 t ha^{-1} ; iii) en Logan, Utah con precipitación de 81 mm, aplicación de 64 mm de riego,

evapotranspiración de 366 mm con 1 mm de drenaje y cero escorrentía la diferencia en el contenido de humedad fue -222 mm para una producción de 8.8 t ha⁻¹. De la anterior información se deduce que en Davis sin riego y sin precipitación (mínimas), el valor de evapotranspiración (409 mm) corresponde a agua que fue extraída de la almacenada en el suelo (ΔH). En los otros sitios el suelo también perdió agua almacenada, pero fue menor debido a las mayores entradas por riego o por precipitación. El suelo se comporta como un gran reservorio de agua, la cantidad de agua suministrada dependerá de la textura, la profundidad de enraizamiento del cultivo y del clima.

La lluvia que cae sobre un área cultivada es distribuida en la llamada agua verde, que corresponde al agua que retorna a la atmósfera por los procesos de evapotranspiración y la llamada agua azul, agua que corresponde a la escorrentía total, la cual puede ser superficial y recarga ríos, lagos y finalmente va al mar, y la sub-superficial que fluye como drenaje y recarga el nivel freático; del 100% de la precipitación, entre el 15-39% es transpirado por las plantas, entre el 30-50% es evaporado del suelo y del follaje, entre 10-25% fluye como escorrentía y entre 10-30% fluye por drenaje (Rockström, 2001).

3.4 ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA LOS CULTIVOS DE MAÍZ Y FRÍJOL

3.4.1 Almacenamiento de agua en el suelo en el cultivo de maíz

El contenido volumétrico de humedad en el suelo en los sistemas de producción, evaluado desde floración hasta madurez fisiológica, presentó valores entre 0.355 m³m⁻³ (SAQ>10) y 0.307 m³ m⁻³ (TQ), equivalentes a variaciones del 15.6%. A diferencia del cultivo del frijol, el contenido de humedad en el de maíz se mantuvo, desde floración a madurez fisiológica, en valores alrededor de 0.330 m³ m⁻³. En general, se presentaron diferencias en contenido de humedad entre sistemas por época de evaluación hasta de 12.0%. Evaluaciones de contenido de humedad del suelo 30 días después de

siembra, DDS, (Vegetativo 4), mostraron contenidos promedios de humedad de $0.193 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, con diferencias hasta del 60% entre los sistemas; en esta fecha de evaluación, el mayor contenido de humedad se observó en SAQ>10 ($0.237 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) y el menor valor en TQ ($0.146 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) (Tabla 20 y Anexo 6).

Tabla 20. Valores promedio de contenido de humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) en el cultivo de maíz, en floración, llenado de grano y madurez fisiológica. Candelaria, Honduras, 2007

Tratamiento	VEG4	FLO	LLGRANO	MD
	-----Humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)-----			
TQ	0.146	0.313	0.307	0.318
SAQ<2	0.214	0.329	0.344	0.323
SAQ 5-7	0.195	0.335	0.341	0.347
SAQ>10	0.237	0.355	0.343	0.336
BS	0.158	0.297	0.339	0.316
Promedio	0.193	0.329	0.334	0.329

VEG4 = Vegetativo 4, FLO = Floración, LLGRANO = Llenado de grano y MD = Madurez fisiológica.

El contenido volumétrico de humedad de suelo, en floración, llenado de grano y madurez fisiológica, presentó los mayores valores en SAQ>10 (0.355 , 0.343 y $0.347 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ respectivamente) y los menores en TQ (0.313 , 0.307 y $0.318 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ respectivamente), diferencias equivalentes a cambios en el contenido de humedad de 12, 11 y 8% respectivamente.

El contenido de humedad expresado en lámina (mm), de 0 a 40 cm de profundidad, evaluado desde floración a madurez fisiológica, varió entre 141.1 (SAQ<2) y 128.0 mm (TQ), variación equivalente a cambios de humedad hasta del 10%. El contenido de humedad a la profundidad de 40-100 cm, durante el mismo período de evaluación, varió entre 225.9 mm (SAQ>10) y 174.4 mm (TQ), variación equivalente a cambios hasta del 29.5%. Los contenidos de humedad en el perfil de suelo, de 0 a 100 cm de profundidad, variaron entre

358.4 mm (SAQ>10) y 305.5 mm (TQ), variaciones que corresponden a diferencias de humedad alrededor de 17.3% (Tabla 21).

En floración, el contenido de humedad expresado como lámina de agua acumulada, de 0 a 40 cm de profundidad, no presentó diferencias entre sistemas; de 40 a 100 cm de profundidad, la mayor lámina de agua, 225.9 mm, se observó en SAQ>10 y la menor, 176.6 mm en TQ, diferencias equivalentes al 27.9%; de 0 a 100 cm de profundidad, como era de esperarse, las diferencias se mantuvieron, la mayor lámina, 358.4 mm en SAQ>10 y la menor, 310.7 mm en TQ, equivalentes al 15.3%.

En llenado de grano, el contenido de humedad expresado como lámina de agua acumulada de 0 a 40 cm de profundidad, la mayor lámina de agua, 141.1 mm se presentó en SAQ<2 y la menor, 131.1 mm, en TQ, diferencia equivalente al 7.6%; de 40 a 100 cm de profundidad, la mayor lámina de agua, 207.6 mm se observó en SAQ>10 y la menor, 174.4 mm en TQ, con una diferencia del 19.0 %; de 0 a 100 cm de profundidad, la mayor lámina de agua, 344.0 mm la mostró SAQ<2 y la menor 305.5 mm TQ, con una diferencia que llega al 12.6%.

En madurez fisiológica, el contenido de humedad expresado en lámina de agua acumulada, de 0 a 40 cm de profundidad, la mayor lámina de agua, 136.3 mm, se observó en SAQ 5-7 y la menor 128.0 mm en TQ, diferencia que equivale al 6.5%; de 40 a 100 cm de profundidad, la mayor lámina de agua, 211.6 mm, se presentó en SAQ5.-7 y la menor, 189.6 mm en TQ y SAQ <2, en promedio con una diferencia del 11.6%; de 0 a 100 cm de profundidad, la mayor lámina de agua, 337.4 mm la mostró en SAQ>10 y la menor 318.4 mm TQ, diferencia que llega al 6.0% (Tabla 21 y Anexo 8).

Tabla 21. Valores promedio de contenido de humedad, expresada como lámina acumulada de agua (mm), de 0-40, 40 a 100 y de 0 a 100 cm de profundidad, en floración, llenado de grano y madurez fisiológica. Cultivo de maíz. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	Floración			Llenado de grano			Madurez fisiológica		
	0 a 40 cm	40-100 cm	0-100 cm	0 a 40 cm	40-100 cm	0-100 cm	0 a 40 cm	40-100 cm	0-100 cm
----- Lámina de agua (mm) -----									
TQ	134.1	176.6	310.7	131.1	174.4	305.5	128.0	190.5	318.4
SAQ<2	136.4	188.7	325.0	141.1	199.5	340.6	133.7	188.7	322.4
SAQ 5-7	133.5	199.6	333.1	135.4	204.0	339.4	136.3	211.6	348.0
SAQ>10	132.5	225.9	358.4	136.4	207.6	344.0	131.7	206.1	337.7
BS	130.5	160.6	291.1	135.6	192.1	327.8	132.1	179.6	311.8
Promedio	133.7	193.6	327.3	135.9	195.9	331.8	132.4	197.0	329.4

Evaluaciones de contenido de humedad del suelo, expresadas en lámina acumulada (promedio con y sin fertilización), 30 días después de siembra, DDS (Vegetativo 4), de 0 a 40 cm de profundidad, mostraron la mayor lámina 89.9 mm en SAQ>10 y la menor 60.6 mm en (TQ), con una diferencia del 48.3%; de 40 a 100 cm de profundidad, la mayor lámina de agua, 154.4 mm se presentó en SAQ>10 y la menor, 86.6 mm en (TQ), que equivale al 78.6%; de 0 a 100 cm de profundidad, como era de esperarse, las diferencias se mantuvieron, la mayor lámina 244.8 mm, la mostró SAQ>10 y la menor 147.2 mm TQ, diferencia que alcanza el 66.3%.

Respecto al manejo de la fertilización se presentaron diferencias en vegetativo 4 y llenado de grano (de 40 a 100 cm y de 0 a 100 cm de profundidad), en el cultivo de maíz y en floración para el cultivo de frijol, a las mismas profundidades. La interacción sistema por fertilización mostró diferencias en madurez fisiológica (a la profundidad de 0 a 40 cm) para el cultivo de maíz. Los coeficientes de variación fueron bajos para todos los parámetros evaluados (Tabla 22).

En cuanto al contenido de humedad expresado como lámina de agua acumulada (mm), el análisis estadístico muestra que no se presentan diferencias significativas entre las etapas de desarrollo (de 0 a 40 cm de profundidad), para los cultivos de maíz y frijol. Las diferencias estadísticas entre sistemas estuvieron dadas (de 40 a 100 cm de profundidad), para los dos cultivos en todas las etapas evaluadas (Tabla 22).

Para el cultivo de maíz, los valores de almacenamiento de agua en el suelo, evaluado a las profundidades de, 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 80-100 cm y sus valores acumulados a las profundidades de, 0 a 40 cm, de 40 a 100 cm y en el perfil de 0 a 100 cm, son presentados en las Tablas 22, 23, 24 y 25 y en las Figuras 29, 30, 31 y 32, para las etapas de desarrollo: vegetativo 4 (30 días después de siembra), floración, llenado de grano y madurez fisiológica. Muestras de suelos adicionales para el bosque secundario fueron evaluados en las mismas fechas en que se evaluaron los cultivos.

Tabla 22. Resultados obtenidos con la prueba de Duncan, para diferencias entre medias de lámina acumulada de agua (mm), de 0 a 40, de 40 a 100 y de 0 a 100 cm de profundidad, en floración, llenado de grano y madurez fisiológica. Cultivos maíz y frijol. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	Floración			Llenado de grano			Madurez fisiológica		
	0-40 cm	40-100 cm	0-100 cm	0-40 cm	40-100 cm	0-100 cm	0-40 cm	40-100 cm	0-100 cm
----- Lámina de agua (mm) -----									
Maíz									
Sistema	ns	**	**	ns	**	*	ns	***	**
Fertilización	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	**	ns
Sist * Fert	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
r ²	0.88	0.92	0.94	0.78	0.83	0.86	0.079	0.74	0.75
CV%	6.04	7.17	4.91	7.89	7.54	5.74	7.82	9.20	7.67
DMS _{0.05}	--	20.2	23.6	--	21.4	27.7	15.0	26.4	36.7
Frijol									
Sistema	ns	***	***	ns	***	**	ns	***	**
Fertilización	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sist * Fert	ns	--	--	ns	ns	ns	ns	ns	ns
r ²	0.79	0.89	0.86	0.87	0.91	0.90	0.94	0.92	0.92
CV%	10.68	8.66	8.91	12.63	9.43	10.08	6.90	9.03	8.03
DMS _{0.05}	--	22.8	39.4	--	21.3	35.2	--	17.8	25.3

Duncan (0.05); <0.01***; 0.01-0.05 **; 0.05-0.1 *; >0.1 ns.

Tabla 23. Valores promedio de Lámina de Agua y Lámina acumulada en profundidad, Vegetativo 4. Cultivo de Maíz. Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Profundidad de suelo (cm)						0-40	40-100	0-100
	0-10	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100			
----- Lámina de agua (mm) -----									
(+F)									
TQ	13.0 (2.4)	15.9 (2.6)	31.5 (5.8)	30.4 (3.3)	24.1 (6.8)	21.4 (5.5)	60.4 (10.8)	75.9 (16.5)	136.3 (27.3)
SAQ<2	20.2 (2.2)	19.1 (2.1)	42.8 (3.9)	37.8 (2.3)	46.0 (2.7)	36.6 (2.8)	82.1 (8.2)	120.4 (7.8)	202.5 (16.0)
SAQ 5-7	16.9 (3.4)	16.8 (4.6)	42.8 (4.1)	40.2 (12.5)	36.7 (16.1)	33.9 (14.1)	76.4 (12.1)	110.7 (42.8)	187.2 (54.8)
SAQ>10	19.2 (3.8)	17.9 (2.8)	47.3 (1.2)	50.2 (2.3)	53.0 (7.0)	59.1 (1.7)	84.4 (7.9)	162.3 (11.0)	246.7 (18.8)
(-F)									
TQ	12.6 (3.5)	14.7 (1.6)	33.4 (1.6)	28.2 (6.7)	36.4 (6.4)	32.7 (8.5)	60.7 (6.7)	97.4 (21.6)	158.1 (28.3)
SAQ<2	21.6 (2.9)	21.0 (1.3)	49.1 (3.4)	44.2 (1.5)	44.6 (5.7)	47.7 (6.7)	91.7 (7.6)	136.5 (13.9)	228.2 (21.5)
SAQ 5-7	19.2 (2.2)	16.8 (1.2)	41.0 (10.6)	41.6 (10.3)	44.0 (7.9)	48.1 (11.4)	76.9 (14.0)	133.7 (29.6)	210.6 (43.5)
SAQ>10	21.2 (3.3)	20.6 (2.3)	53.6 (3.7)	53.4 (2.4)	49.3 (6.4)	44.8 (4.2)	95.5 (9.2)	147.5 (13.0)	243.0 (22.2)
BS	18.4 (2.9)	16.0 (2.5)	38.7 (2.7)	30.2 (7.0)	26.4 (3.0)	26.1 (6.9)	73.1 (8.2)	82.7 (16.8)	155.7 (24.9)

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; El número entre paréntesis = Desviación estándar.

Tabla 24. Valores promedio de Lámina de Agua y Lámina acumulada en profundidad, Floración, Cultivo de Maíz. Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Profundidad de suelo (cm)						0-40	40-100	0-100
	0-10	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100			
----- Lámina de agua (mm) -----									
(+F)									
TQ	33.5 (2.4)	30.8 (1.2)	71.9 (7.8)	62.7 (8.5)	62.8 (9.9)	44.9 (10.3)	136.1 (11.5)	170.4 (28.7)	306.5 (40.1)
SAQ<2	33.8 (2.2)	34.9 (3.9)	64.3 (0.7)	70.7 (2.4)	64.0 (1.9)	62.0 (4.8)	133.0 (6.9)	196.7 (9.0)	329.7 (15.9)
SAQ 5-7	34.9 (3.3)	34.2 (2.3)	64.6 (6.9)	69.1 (9.9)	66.5 (6.0)	65.3 (5.6)	133.7 (12.5)	200.8 (21.5)	334.6 (34.0)
SAQ>10	31.5 (2.4)	32.4 (2.1)	62.9 (0.2)	73.4 (1.0)	78.1 (5.9)	75.0 (1.2)	126.8 (4.7)	226.4 (8.0)	353.2 (12.7)
(-F)									
TQ	33.5 (1.1)	33.0 (3.7)	65.6 (7.3)	63.3 (0.9)	60.0 (0.9)	59.5 (3.5)	132.1 (12.1)	182.8 (5.3)	314.9 (17.4)
SAQ<2	36.9 (1.5)	34.7 (1.0)	68.1 (2.3)	60.9 (3.9)	61.6 (3.9)	58.1 (3.9)	139.8 (4.8)	180.6 (11.7)	320.4 (16.5)
SAQ 5-7	36.0 (2.9)	32.9 (2.2)	64.4 (8.8)	70.1 (6.2)	69.8 (10.1)	58.4 (9.1)	133.3 (14.0)	198.3 (25.3)	331.7 (39.3)
SAQ>10	37.1 (1.3)	33.5 (4.8)	67.6 (4.5)	77.1 (0.5)	92.2 (6.3)	76.3 (11.0)	138.2 (10.6)	225.5 (17.7)	363.6 (28.2)
BS	33.5 (4.1)	31.6 (3.6)	65.4 (8.2)	61.5 (0.6)	44.3 (18.3)	54.8 (11.0)	130.5 (15.9)	160.6 (29.8)	291.1 (45.7)

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; El número entre paréntesis = Desviación estándar.

Tabla 25. Valores promedio de Lámina de Agua y Lámina acumulada en profundidad, Llenado de grano, Cultivo de Maíz. Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Profundidad de suelo (cm)						Lámina de agua (mm)		
	0-10	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100	0-40	40-100	0-100
(+F)									
TQ	31.9 (1.6)	30.9 (2.5)	79.3 (3.8)	65.0 (2.3)	63.2 (3.7)	50.7 (3.7)	142.1 (7.9)	178.9 (9.7)	321.0 (17.6)
SAQ<2	37.6 (2.9)	36.7 (2.9)	68.6 (2.9)	77.5 (5.6)	67.7 (4.2)	65.5 (6.7)	142.9 (8.6)	210.8 (16.5)	353. (25.1)
SAQ 5-7	37.7 (1.9)	34.1 (2.9)	65.1 (5.7)	70.7 (8.2)	72.9 (7.9)	70.9 (5.2)	136.9 (10.5)	214.5 (21.3)	351.4 (31.8)
SAQ>10	30.8 (1.0)	32.5 (0.7)	63.8 (4.8)	71.5 (2.2)	68.9 (0.3)	71.3 (5.9)	127.0 (6.4)	211.7 (8.4)	338.7 (14.8)
(-F)									
TQ	35.5 (3.5)	27.5 (2.6)	57.5 (3.6)	62.1 (8.8)	55.3 (2.7)	52.7 (5.1)	120.0 (9.6)	170.0 (16.5)	290.0 (26.1)
SAQ<2	35.2 (1.0)	34.7 (1.5)	69.3 (3.4)	61.5 (2.3)	62.6 (4.9)	61.1 (7.4)	139.2 (5.9)	188.3 (14.5)	327.5 (20.4)
SAQ 5-7	35.2 (3.1)	33.2 (1.7)	65.4 (8.8)	68.9 (1.7)	62.9 (4.8)	61.7 (5.6)	133.8 (13.6)	193.6 (12.1)	327.4 (25.6)
SAQ>10	38.2 (1.9)	34.0 (2.9)	73.6 (5.9)	67.1 (2.0)	61.6 (2.2)	75.0 (10.3)	145.8 (10.7)	203.6 (14.4)	349.3 (25.0)
BS	42.3 (1.5)	36.4 (3.1)	57.0 (16.5)	61.4 (3.7)	60.3 (7.0)	70.4 (5.0)	135.6 (21.2)	192.1 (15.7)	327.8 (36.9)

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; El número entre paréntesis = Desviación estándar.

Tabla 26. Valores promedio de Lámina de Agua y Lámina acumulada en profundidad, Madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Profundidad de suelo (cm)						0-40	40-100	0-100
	0-10	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100			
----- Lámina de agua (mm) -----									
(+F)									
TQ	30.2 (2.6)	30.8 (2.0)	71.6 (7.3)	68.0 (8.9)	67.7 (0.8)	58.5 (5.2)	132.5 (11.8)	194.1 (14.8)	326.6 (26.5)
SAQ<2	31.9 (1.6)	32.0 (1.5)	62.5 (1.6)	67.1 (1.7)	64.4 (4.8)	65.4 (6.3)	126.4 (4.7)	196.9 (12.9)	323.2 (17.6)
SAQ 5-7	36.2 (1.4)	34.2 (0.6)	68.1 (4.7)	72.7 (5.3)	75.3 (0.8)	76.9 (1.1)	138.6 (6.7)	224.8 (7.2)	363.4 (13.8)
SAQ>10	29.6 (3.1)	30.7 (3.8)	58.5 (6.1)	70.9 (1.8)	65.9 (2.1)	67.6 (3.6)	118.8 (13.0)	204.3 (7.4)	323.1 (20.4)
(-F)									
TQ	33.7 (1.7)	32.3 (1.4)	57.5 (0.2)	65.9 (9.0)	62.8 (0.2)	58.2 (1.8)	123.4 (3.2)	186.8 (10.9)	310.2 (14.1)
SAQ<2	33.0 (1.6)	34.5 (2.4)	73.6 (7.1)	61.6 (7.9)	63.1 (3.4)	55.7 (2.6)	141.0 (11.1)	180.5 (13.9)	321.5 (25.0)
SAQ 5-7	35.3 (2.0)	31.1 (1.9)	67.6 (7.5)	70.6 (1.0)	67.8 (7.5)	60.1 (2.9)	134.0 (11.4)	198.4 (11.5)	332.5 (22.9)
SAQ>10	37.7 (0.6)	32.3 (3.2)	74.6 (0.3)	69.2 (8.0)	73.7 (8.4)	65.0 (0.3)	144.6 (4.1)	207.8 (16.6)	352.4 (20.7)
BS	35.1 (2.1)	31.7 (3.5)	65.3 (8.9)	66.6 (6.7)	57.7 (3.4)	55.3 (11.1)	132.1 (14.5)	179.6 (21.2)	311.8 (35.8)

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; El número entre paréntesis = Desviación estándar.

Vegetativo 4 - Maíz

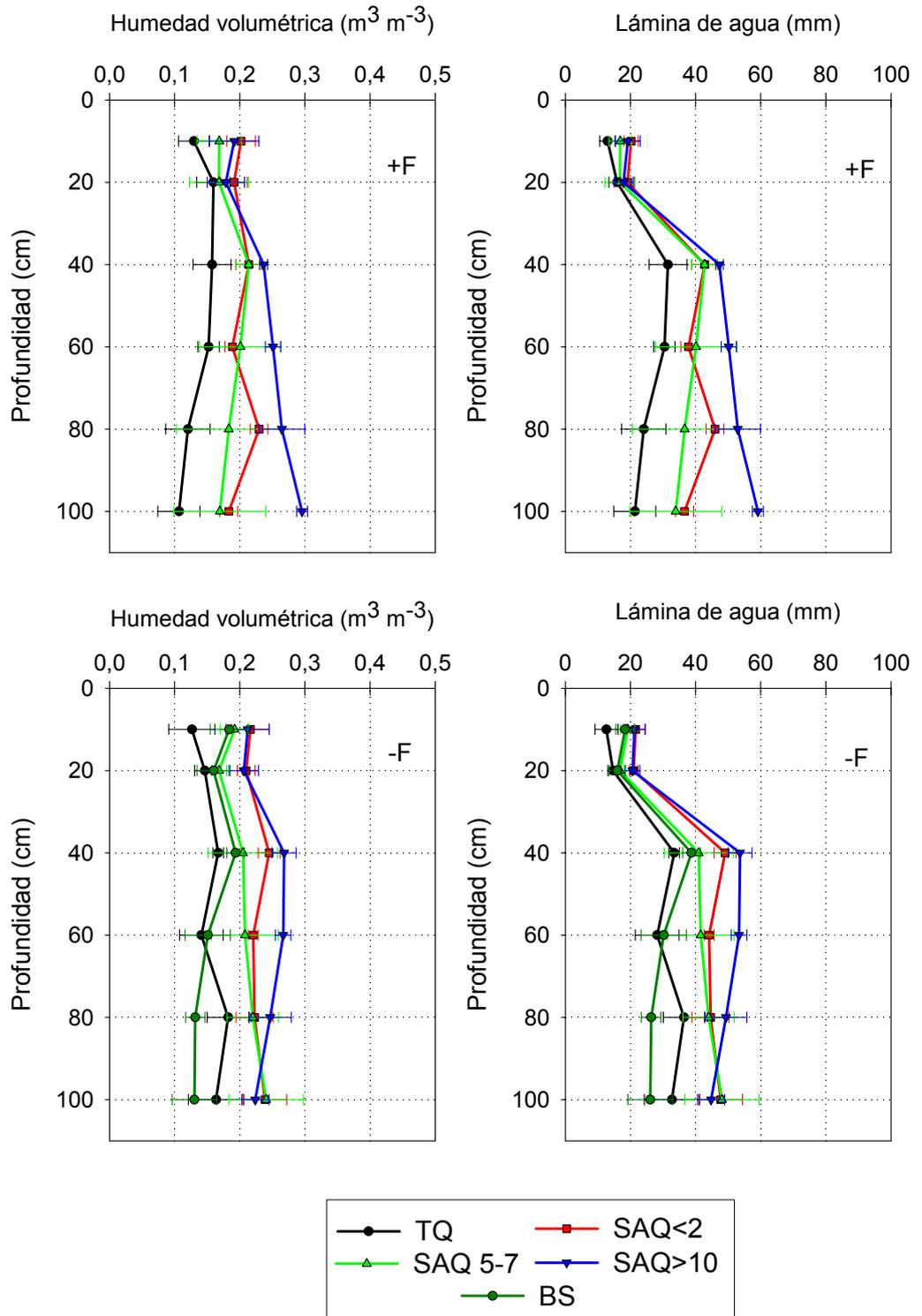


Figura 29. Valores promedio de humedad volumétrica (m³ m⁻³) y lámina de agua (mm), Vegetativo 4, Cultivo Maíz. Candelaria, Honduras. 2007.

Floración - Maíz

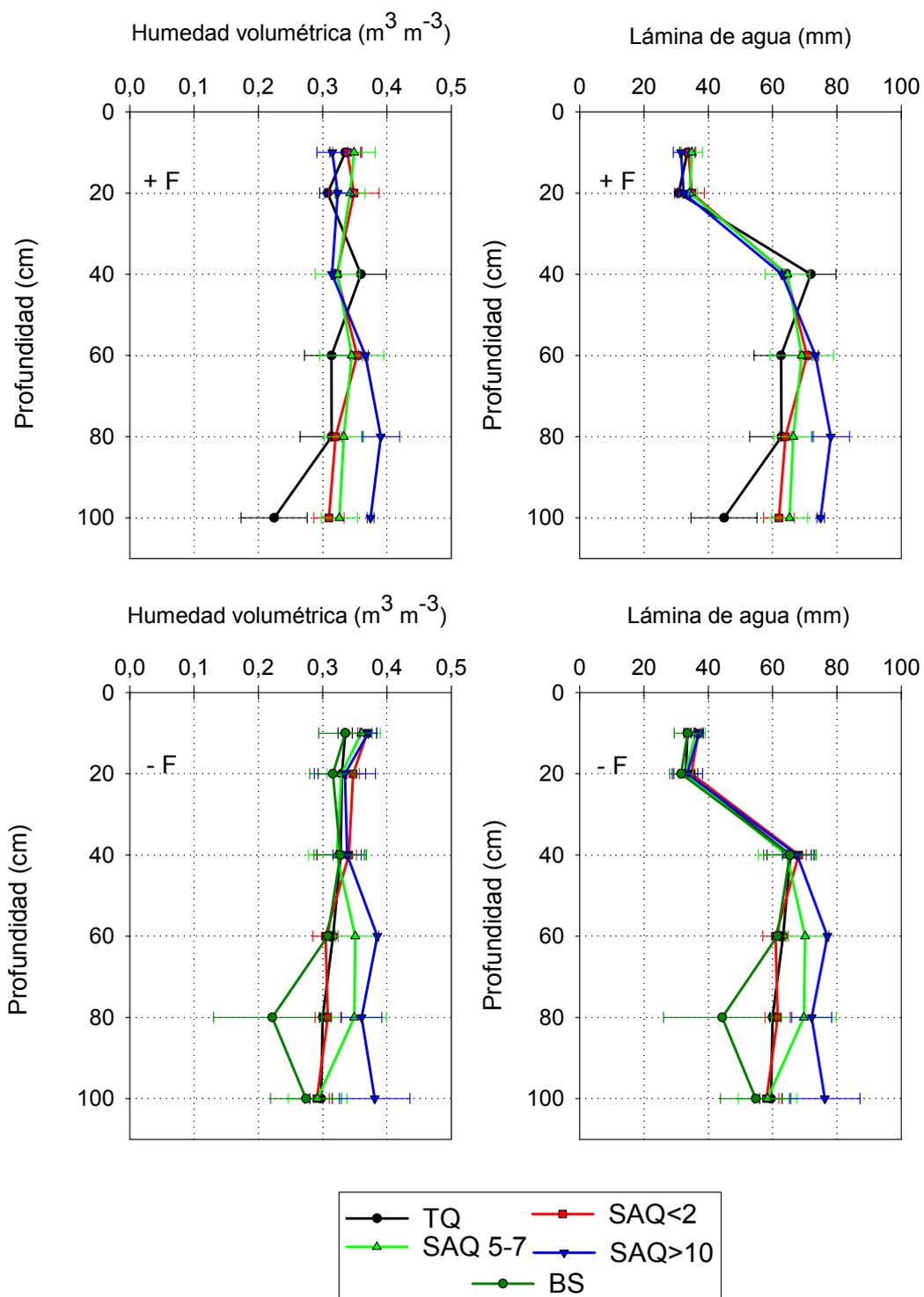


Figura 30. Valores promedio de humedad volumétrica (m³ m⁻³) y lámina de agua (mm), Floración, Cultivo de Maíz. Candelaria, Honduras, 2007.

Llenado de grano - Maíz

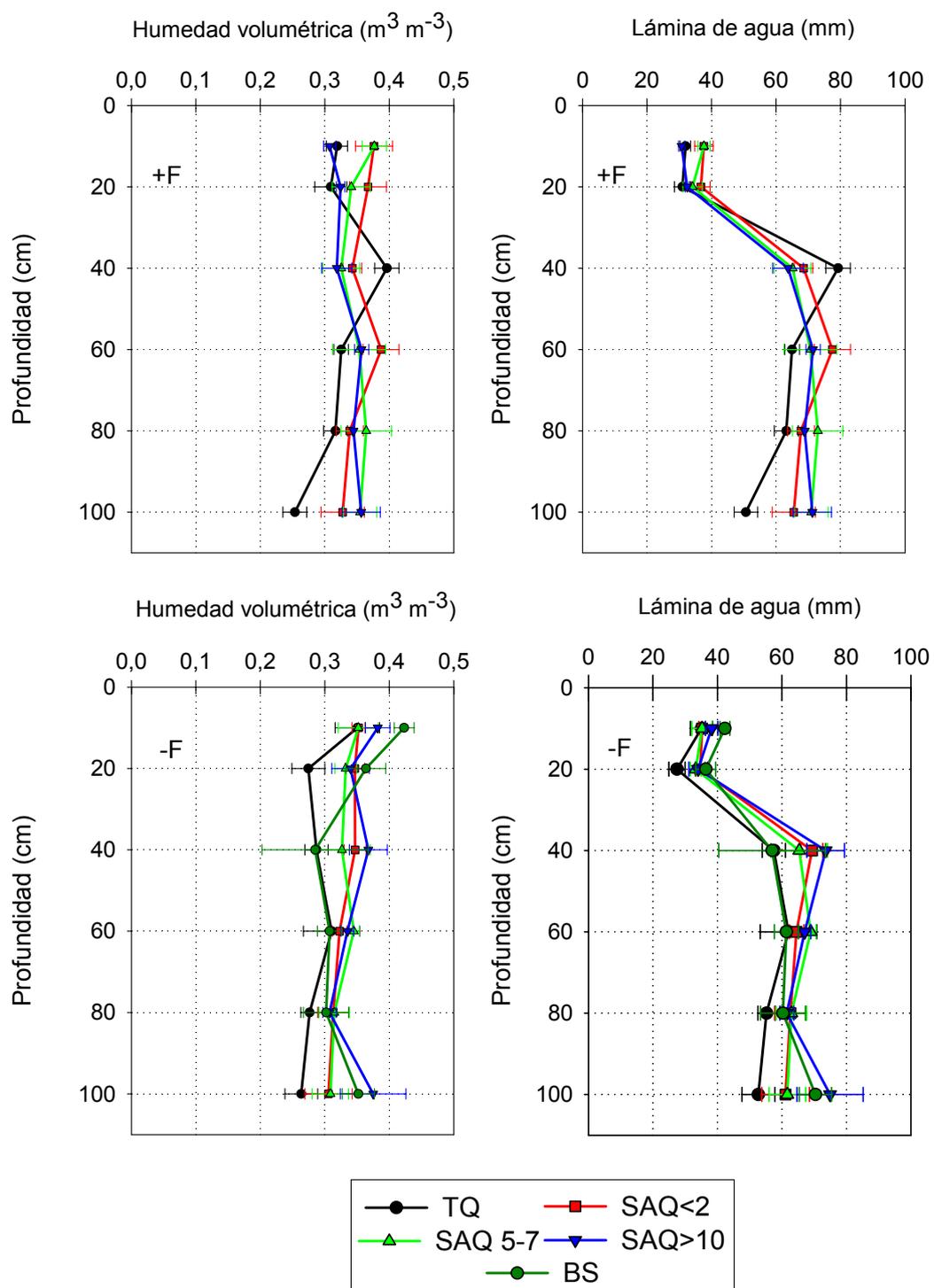


Figura 31. Valores promedio de humedad volumétrica (m³ m⁻³) y lámina de agua (mm), llenado de grano, Cultivo de Maíz. Candelaria, Honduras, 2007

Madurez Fisiológica - Maíz

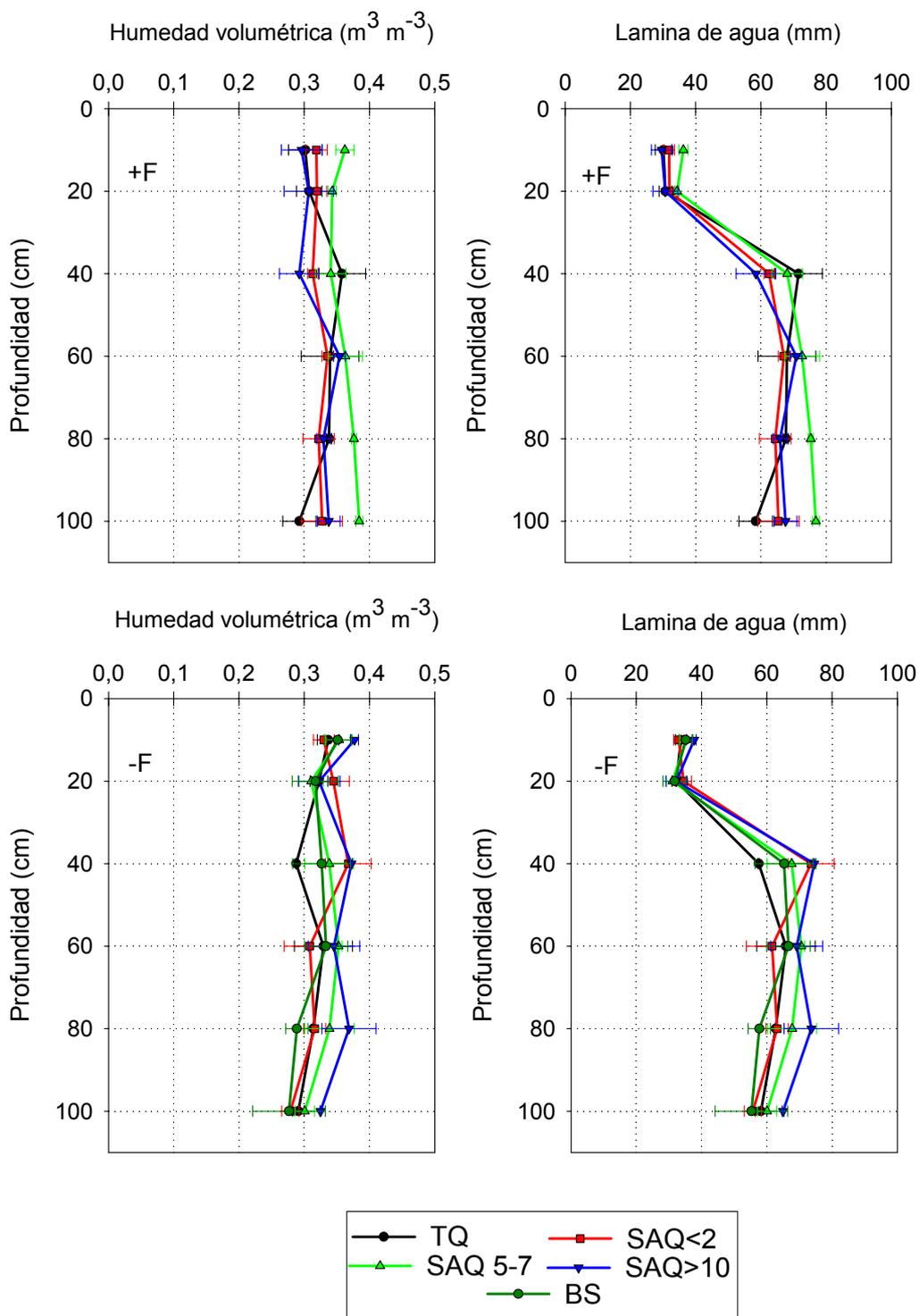


Figura 32. Valores promedio de humedad volumétrica (m³ m⁻³) y lámina de agua (mm). Madurez fisiológica, Cultivo Maíz. Candelaria, Honduras, 2007.

3.4.2 Almacenamiento de agua en el cultivo de frijol

El contenido volumétrico de humedad en el suelo en los sistemas de producción, evaluado desde floración hasta madurez fisiológica, presentó valores entre $0.396 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ (SAQ>10) y $0.218 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ (TQ), equivalentes a variaciones del 44%. El contenido de humedad disminuyó durante el transcurso del desarrollo del cultivo así: en floración ($0.337 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$), en llenado de grano ($0.263 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$) y en madurez fisiológica ($0.230 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$), disminución que equivale entre floración y llenado de grano al 21.9% y de llenado de grano a madurez fisiológica al 12.5%. En general, se observaron diferencias en contenido de humedad entre sistemas por época de evaluación hasta del 30% (Tabla 27 y Anexo 7).

Tabla 27. Valores promedio de contenido de humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) en el cultivo de frijol en floración, llenado de grano y madurez fisiológica. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	FLO	LLGRANO	MD
	-----Humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)-----		
TQ	0.314	0.238	0.218
SAQ<2	0.300	0.241	0.222
SAQ 5-7	0.332	0.265	0.235
SAQ>10	0.396	0.312	0.265
BS	0.348	0.252	0.191
Promedio	0.337	0.263	0.230

FLO = Floración, LLGRANO = Llenado de grano y MD = Madurez fisiológica.

El contenido volumétrico de humedad de suelo, en floración, llenado de grano y madurez fisiológica, mostró los mayores valores en SAQ>10 (0.396 , 0.312 y $0.265 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ respectivamente) y los menores en TQ y SAQ<2 (0.307 , 0.239 y $0.220 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ respectivamente), en promedio. A mayor edad, el SAQ presentó mayores contenidos de humedad volumétrica en el suelo, en las diferentes etapas de evaluación.

El contenido de humedad expresado en lámina (mm), de 0 a 40 cm de profundidad, evaluado desde floración a madurez fisiológica, varió entre 152.8 mm (SAQ>10) y 88.6 mm (SAQ<2), variación que equivale a cambios de humedad hasta de 72%. El contenido de humedad a la profundidad de 40-100 cm, durante el mismo período de evaluación, varió entre 242.5 mm (SAQ>10) y 129.9 mm (TQ), variación que representa a cambios hasta del 86%. Los contenidos de humedad en el perfil de suelo, de 0 a 100 cm de profundidad, variaron entre 395.4 mm (SAQ>10) y 217.6 mm (TQ), cambios que corresponden a diferencias de humedad alrededor del 80% (Tabla 28).

En floración, el contenido de humedad expresado como lámina de agua acumulada de 0 a 40 cm de profundidad, presentó los valores más altos, 152.8 mm en SAQ>10 y los mas bajos, 124.7 mm en SAQ<2, diferencia igual al 22.5%; de 40 a 100 cm de profundidad, la mayor lámina de agua, 242.5 mm, se observó en SAQ>10 y la menor, 173.3 mm, en SAQ<2, diferencia que llega al 40.1%. De de 0 a 100 cm de profundidad, como era de esperarse, las diferencias se mantuvieron, la mayor lámina, 395.4 mm, en SAQ>10 y la menor, 297.7 mm, en SAQ<2, equivalentes al 32.8%.

En llenado de grano, el contenido de humedad expresado como lámina de agua acumulada de 0 a 40 cm de profundidad, la mayor lámina de agua, 112.1 mm, se presentó en SAQ>10 y la menor 90.0 mm en TQ y SAQ<2, en promedio, diferencia que representa el 24.5%; de 40 a 100 cm de profundidad, la mayor lámina de agua, 211.7 mm, la mostró SAQ>10 y la menor, 152.2 mm, TQ, con una diferencia del 78.8%; de 0 a 100 cm de profundidad, la mayor lámina de agua, 323.8 mm, ocurrió en SAQ>10 y la menor, 243.5 mm en TQ, diferencia que alcanza el 32.9%.

En madurez fisiológica, el contenido de humedad expresado en lámina de agua acumulada, de 0 a 40 cm de profundidad, la mayor lámina de agua, 96.0 mm, ocurrió en SAQ >10 y la menor 88.1 mm, en promedio en los otros sistemas, diferencia que representa el 8.9%; de 40 a 100 cm de profundidad, la mayor

lámina de agua, 176.9 mm, se presentó en SAQ>10 y la menor, 129.9 mm, en TQ, con una diferencia del 36.2%; de 0 a 100 cm de profundidad, la mayor lámina de agua, 372.9 mm, se observó en SAQ>10 y la menor, 217.5 mm, en TQ, diferencia igual al 25.5% (Tabla 28 y Anexo 9).

Para el cultivo de frijol, los valores de almacenamiento de agua en el suelo, evaluado a las profundidades de, 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 80-100 cm y sus valores acumulados a las profundidades de, 0 a 40 cm, de 40 a 100 cm y en el perfil de 0 a 100 cm, son presentados en las Tablas 28, 29 y 30 y Figuras 33, 34 y 35, para las etapas de desarrollo: floración, llenado de grano y madurez fisiológica. Muestreos de suelos adicionales para el bosque secundario fueron evaluados en las mismas fechas en que se evaluaron los cultivos.

3.5 CONTENIDO DE AGUA DISPONIBLE PARA LAS PLANTAS

La capacidad de agua disponible para las plantas se evaluó, en los sistemas de uso, mediante muestreos de humedad de suelo de, 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad, en la estación seca (finales de abril) y en la estación lluviosa (mediados de mayo) de 2007 y fue calculada como el agua retenida a capacidad de campo (θ_{FC}) menos el agua retenida en punto de marchitez (θ_{WP}).

El contenido volumétrico de humedad de suelo durante la época lluviosa varió entre el 21.8% para SAQ<2 (10-20 cm) y el 30.4% para SAQ>10 (0-5 cm), diferencia que representa el 39.4%. En la época seca varió entre el 5.8% para BS (0-5 cm) y el 11.6% para SAQ<2 (20-40 cm), diferencia que equivale al 100%. En la época seca, de 20-40 cm de profundidad, SAQ<2 y SAQ>10 presentaron 44 y 30% más contenido de humedad que los otros sistemas, mostrando que éstos sistemas mantienen los efectos positivos en profundidad, durante la época crítica de humedad.

Tabla 28. Valores promedio de contenido de humedad, expresada como lámina acumulada de agua (mm), de 0-40, 40 a 100 y de 0 a 100 cm de profundidad, en floración, llenado de grano y madurez fisiológica. Cultivo de frijol. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	Floración			Llenado de grano			madurez fisiológica		
	0 a 40 cm	40-100 cm	0-100 cm	0 a 40 cm	40-100 cm	0-100 cm	0 a 40 cm	40-100 cm	0-100 cm
----- Lámina de agua (mm) -----									
TQ	136.6	180.3	312.0	91.3	152.2	243.5	87.8	129.9	217.6
SAQ<2	124.7	173.0	297.7	88.6	157.1	245.7	88.6	136.6	225.2
SAQ 5-7	130.4	199.4	329.8	95.6	178.3	273.9	87.9	150.3	238.2
SAQ>10	152.8	242.5	395.4	112.1	211.7	323.8	96.0	176.9	272.9
BS	150.7	189.0	339.7	98.0	156.0	254.0	71.3	124.8	196.1
Promedio	136.6	197.7	334.4	97.0	172.7	269.7	88.0	145.8	233.8

Tabla 29. Valores promedio de Lámina de Agua y Lámina acumulada en profundidad, Floración, Cultivo de Fríjol. Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Profundidad de suelo (cm)						0-40	40-100	0-100
	0-10	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100			
----- Lámina de agua (mm) -----									
(+F)									
TQ	32.8 (2.2)	31.2 (1.2)	74.0 (7.1)	64.2 (6.9)	67.1 (1.8)	56.5 (8.1)	138.0 (14.4)	187.9 (16.8)	325.8 (27.2)
SAQ<2	30.0 (1.6)	31.2 (2.2)	61.2 (2.2)	58.7 (4.8)	62.3 (2.9)	63.2 (4.1)	122.4 (6.0)	184.2 (11.9)	306.6 (17.8)
SAQ 5-7	38.4 (4.1)	38.0 (3.1)	69.2 (10.9)	70.6 (8.0)	73.8 (7.0)	74.1 (7.7)	145.5 (18.9)	218.5 (22.7)	364.0 (41.6)
SAQ>10	38.5 (4.2)	38.2 (3.5)	71.0 (0.2)	85.7 (7.6)	81.3 (3.6)	81.0 (1.4)	147.7 (7.9)	248.0 (15.3)	395.7 (23.2)
(-F)									
TQ	34.0 (0.1)	32.8 (0.2)	58.4 (8.4)	59.9 (4.2)	54.7 (5.6)	58.4 (0.7)	125.2 (8.7)	172.9 (10.4)	298.1 (27.2)
SAQ<2	30.1 (1.6)	32.6 (1.0)	64.3 (5.1)	57.8 (2.6)	52.3 (1.5)	51.8 (2.6)	127.0 (7.7)	161.8 (6.7)	288.8 (14.5)
SAQ 5-7	30.4 (1.3)	29.3 (0.6)	55.4 (3.4)	65.4 (5.6)	56.8 (1.7)	58.2 (4.0)	115.2 (5.3)	180.4 (11.2)	295.6 (23.2)
SAQ>10	45.2 (4.3)	37.2 (3.4)	75.7 (2.4)	80.6 (3.9)	76.0 (3.6)	80.5 (9.6)	158.0 (10.0)	237.1 (17.1)	395.1 (27.1)
BS	44.5 (6.3)	33.7 (1.4)	72.6 (5.1)	61.9 (7.1)	68.4 (7.2)	58.7 (2.4)	150.7 (12.8)	189.0 (16.7)	339.7 (29.5)

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; El número entre paréntesis = Desviación estándar.

Tabla 30. Valores promedio de Lámina de Agua y Lámina acumulada en profundidad, Llenado de grano, Cultivo de Frijol, Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Profundidad de suelo (cm)						0-40	40-100	0-100
	0-10	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100			
----- Lámina de agua (mm) -----									
(+F)									
TQ	20.0 (3.0)	19.4 (3.5)	50.8 (9.0)	49.0 (11.0)	54.9 (4.7)	50.5 (4.3)	90.3 (15.4)	154.4 (20.0)	244.6 (35.4)
SAQ<2	20.7 (1.9)	21.7 (1.8)	45.6 (0.8)	55.1 (2.7)	53.2 (4.3)	57.0 (6.4)	88.0 (4.5)	165.2 (13.3)	253.3 (17.8)
SAQ 5-7	21.8 (5.5)	21.9 (2.0)	51.0 (8.7)	55.6 (7.6)	63.0 (9.5)	67.9 (8.7)	94.7 (16.2)	186.4 (25.7)	281.1 (41.9)
SAQ>10	23.1 (2.3)	27.6 (1.2)	55.4 (2.8)	68.8 (3.0)	70.7 (0.6)	71.0 (2.9)	106.1 (6.3)	210.5 (6.5)	316.5 (12.7)
(-F)									
TQ	22.5 (4.0)	23.0 (4.5)	46.8 (1.8)	50.2 (1.1)	52.6 (3.5)	47.4 (4.8)	92.3 (10.3)	150.1 (9.3)	242.4 (19.6)
SAQ<2	21.3 (4.4)	23.2 (2.3)	44.7 (4.2)	47.3 (3.9)	51.9 (6.0)	49.7 (5.3)	89.2 (10.9)	148.9 (15.2)	238.1 (26.1)
SAQ 5-7	23.7 (4.0)	22.0 (3.7)	50.8 (10.1)	56.6 (6.2)	57.1 (8.3)	56.6 (8.6)	96.5 (17.7)	170.2 (23.2)	266.7 (40.9)
SAQ>10	26.6 (1.2)	25.6 (2.2)	66.4 (1.2)	72.5 (0.4)	69.2 (6.6)	71.3 (7.5)	118.2 (4.6)	213.0 (14.5)	331.1 (19.0)
BS	25.7 (4.7)	22.6 (2.7)	49.6 (6.7)	49.9 (4.0)	57.2 (3.9)	49.0 (9.1)	98.0 (14.1)	156.0 (17.0)	254.0 (31.2)

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; El número entre paréntesis = Desviación estándar.

Tabla 31. Valores promedio de Lámina de Agua y Lámina acumulada en profundidad, Madurez fisiológica. Cultivo de Frijol, Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Profundidad de suelo (cm)						0-40	40-100	0-100
	0-10	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100			
----- Lámina de agua (mm) -----									
(+F)									
TQ	19.8 (2.2)	21.3 (1.2)	47.7 (7.1)	43.8 (7.2)	43.0 (5.1)	40.3 (6.1)	88.8 (16.6)	127.0 (18.3)	215.8 (28.9)
SAQ<2	18.7 (2.1)	21.4 (1.9)	46.1 (4.0)	49.0 (2.5)	45.6 (4.2)	43.4 (5.8)	86.3 (7.9)	138.0 (12.5)	224.3 (20.4)
SAQ 5-7	20.8 (3.5)	21.4 (3.5)	44.2 (5.6)	46.1 (6.6)	52.4 (8.4)	59.7 (4.7)	86.4 (12.7)	158.1 (19.7)	244.5 (32.4)
SAQ>10	21.2 (0.2)	24.1 (0.1)	51.4 (3.4)	55.5 (1.9)	58.5 (1.3)	63.1 (1.8)	96.7 (3.7)	177.1 (5.0)	273.7 (8.6)
(-F)									
TQ	23.1 (4.7)	23.1 (4.2)	40.6 (0.7)	43.2 (3.5)	45.5 (3.3)	44.1 (3.4)	86.8 (9.6)	132.7 (10.1)	219.5 (19.7)
SAQ<2	20.1 (5.4)	22.6 (3.7)	48.2 (7.3)	46.9 (9.7)	45.3 (7.2)	43.0 (8.4)	90.9 (16.4)	135.2 (25.3)	226.1 (41.7)
SAQ 5-7	24.2 (4.3)	21.2 (2.8)	44.0 (6.4)	48.9 (6.3)	46.9 (7.8)	46.7 (7.9)	89.4 (13.5)	142.4 (22.0)	231.9 (35.5)
SAQ>10	23.2 (0.1)	22.9 (0.7)	49.2 (2.8)	57.2 (3.3)	55.4 (0.6)	64.3 (9.7)	95.3 (3.6)	176.8 (13.5)	272.1 (17.1)
BS	18.7 (1.2)	14.6 (3.2)	38.0 (6.3)	43.8 (2.3)	40.3 (2.3)	40.7 (6.0)	71.3 (10.8)	124.8 (10.5)	196.1 (21.3)

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; El número entre paréntesis = Desviación estándar.

Floración - Fríjol

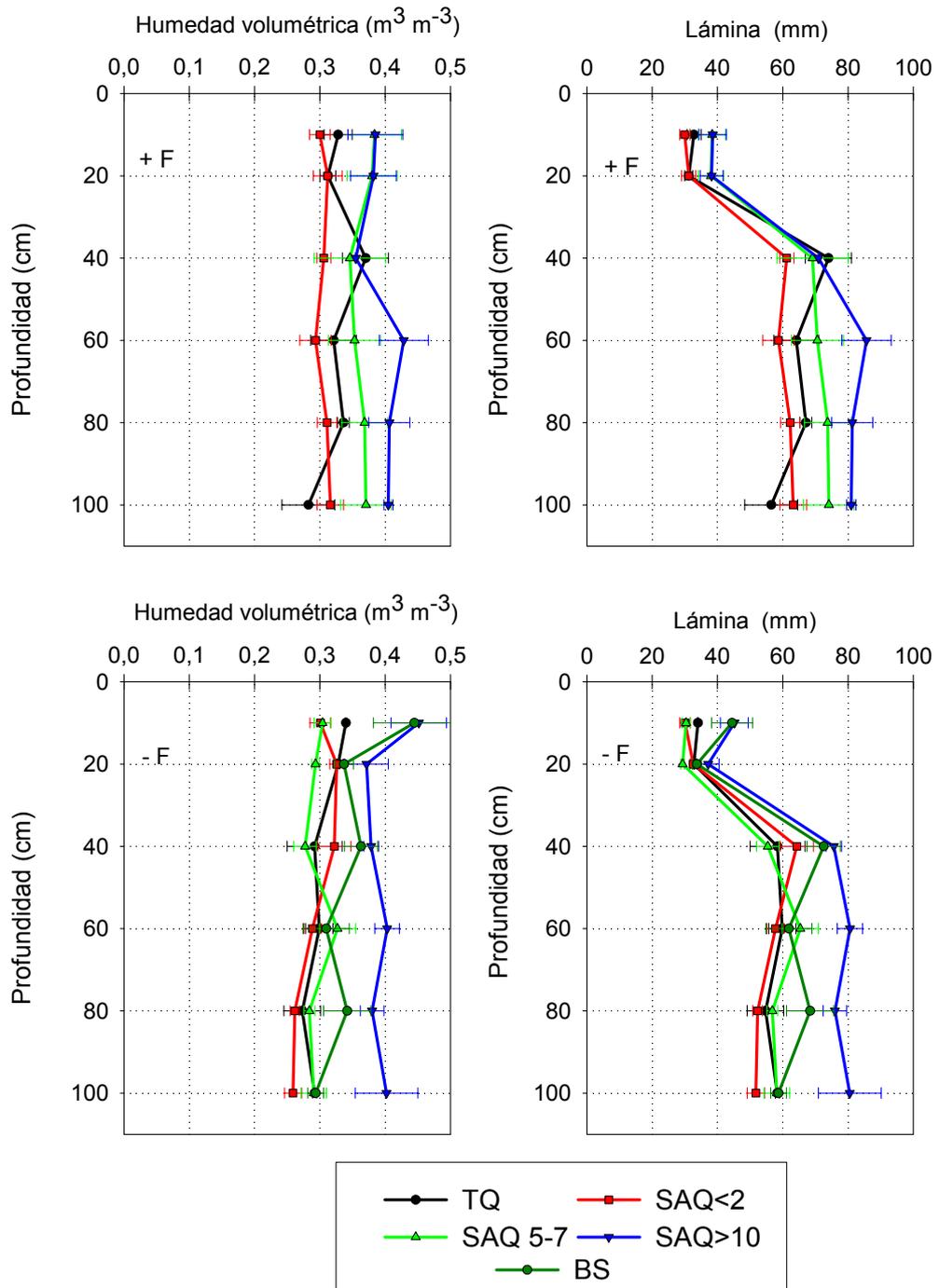


Figura 33 . Valores promedio de humedad volumétrica (m³ m⁻³) y lámina de agua (mm). Floración, Cultivo Fríjol. Candelaria, Honduras. 2007.

Llenado de grano - Frijol

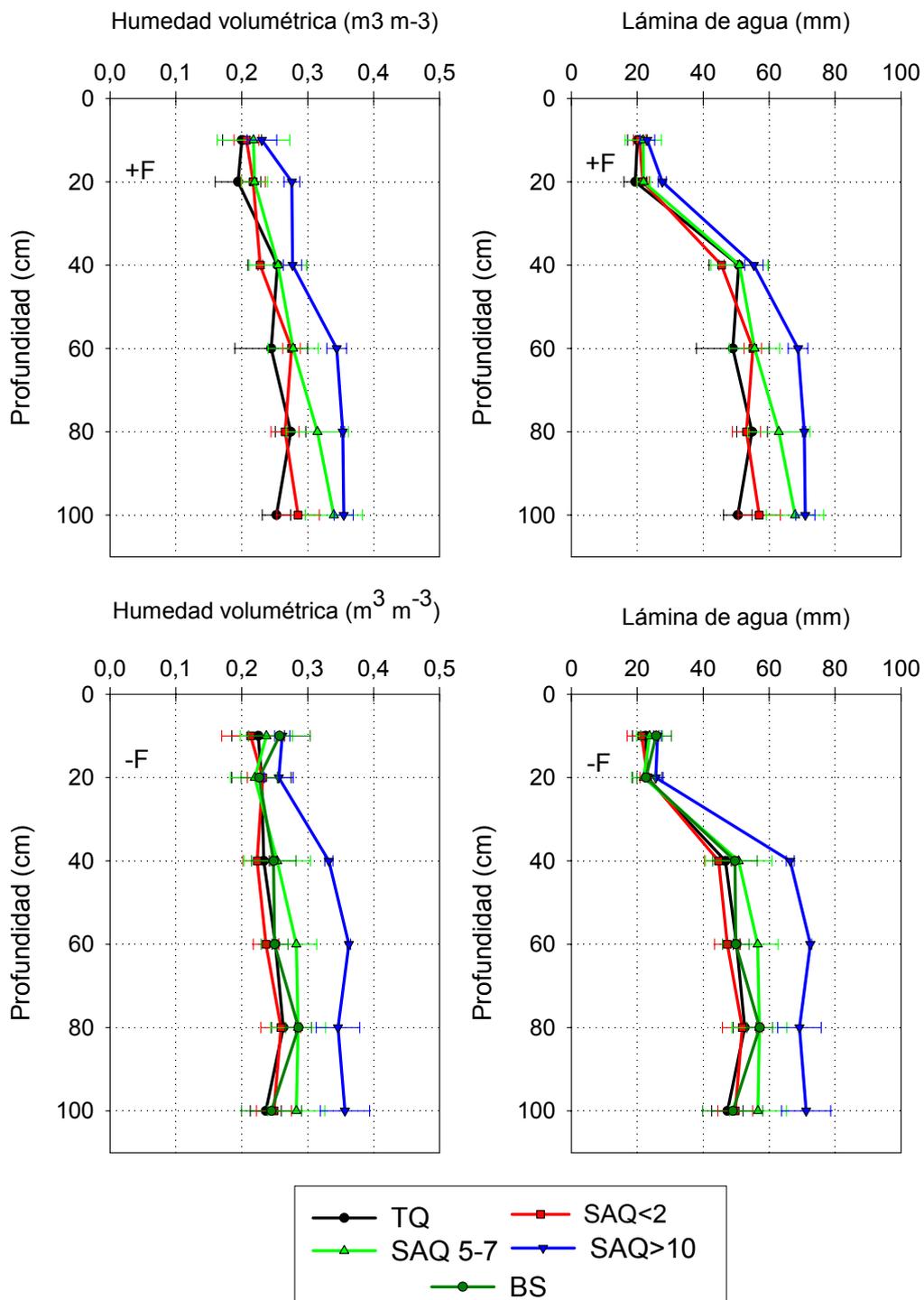


Figura 34. Valores promedio de humedad volumétrica (m³ m⁻³) y lámina de agua (mm). Llenado de grano, Cultivo Frijol. Candelaria, Honduras. 2007.

Madurez fisiológica - Frijol

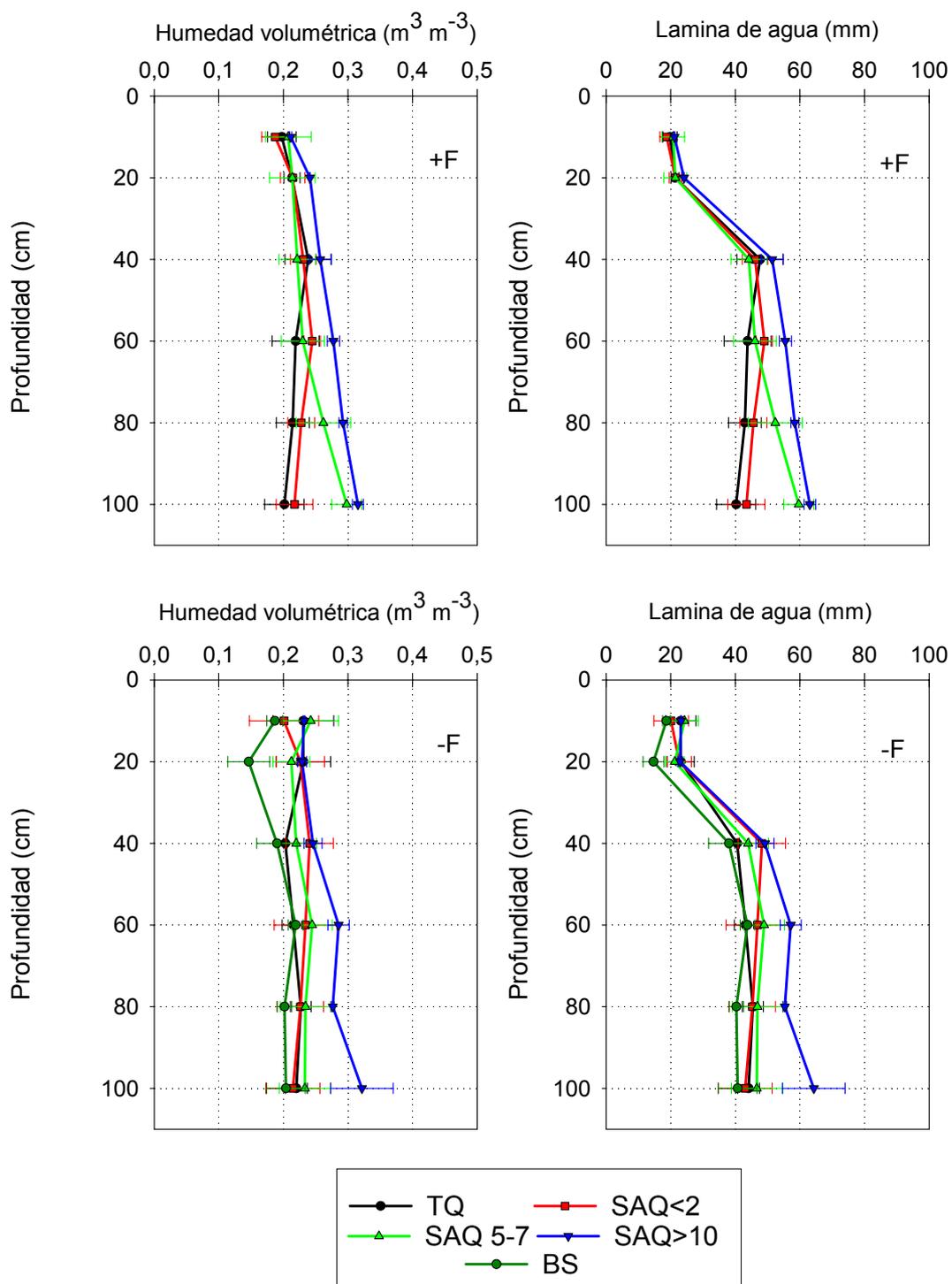


Figura 35. Valores promedio de humedad volumétrica (m³ m⁻³) y lámina de agua (mm), Madurez fisiológica, Cultivo Frijol. Candelaria, Honduras, 2007.

El contenido de agua disponible varió dependiendo de la época: mientras en época seca, se presentaron valores promedio para los sistemas de uso de $0.120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$; en época lluviosa, se observaron valores promedio de $0.095 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, diferencia que equivale a un contenido de agua disponible mayor en el 25.5% durante la época seca, respecto a la época lluviosa.

Los valores de agua fácilmente disponible para las plantas (agua retenida entre 0.01 y 0.03 MPa de succión) mantuvo la misma tendencia: en época seca el porcentaje de agua fácilmente disponible fue del 38%, mientras en época lluviosa llegó al 26%.

Durante la época seca, en promedio de 0 a 40 cm de profundidad, el mayor contenido de agua disponible se presentó en SAQ<2 ($0.127 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), 16% mayor que la obtenida en TQ, que presentó los valores más bajos ($0.110 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). La misma tendencia presentó el agua fácilmente disponible, con valores más altos para SAQ<2 ($0.051 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) y más bajos en TQ ($0.041 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), diferencia que equivale al 26%.

Durante la época lluviosa, aunque el SAQ<2 mostró los mayores valores, tanto para agua disponible como para agua fácilmente disponible; no se observaron diferencias significativas entre los sistemas de uso (Figura 36).

En general, pero en especial en la época seca, los SAQ mostraron mayores contenidos de agua disponible para las plantas que TQ, con cifras superiores en 16%, 11% y 9% (para SAQ<2, SAQ 5-7 y SAQ>10 respectivamente), lo cual indica mejor capacidad de almacenamiento de agua de los SAQ durante las épocas críticas.

La capacidad de almacenamiento de agua aprovechable dependió en gran medida de la porosidad; se observaron diferencias en la porosidad total y su distribución, con valores de 57.2% en época seca y de 52.8% en época

lluviosa; los macroporos incrementaron en 19% y los mesoporos en 30%, respecto a la época lluviosa.

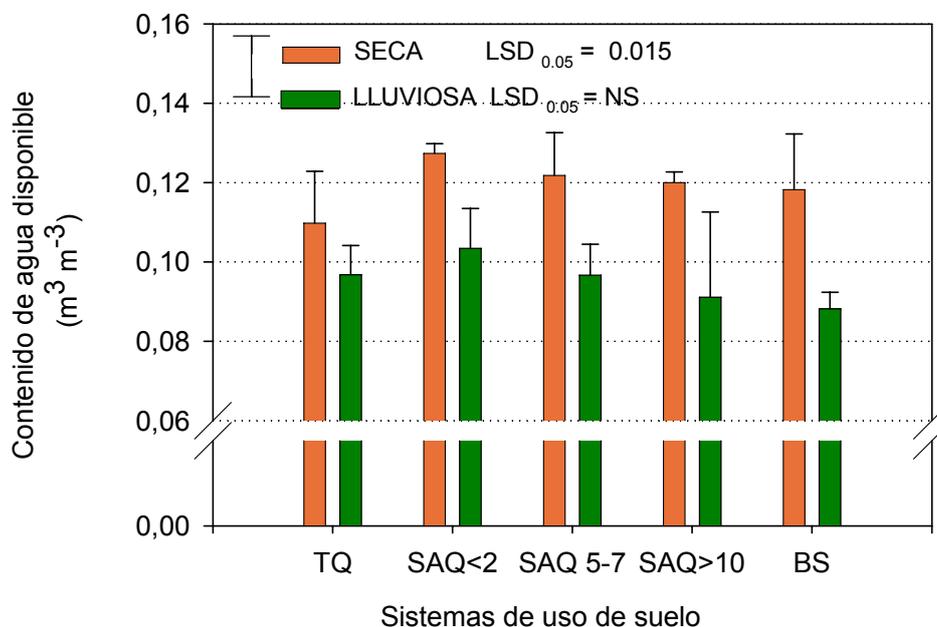


Figura 36. Valores promedio de contenido de agua disponible de 0 a 40 cm de profundidad, en los sistemas de uso: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de <2, 5-7 y >10 años, en las épocas seca y lluviosa. Candelaria, Honduras, 2007.

La redistribución del espacio poroso en la estación seca disminuyó la densidad aparente en 0.1 g cm^{-3} , disminución que equivale al 10%. En general la disminución de la densidad aparente, junto con el incremento de los mesoporos, conlleva al aumento de la capacidad de almacenamiento de agua disponible para las plantas en época de sequía, condición que además beneficia la aceptación de las lluvias al inicio del período lluvioso.

3.6 RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS DE MAÍZ Y FRÍJOL

El rendimiento de los cultivos de maíz y frijol fue evaluado durante los años 2005, 2006 y 2007 con el siguiente resultado:

3.6.1 Rendimiento del cultivo de maíz

En general, en los sistemas manejados con fertilización, el rendimiento promedio para el cultivo de maíz, durante los tres años evaluados, fue de 1.63 t ha⁻¹ y sin fertilización 0.86 t ha⁻¹, el manejo de la fertilización incrementó el rendimiento promedio en el 89.5%.

Los mayores valores en promedio para rendimiento en el cultivo de maíz, durante los tres años, en los sistemas manejados con fertilización, se presentaron en SAQ>10 (1.76 t ha⁻¹) y los más bajos en TQ (1.55 t ha⁻¹) y SAQ 5-7 (1.56 t ha⁻¹). Aunque la mayor producción promedio de maíz, manejado con fertilizante, se obtuvo en SAQ>10, en el 2007 mostró valores bajos, probablemente debido a mayor competencia de recursos entre los cultivos y los árboles.

En general, los rendimientos presentados en TQ, se deben en gran parte a que existe una fuente adicional de nutrientes, proveniente de las cenizas generadas por la quema de la biomasa; sin embargo, cabe resaltar que esta producción tiene un alto costo ambiental, el cual se ve reflejado en la mayor pérdida de suelo y de nutrientes ocasionada por los mayores valores de agua de escorrentía, que con el tiempo puede llevar a la pérdida de su capacidad productiva.

Comparando el sistema tradicional de TQ, manejado sin fertilizante, con el SAQ< 2, con fertilizante (sistemas de igual edad), el SAQ<2, produjo el doble de maíz que TQ con valores de 1.52 y 0.78 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 37).

El rendimiento promedio de maíz en Honduras de 2000 a 2005 fue 1.44 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2006), indicando que el SAQ, presentó valores superiores en más del 20%. El rendimiento de maíz en Honduras alcanza el 25% comparado con el de los países que presentan los mayores rendimientos a nivel mundial (IICA, 2007).

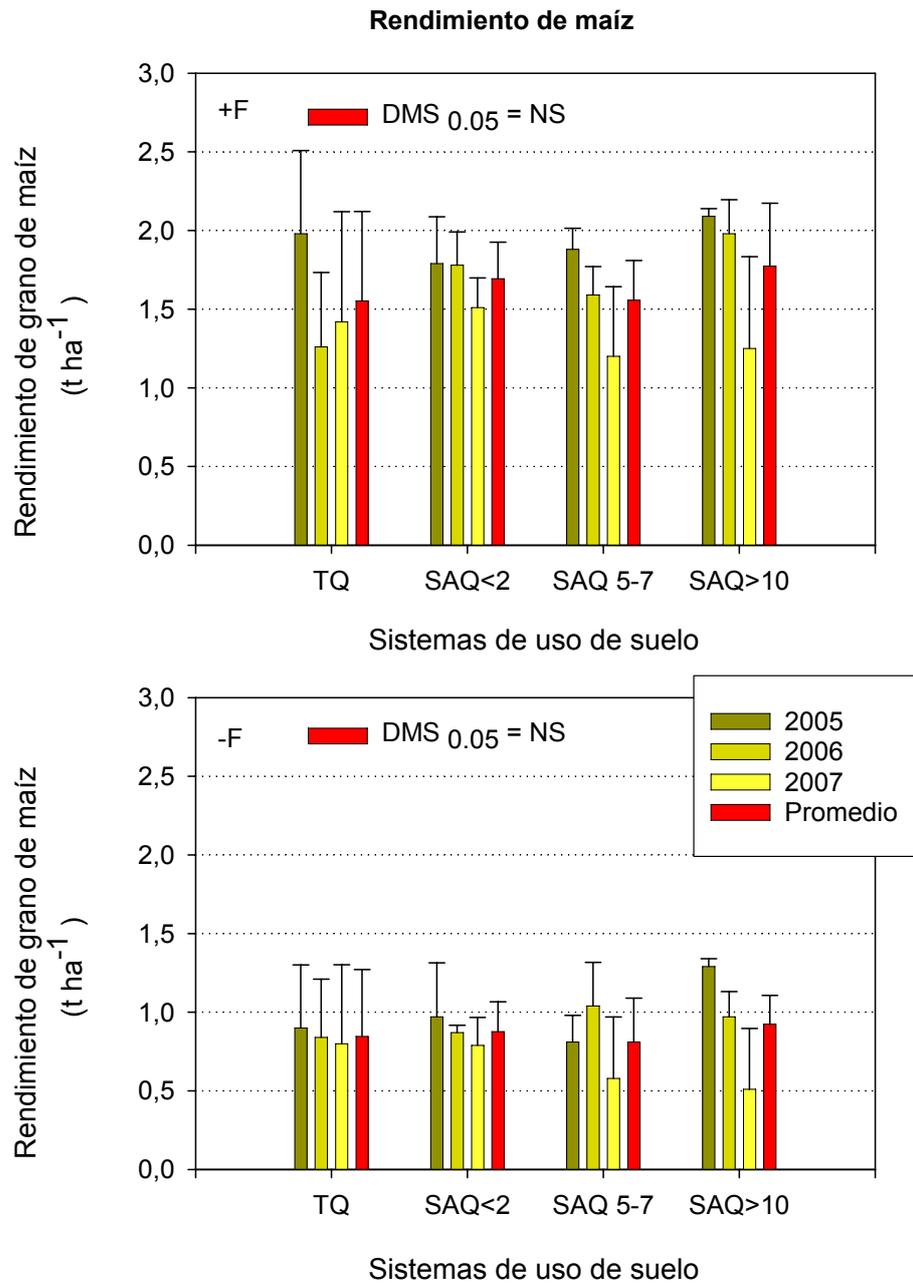


Figura 37. Diferencias en rendimiento de grano de maíz , con (+F) y sin (-F) aplicación de fertilizante de 2005 a 2007, en los sistemas: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años. Candelaria, Honduras.

3.6.2 Rendimiento del cultivo de fríjol

En el cultivo de fríjol el rendimiento promedio, durante los tres años evaluados, fue de 0.51 t ha^{-1} , en los sistemas manejados con fertilización y en los sistemas manejados sin fertilización 0.37 t ha^{-1} , diferencia que equivale a un aumento en el rendimiento del 37.8%, por efecto de la fertilización.

Para el cultivo de fríjol, manejado con fertilizante, la mayor producción en promedio, durante los años evaluados, también se observó en SAQ>10 (0.61 t ha^{-1}) y la menor en TQ (0.36 t ha^{-1}), diferencia en producción que representa el 69.4%. Sin fertilizante la mayor producción se presentó en SAQ >10 (0.41 t ha^{-1}), seguido de SAQ> 5-7 (0.40 t ha^{-1}) y la menor en TQ (0.32 t ha^{-1}), diferencia que alcanza el 28.1%.

Comparando el sistema tradicional de TQ manejado sin fertilización y el SAQ<2, con fertilización, (sistemas de igual edad), el SAQ<2 presentó el 59.3% más de producción que TQ, con valores de 0.51 y 0.32 t ha^{-1} , respectivamente. Los SAQ, con fertilización, mostraron en promedio 1.75 veces más producción que TQ, sin fertilización (Figura 38).

En el tercer año de evaluación, mientras en el cultivo de maíz se observó en general una disminución en los rendimientos, de alrededor del 30%, con respecto a los obtenidos durante el primer año; en el cultivo de fríjol el rendimiento promedio se mantuvo en el tiempo, en los SAQ, a la vez que se redujo en TQ en un 40%.

El rendimiento promedio del cultivo de fríjol en Honduras de 2000 a 2005 fue 0.72 t ha^{-1} (FAOSTAT, 2006), indicando que el SAQ presentó un rendimiento menor en el 18%. El rendimiento de fríjol en Honduras alcanza el 53% comparado con el de los países que presentan los mayores rendimientos a nivel mundial (IICA, 2007).

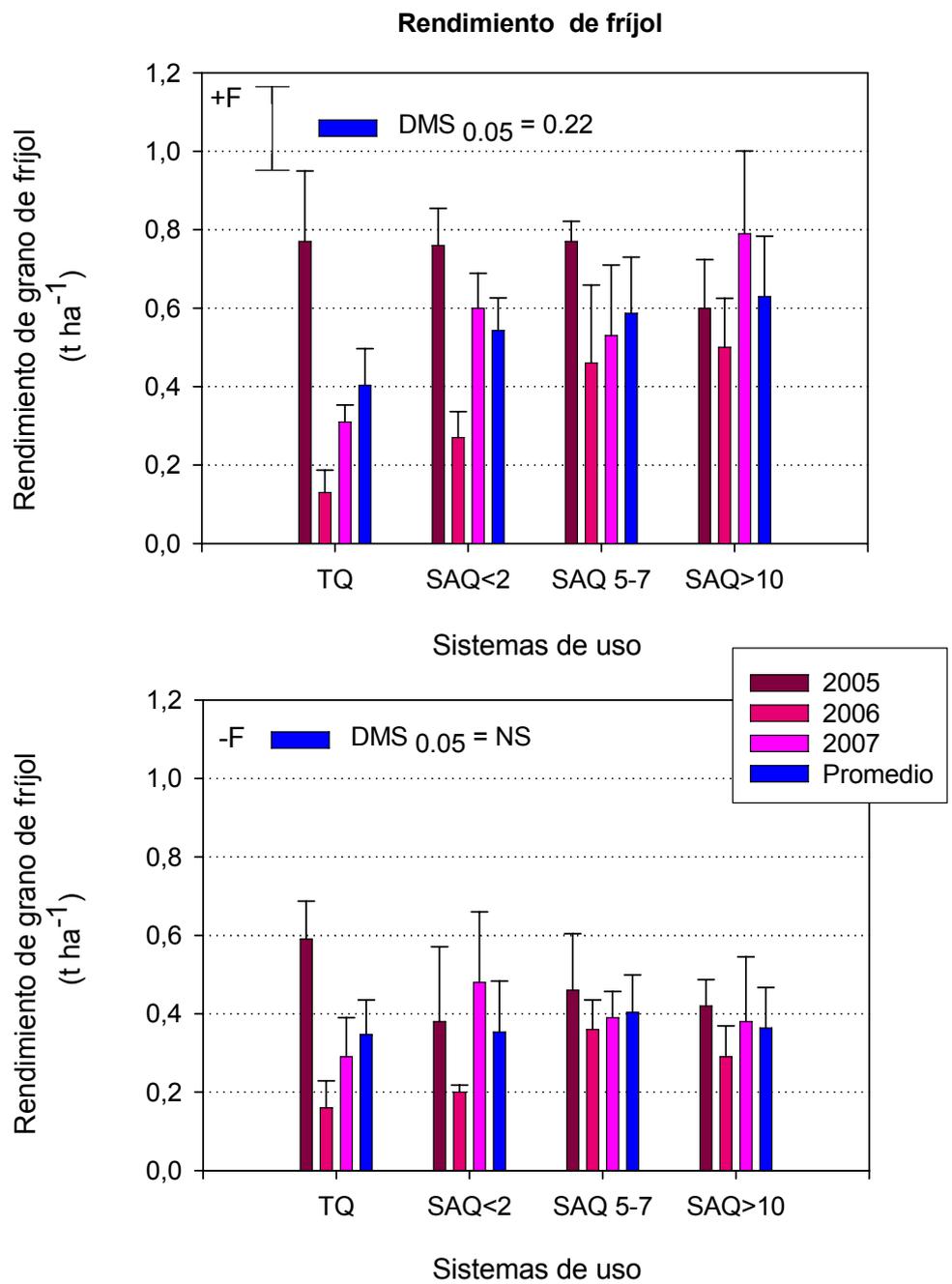


Figura 38. Diferencia en rendimiento de grano de frijol , con (+F) y sin (-F) aplicación de fertilizante de 2005 a 2007, en los sistemas: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años. Candelaria, Honduras.

En la región de Bragantina (Brasil) , convertida a partir de bosque primario a sistema de producción, la tumba y quema ha sido usada tradicionalmente para preparar el suelo, la disminución gradual de la productividad del sistema ha sido atribuido en gran parte a la pérdida de los nutrientes, este problema es común a la mayoría de áreas de bosque tropical, se estima que las pérdidas de nutrientes (balanceando la pérdida de nutrientes por la quema, lixiviación, y la extracción por la cosecha contra las ganancias por fertilización, fijación biológica de nitrógeno y deposición atmosférica) en ciclos de siete años continuos de maíz (*Zea mays L.*), caupi (*Vigna unguiculata L.*) y yuca (*Manihot esculenta Cranz*), con producciones de 0.5, 0.5 y 10 t ha⁻¹, fue de aproximadamente 270 kg N, 10 kg de P, 35 kg de S, 90 kg de K, 135 kg de Ca y 25 kg de Mg por hectárea. La aplicación de fertilizantes incrementó dos veces los rendimientos del cultivo del maíz y los rendimientos del caupi en 4.5 veces de manera que también incrementó el N, K y P tomado en los productos obtenidos de cosecha (Vleck *et al.*, 1997). La quema es el mecanismo clave de pérdida que determina el balance de nutrientes en el sistema; la cantidad de perdidas cercanas al 96% del N presente en la vegetación talada, la biomasa 22 t ha⁻¹ materia seca y el liter equivalente a 9 t ha⁻¹ de materia seca (Holscher, 1995). La eliminación de la práctica de la quema mediante la producción de un adecuado mulch de la vegetación talada y la aplicación de 22 kg N, 25 kg de P y 34 kg K, por hectárea da una alternativa viable para obtener un balance de nutrientes positivo, sin embargo la preparación de suelo libre de quema basada en el manejo del mulch implica una lenta liberación de nutrientes que conlleva a reducciones dramáticas en los rendimientos hasta valores cercanos al 50% lo cual podría no ser atractivo para los agricultores (Kato *et al.*, 1997). Stoorvogel y Smaling , 1990, calcularon los balances de nutrientes para suelos arables de los países de la región del sub-Sahara Africano y concluyeron que el promedio de nutrientes perdidos excedía la aplicación de nutrientes aplicados y que para el año 2000 sería de: 26 kg de N, 3 kg de P y 19 kg de K por hectárea por año, éste desbalance ocurrido a expensas de las reservas del suelo el cual puede ser revertido mediante el uso de residuos de cultivos, abonos verdes y fertilizantes inorgánicos.

3.7 PRODUCTIVIDAD DE AGUA Y EFICIENCIA EN SU USO POR LOS CULTIVOS DE MAÍZ Y FRÍJOL

3.7.1 Índice de cosecha y productividad de agua para el cultivo de maíz

3.7.1.1 Índice de cosecha para el cultivo de maíz

El índice de cosecha (Tabla 32), expresado como la relación entre el rendimiento de grano y el peso seco total (biomasa) (CIAT, 1988), mostró el siguiente comportamiento:

Con fertilizante, el mayor índice de cosecha se dio en SAQ 5-7 (0.37), seguido de TQ (0.34); mientras el menor valor se presentó en SAQ>10 (0.27). Sin embargo, la mayor producción de grano se obtuvo en SAQ<2 (1.5 t ha⁻¹) y la menor en SAQ 5-7 (1.20 t ha⁻¹).

Sin fertilizante, el mayor índice de cosecha se obtuvo en SAQ 5-7 (0.44) y el menor también en SAQ>10 (0.20). La menor producción de grano se observó en SAQ>10 (0.51 t ha⁻¹), en los otros sistemas no se presentaron diferencias (0.79 t ha⁻¹).

3.7.1.2 Productividad de agua para el cultivo de maíz

La productividad de agua (Tabla 32), expresada como el rendimiento de grano en kg ha⁻¹ producido por m³ de agua utilizada. (CGIAR, 2007), presentó los siguientes resultados:

Productividad de agua, obtenida con base en la evapotranspiración calculada con el método de Hargreaves:

Tabla 32. Valores promedio de Biomasa, Producción, Índice de Cosecha y Productividad de Agua, para el cultivo de Maíz, en los Sistemas de Producción. Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Biomasa	Grano	IC	^{&} ET _o	^{&&} ET _o	Productividad de agua	
	Maíz t ha ⁻¹			m ⁻³ de agua ha ⁻¹		^{&} kg Mz m ⁻³	^{&&} kg Mz m ⁻³
(+F)							
TQ	3.39 (1.80)	1.42 (0.99)	0.34 (0.16)	4770 (244)	5977 (586)	0.29 (0.20)	0.25 (0.19)
SAQ<2	4.65 (0.63)	1.51 (0.27)	0.32 (0.02)	3919 (126)	3184 (79)	0.38 (0.07)	0.48 (0.09)
SAQ 5-7	3.04 (0.85)	1.20 (0.63)	0.37 (0.10)	4085 (339)	5310 (1034)	0.29 (0.14)	0.25 (0.16)
SAQ >10	4.34 (0.59)	1.25 (0.58)	0.27 (0.10)	4086 (287)	5993 (1307)	0.32 (0.14)	0.18 (0.08)
(-F)							
TQ	2.20 (0.91)	0.80 (0.71)	0.30 (0.16)	4541 (145)	8448 (636)	0.17 (0.15)	0.10 (0.09)
SAQ<2	2.79 (0.16)	0.79 (0.25)	0.28 (0.08)	4258 (549)	3021 (99)	0.19 (0.08)	0.26 (0.09)
SAQ 5-7	1.77 (0.28)	0.78 (0.16)	0.44 (0.02)	4297 (592)	6348 (1400)	0.19 (0.06)	0.12 (0.01)
SAQ >10	2.10 (0.64)	0.51 (0.39)	0.20 (0.12)	3997 (330)	4489 (1116)	0.13 (0.10)	0.14 (0.12)

IC = Índice de Cosecha; [&]ET_o = Método Hargreaves ; ^{&&}ET_o = Método Penman-Monteith.
El número entre paréntesis = Desviación estándar.

Con fertilización, el mayor valor se obtuvo en SAQ<2 (0.38 kg m⁻³) y los menores en TQ y SAQ>10 (0.29 kg m⁻³). Sin fertilización, los mayores valores se presentaron en SAQ <2 y SAQ 5-7 (0.19 kg m⁻³) y el menor en SAQ>10 (0.13 kg m⁻³).

Productividad de agua obtenida con base en la evapotranspiración calculada con el método de Penman-Monteith:

Con fertilización, el valor más alto se produjo también en SAQ<2 (0.48 kg m⁻³) y el más bajo en SAQ>10 (0.18 kg m⁻³) Sin fertilización, el mayor valor se presentó también en SAQ<2 (0.26 kg m⁻³) y el menor en TQ (0.10 kg m⁻³).

Las diferencias estadísticas presentadas en productividad de agua para el cultivo de maíz, con la evapotranspiración obtenida por el método de Penman-Monteith fueron significativas entre sistemas y entre manejo de fertilización; mientras las diferencias estadísticas, obtenidas con la evapotranspiración determinada por el método de Hargreaves, presentaron diferencias significativas únicamente para manejo de fertilización.

3.7.2 Índice de cosecha y productividad de agua para el cultivo de frijol

3.7.2.1 Índice de cosecha para el cultivo de frijol

El índice de cosecha (Tabla 33), expresado como la relación entre el rendimiento de grano y el peso seco total (biomasa) (CIAT, 1988), presentó el siguiente comportamiento:

Con fertilizante el menor valor de índice de cosecha se presentó en TQ (0.41). Sin embargo, la mayor producción de grano se obtuvo en SAQ<2 y SAQ>10 (0.60 t ha⁻¹) y la menor en TQ (0.31 t ha⁻¹); y sin fertilizante, la mayor producción de grano se observó en SAQ<2 (0.48 t ha⁻¹) y la menor en TQ (0.29 t ha⁻¹).

Tabla 33. Valores promedio de Biomasa, Producción, Índice de cosecha y Productividad de Agua, para el cultivo de Fríjol, en los sistemas de Producción. Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Biomasa	Grano	IC	^{&} ETo	^{&&} ETo	Productividad de agua	
	Frijol t ha ⁻¹			m ⁻³ de agua ha ⁻¹		^{&} kg Fr m ⁻³	^{&&} kg Fr m ⁻³
(+F)							
TQ	0.82 (0.34)	0.31 (0.06)	0.41 (0.08)	2294 (117)	3202 (382)	0.14 (0.03)	0.10 (0.01)
SAQ<2	1.21 (0.47)	0.60 (0.12)	0.53 (0.10)	1885 (60)	1856 (40)	0.32 (0.07)	0.32 (0.07)
SAQ 5-7	0.66 (0.40)	0.53 (0.27)	--	2103 (44)	2841 (397)	0.25 (0.13)	0.18 (0.09)
SAQ >10	0.92 (0.28)	0.60 (0.27)	--	2018 (88)	3115 (546)	0.30 (0.14)	0.18 (0.06)
(-F)							
TQ	0.48 (0.05)	0.29 (0.14)	--	2149 (87)	4528 (322)	0.13 (0.06)	0.07 (0.04)
SAQ<2	0.61 (0.36)	0.48 (0.26)	--	2054 (271)	1781 (53)	0.25 (0.15)	0.27 (0.15)
SAQ 5-7	0.48 (0.12)	0.39 (0.10)	--	2209 (41)	3368 (592)	0.17 (0.04)	0.12 (0.03)
SAQ >10	0.64 (0.37)	0.36 (0.25)	--	1984 (127)	2454 (463)	0.19 (0.14)	0.16 (0.13)

IC = Índice de Cosecha; [&] ETo = Método Hargreaves; ^{&&} ETo = Método Penman-Monteith , IC, -- (no disponibles por información incompleta de biomasa total). El número entre paréntesis = Desviación estándar.

3.7.2.2 Productividad de agua para el cultivo fríjol

La productividad de agua (Tabla 33), expresada como el rendimiento de grano en kg ha^{-1} producido por m^3 de agua utilizada. (CGIAR, 2007), presentó los siguientes resultados:

Productividad de agua obtenida con base en la evapotranspiración calculada con el método de Hargreaves:

Con fertilización, el mayor valor se obtuvo en el SAQ<2 (0.32 kg m^{-3}) y el menor en TQ (0.14 kg m^{-3}). Sin fertilización el mayor valor se presentó en SAQ <2 (0.25 kg m^{-3}) y el menor en TQ (0.13 kg m^{-3}).

Productividad de agua obtenida con base en la evapotranspiración calculada con el método de Penman-Monteith:

Con fertilización, el valor más alto se produjo también en SAQ<2 (0.32 kg m^{-3}) y el más bajo en SAQ>10 (0.10 kg m^{-3}). Sin fertilización, el mayor valor se presentó también en SAQ<2 (0.27 kg m^{-3}) y el menor en TQ (0.07 kg m^{-3}).

Las diferencias estadísticas presentadas en productividad de agua para el cultivo de fríjol, con la evapotranspiración obtenida por el método de Penman-Monteith fueron altamente significativas entre sistemas y no presentaron diferencias entre manejo de fertilización; mientras las diferencias estadísticas obtenidas con la evapotranspiración determinada por el método de Hargreaves, presentaron diferencias significativas tanto para sistemas como para manejo de fertilización.

3.7.3 Comparación de índices de cosecha para maíz y frijol

Con fertilizante, el índice de cosecha para el cultivo de maíz estuvo entre 0.37 y 0.27. Sin fertilizante, el índice de cosecha varió en el rango entre 0.44 y 0.20.

En general el SAQ 5-7 presentó los mayores índices de cosecha (con y sin fertilización) en maíz. Los menores índices correspondieron al SAQ>10, tanto para maíz como para frijol.

Los datos disponibles para frijol señalan que TQ presentó un índice de cosecha de 0.41, y SAQ<2 de 0.53.

El índice de cosecha en muchos cultivos de grano está aproximándose al límite natural asintótico, haciendo que el futuro mejoramiento en rendimiento de semilla sea sustancialmente dependiente del incremento de la biomasa del cultivo, para lo cual será necesario mejorar tanto el manejo del cultivo como el manejo de las condiciones locales del suelo para lograr mayor potencial de producción de biomasa (Dobermann y Cassman, 2002).

3.7.4 Comparación de la productividad de agua para los cultivos de maíz y frijol

El manejo de la fertilización incrementó la productividad de agua en los cultivos de maíz y frijol, con aumentos de 92% y 23% respectivamente, para la evapotranspiración calculada por ambos métodos.

En términos generales, la mayor productividad de agua para los cultivos de maíz y frijol (calculada con la evapotranspiración determinada para ambos métodos) y manejada con y sin fertilización, se presentó en el SAQ<2; mientras la más baja se produjo en TQ. El resultado de la productividad de agua se correlaciona con las

mayores producciones de grano en SAQ<2 y con las menores en TQ. La Figura 39, muestra los valores de productividad de agua para los cultivos de maíz y frijol con y sin fertilización con datos de evapotranspiración calculados por el método Penman-Monteith (FAO, 1998).

En general, los árboles tienen un efecto positivo ya que influyen la temperatura del suelo debido al efecto de la sombra, bajo el follaje de los árboles la temperatura puede reducirse de 5 a 11°C a 5 cm de profundidad y hasta 20°C cm en la superficie del suelo comparado con sitios de bajas cobertura debido al efecto del fuego (Belsky *et al.*, 1989). La productividad de los sistemas es predominantemente determinada por el balance de la humedad del suelo (Tinley, 1982).

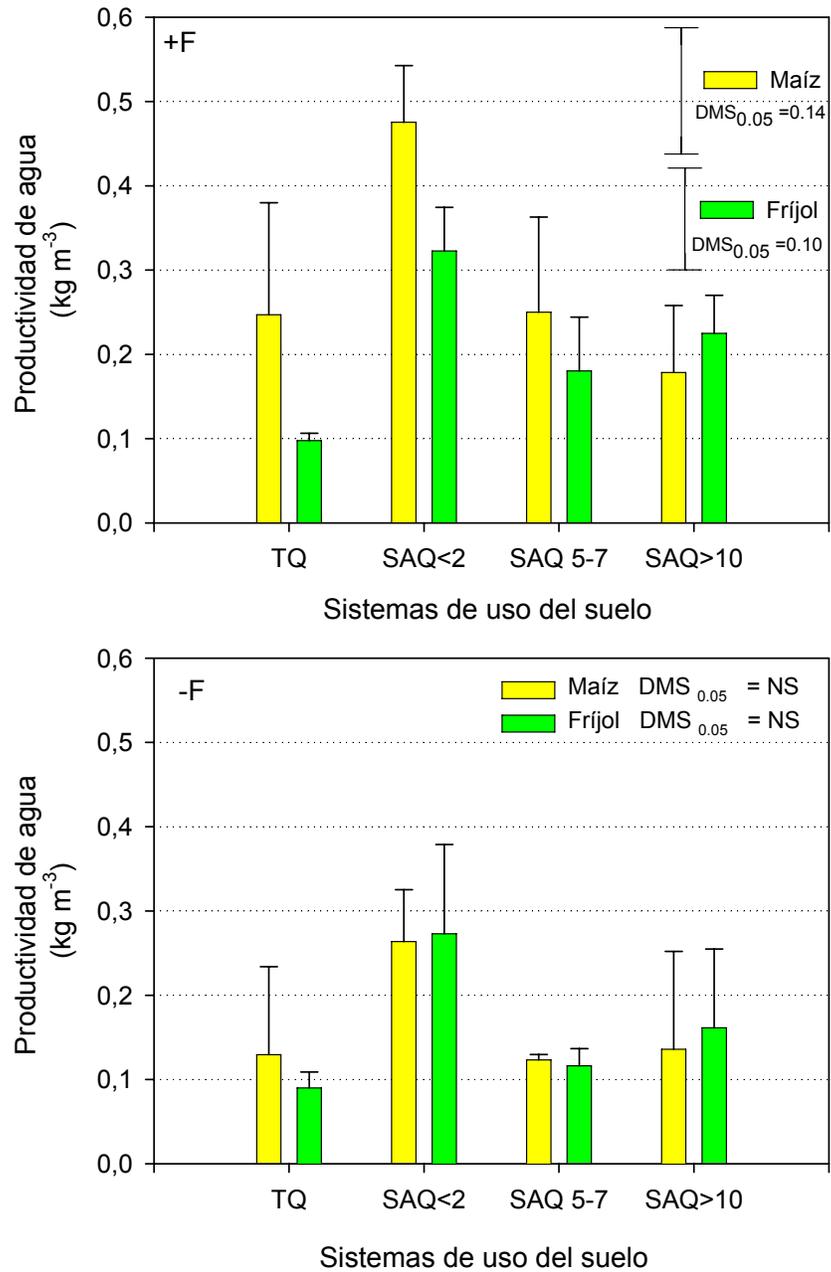


Figura 39. Diferencias en productividad de agua para los cultivos de maíz y frijol con (+F) y sin (-F) aplicación de fertilizante en el sistema tradicional de Tala y Quema (TQ), el Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), de (<2, 5-7 y >10 años). Candelaria, Honduras.

Un valor característico de productividad de agua para el cultivo de maíz, en monocultivo, a nivel de campo, en la India es de 1.5 kg m^{-3} , con rendimientos máximos de 5.1 t ha^{-1} (Mishra *et al.*, 2000). En ensayos a nivel de invernadero, en CIAT-Palmira, para el cultivo de frijol, (RAO-Comunicación personal), reporta valores de productividad de agua de 0.3 a 0.6 kg m^{-3} .

3.7.5 Eficiencia en el uso de agua (EUA) de los cultivos de maíz y frijol

La EUA, expresada como el rendimiento de grano en kg ha^{-1} producido por mm de agua utilizada, fue calculada con base en los rendimientos y la evapotranspiración ocurrida en 2007, calculada por el método de Penman-Monteith (FAO 1998).

Los valores de rendimiento promedio de grano para maíz y frijol, en los sistemas manejados con fertilización, fueron: 1351 y 535 kg ha^{-1} ; y sin fertilización: 740 y 380 kg ha^{-1} , respectivamente. La evapotranspiración promedio para maíz y frijol fue: 535 y 289 mm . La EUA promedio, en los sistemas de producción manejados con fertilización, llegó a $2.98 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para el cultivo de maíz, y para el de frijol a $2.05 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; sin aplicación de fertilizante, la EUA fue en promedio $1.18 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, tanto para maíz como para frijol.

En los sistemas manejados con fertilización, la mayor EUA correspondió al SAQ<2, para maíz y frijol, con valores de 4.76 y $3.22 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, respectivamente; para el cultivo de maíz, la menor EUA correspondió a SAQ>10 ($1.79 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) y para el de frijol, a TQ ($0.98 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). La misma tendencia se presentó para el manejo sin fertilización: el SAQ<2 mostró los mayores valores, tanto para maíz como para frijol (cálculos efectuados con base en los datos de las Tablas 32 y 33).

Se presentaron diferencias significativas en la EUA entre sistemas de uso de suelo. En el cultivo de frijol, el sistema de TQ, (condiciones de plena exposición), la eficiencia de uso de agua se redujo en promedio drásticamente (2.5 veces) respecto a los SAQ, debido probablemente a que la época de desarrollo del cultivo de frijol corresponde a una mayor demanda evaporativa, contrario a lo sucedido con el cultivo de maíz. La menor eficiencia de agua en maíz, correspondió a SAQ>10, debido muy probablemente a la mayor competencia por agua y nutrientes.

En Nigeria, valores de EUA ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) para maíz en monocultivo y maíz asociado con caupi (*Vigna unguiculata* Walp.) sembrado en surcos alternos, reportados por (Hulugalle y Lal, 1986), para condiciones de sequía, fueron: 2.2 y 1.6, respectivamente; y para condiciones de humedad favorable: 2.1 y 3.6, respectivamente. Uno de los beneficios de la asociación de los cultivos (maíz-caupi), fue la mayor EUA, en relación al monocultivo, cuando el agua no fue limitante. (Yu *et al.*, 2004), reportaron valores de EUA para maíz, aproximadamente 2.5 veces mayores que los de la soya, bajo las mismas condiciones climáticas.

Los valores de uso eficiente de agua para el cultivo de frijol común, reportados por (Doorenbos y Kassam, 1979) y (Mahlooji *et al.*, 2000), están entre 3 a $6 \text{ kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$. Valores promedios similares, de $2.9 \text{ kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$, con un rango de 0.3 y $6.7 \text{ kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$, fueron reportados para el norte de las Grandes Planicies, USA, por (Miller *et al.*, 2002).

La máxima eficiencia en el uso del agua, se obtiene frecuentemente con tasas de fertilización inferiores a las que producen los máximos rendimientos de los cultivos. Las plantas que se producen con un suministro adecuado de nutrientes, extienden sus raíces a profundidades mayores que las mismas plantas en suelos deficientes de uno o más nutrientes (Anderson y Sinclair, 1998).

3.8 VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA HUMEDAD Y VARIABILIDAD DE DENSIDAD APARENTE, CARBONO ORGÁNICO Y TEXTURA

3.8.1 Parámetros de estadística descriptiva para contenido de humedad

Las Figuras 40, 41, 42, y 43 muestran los parámetros de estadística descriptiva, (frecuencia, frecuencia acumulada y ln de la frecuencia acumulada) para contenido volumétrico de humedad de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm.

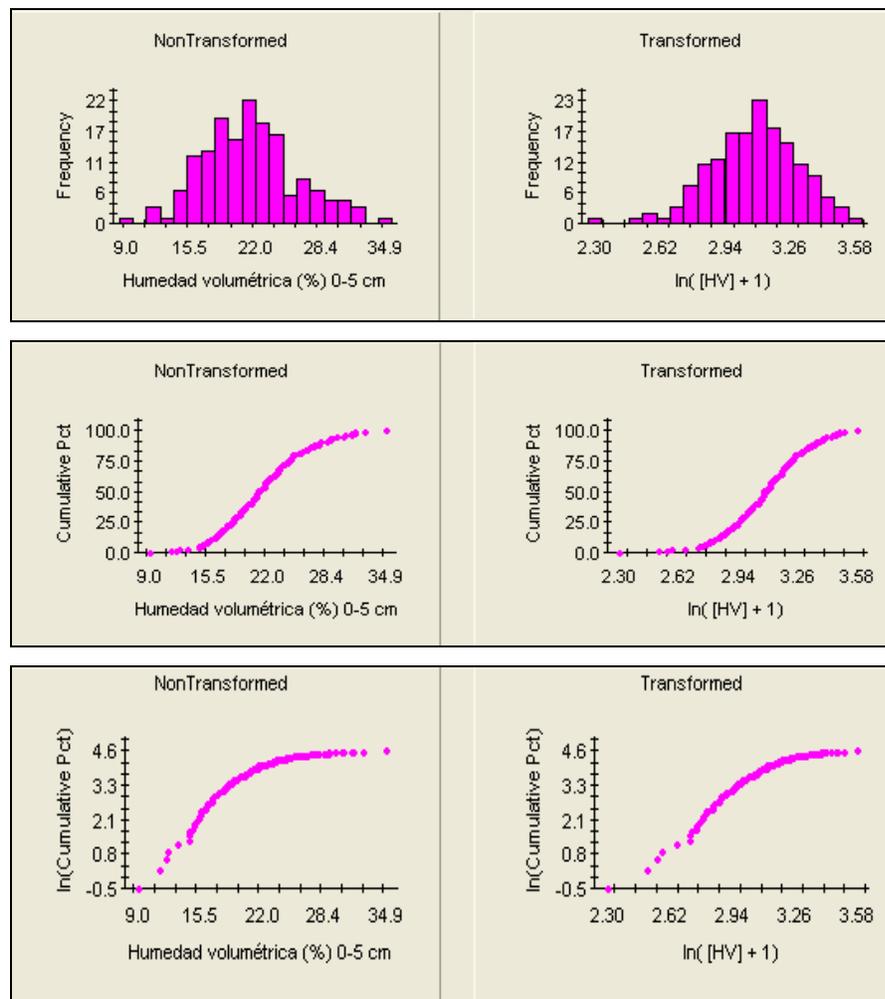


Figura 40. Parámetros de estadística descriptiva, (frecuencia, frecuencia acumulada y ln de la frecuencia acumulada) para contenido de humedad volumétrica de 0 a 5 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

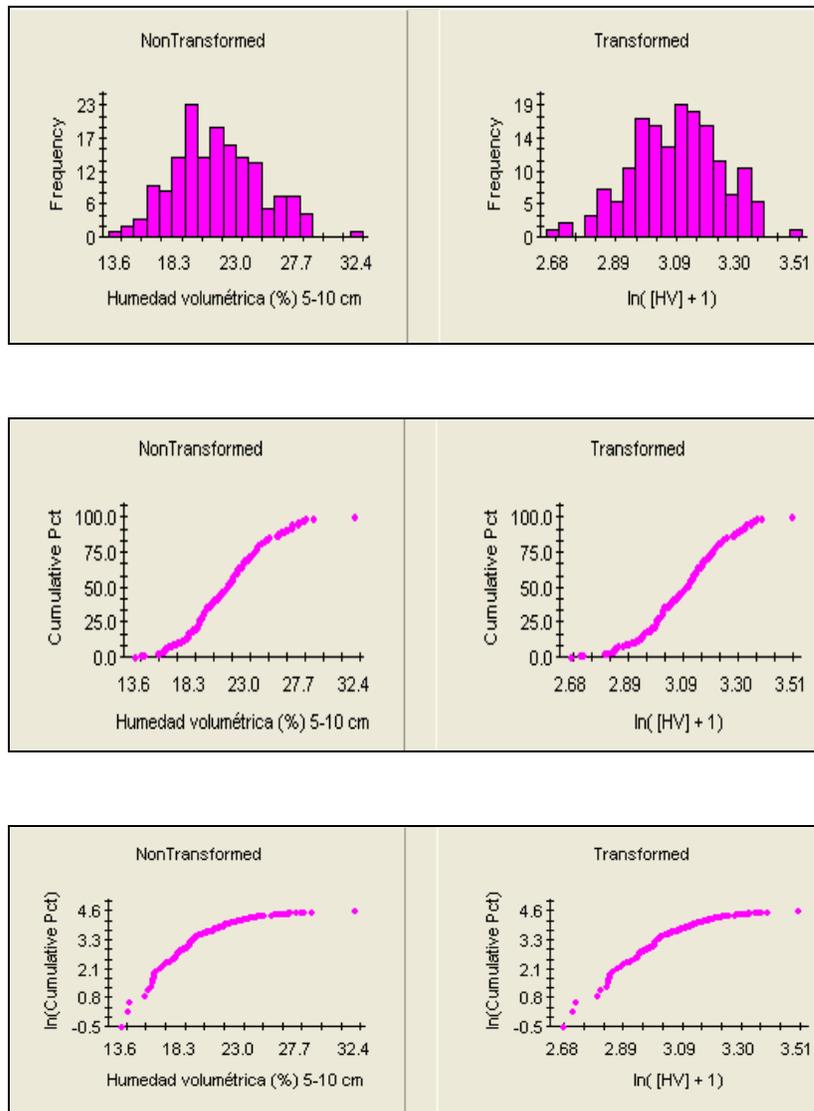


Figura 41. Parámetros de estadística descriptiva, (frecuencia, frecuencia acumulada y ln de la frecuencia acumulada) para contenido de humedad volumétrica de 5 a 10 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

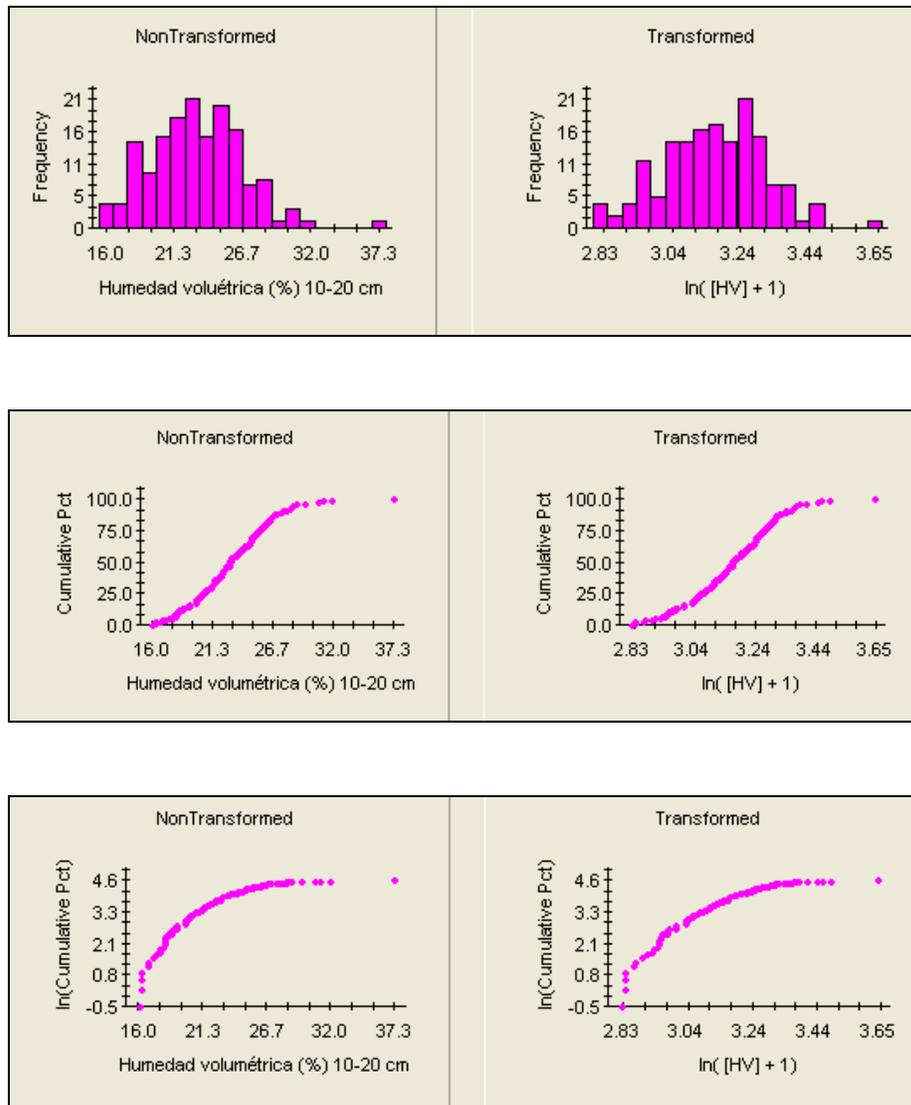


Figura 42. Parámetros de estadística descriptiva, (frecuencia, frecuencia acumulada y \ln de la frecuencia acumulada) para contenido de humedad volumétrica de 10 a 20 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

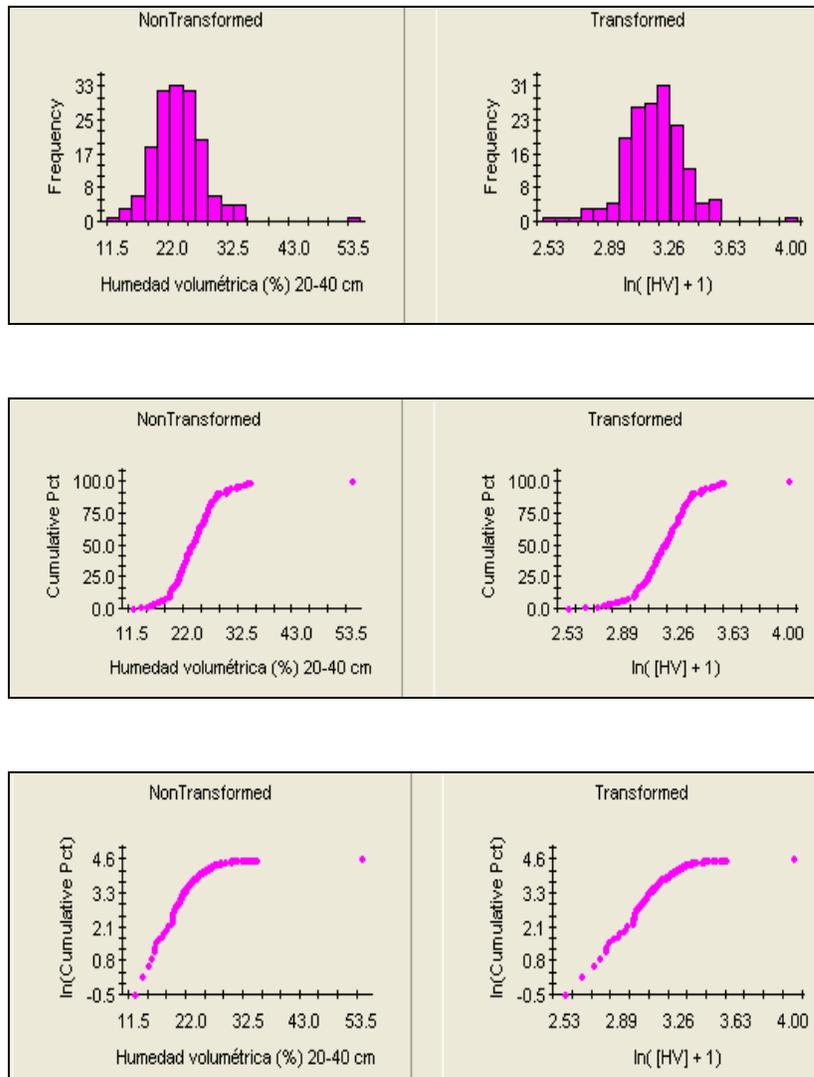


Figura 43. Parámetros de estadística descriptiva, (frecuencia, frecuencia acumulada y ln de la frecuencia acumulada) para contenido de humedad volumétrica de 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

3.8.2 Variación temporal y espacial de la humedad volumétrica entre sistemas de uso de suelo y en profundidad

Para la evaluación de la variabilidad temporal de la humedad de suelo se interpretaron los datos obtenidos a las 9 am y a las 3 pm, debido a la detección de mayores diferencias entre ellos.

En el sistema TQ, los valores de humedad volumétrica de 0 a 5 cm de profundidad, evaluada a las 9 am, fueron significativamente mayores (23.0%) que los medidos a las 3 pm, (15.2%), diferencia equivalente a una reducción del 51.3%. A las profundidades de 5 a 10, 10 a 20 y 20 a 40 cm, la tendencia en la reducción se mantiene, pero las diferencias no son significativas.

En SAQ<2, los valores de humedad volumétrica de 0 a 5 cm de profundidad, evaluada a las 9 am, aunque fueron mayores (22.3%) que los obtenidos en la evaluación realizada a las 3 pm, (20.4%), no muestran diferencias significativas. De 5 a 10 cm de profundidad, la humedad volumétrica evaluada a las 9 am, presenta valores significativamente menores (19.4%) que los obtenidos en la medición efectuada a las 3 pm, (21.9%), diferencia que representa un aumento del 12.8%. De 10 a 20 cm de profundidad, los valores de humedad volumétrica, evaluada a las 9 am, fueron mayores (23.9%) que los presentados a las 3 pm, (22.1%), diferencia que significa una reducción del 8.1%. En la profundidad de 20 a 40 cm no se presentan diferencias significativas.

En el BS, los valores de humedad volumétrica de 0 a 5 cm de profundidad, evaluada a las 9 am, fueron significativamente mayores (25.8%) que los presentados en la evaluación de las 3 pm, (20.7%), diferencia que equivale a una reducción del 24.6%. A la profundidad de 5 a 10 cm, la humedad volumétrica evaluada a las 9 am, muestra valores significativamente menores (21.8%) que los obtenidos en la evaluación realizada a las 3 pm, (24.9%), diferencia equivalente a

un aumento del 14.2%. De 10 a 20 cm de profundidad esta última tendencia se mantiene, el contenido de la humedad volumétrica evaluada a las 9 am, mostró valores significativamente menores (22.0%) que los presentados a las 3 pm, (26.7%), diferencia que en este caso significa un aumento del 21.4%. A la profundidad de 20 a 40 cm no se presentaron diferencias significativas en el contenido de humedad.

Además de señalar que los principales efectos en cuanto a la disminución en el contenido de humedad del suelo en el transcurso del día, suceden en superficie (de 0 a 5 cm de profundidad) para todos los sistemas de uso, los resultados anteriores también corroboran los efectos benéficos del SAQ, en el cual la presencia de la cobertura (mulch principalmente), mantiene o disminuye pero en un bajo porcentaje la humedad del suelo durante el día y a través del perfil; situación contraria a lo acontecido en TQ, sistema que pierde drásticamente la humedad del suelo, (tanto en superficie como en profundidad) en el transcurso del día, debido principalmente a la alta evaporación en la superficie del suelo. El BS, debido a la actividad de la vegetación, también (en superficie) disminuye el contenido de humedad, pero en una magnitud que equivale a la mitad de la ocurrida en TQ. Además los resultados muestran, comparando las evaluaciones realizadas en las horas de la mañana con las efectuadas en las de la tarde, que mientras el SAQ aumenta el contenido de humedad en la profundidad de 5 a 10 cm, al igual que el BS de 5 a 20 cm, TQ la disminuye en todo el perfil del suelo analizado (Tabla 34).

La densidad aparente en los sistemas de uso de suelo en las diferentes profundidades varió entre los valores 1.02 y 1.41 g cm⁻³. Los valores de densidad aparente en la superficie de 0 a 5 cm, fueron significativamente ($P < 0.05$) menores que en la profundidad de 5 a 40 cm, para los diferentes usos de suelo (Tabla 35). La densidad aparente correlacionó positivamente con el contenido volumétrico

de humedad de 0 a 5 cm de profundidad para todos los sistemas de uso de suelo (Anexo 10).

Tabla 34. Estadística descriptiva para contenido volumétrico de humedad (%), en los sistemas: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ<3) y Bosque Secundario (BS), de 0 -5, 5-10, 10-20 y 20-40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

Sistema	Prof (cm)	Hora	Min	Max	Media ^{&}	Mediana	Skewness ^{&&}	DS
TQ	0-5	9	19.5	26.5	23.0a	22.9	-0.13	2.53
		11	11.3	27.8	21.6a	22.5	-1.27	4.94
		3	12.3	17.0	15.2b	15.6	-0.53	1.68
	5-10	9	20.0	26.7	22.8a	21.9	0.33	2.46
		11	20.1	26.2	22.2a	21.6	0.81	2.06
		3	19.4	24.0	21.5a	21.4	0.27	1.84
	10-20	9	20.0	26.5	23.6a	23.8	-0.28	2.26
		11	19.2	24.5	22.0a	22.2	-0.23	1.71
		3	16.2	25.2	21.7a	22.4	-0.80	3.48
	20-40	9	18.3	24.1	21.3b	21.6	-0.40	1.62
		11	20.2	27.3	23.3a	23.0	0.41	2.42
		3	15.6	23.3	20.3b	21.4	-0.98	2.83
SAQ<3	0-5	9	14.8	34.9	22.3a	22.5	0.42	5.14
		11	9.0	31.5	20.2a	20.5	0.01	4.95
		3	14.3	28.9	20.4a	19.4	0.73	3.83
	5-10	9	14.1	28.9	19.4b	19.1	0.91	3.41
		11	13.6	32.4	21.7a	21.4	0.87	3.25
		3	15.5	30.3	21.9a	22.8	0.12	3.71
	10-20	9	17.2	31.9	23.9a	23.9	0.03	3.72
		11	16.2	31.1	23.1b	24.6	-0.14	3.81
		3	16.0	28.1	22.1b	21.9	0.14	2.59
	20-40	9	16.1	33.1	23.7a	22.2	0.41	4.94
		11	11.5	53.6	24.1a	23.6	2.52	6.72
		3	17.2	33.5	23.5a	24.0	0.39	3.42
BS	0-5	9	20.5	31.5	25.8a	24.4	0.53	4.07
		11	21.1	32.5	26.0a	25.3	0.96	3.42
		3	17.9	28.8	20.7b	30.6	2.31	3.22
	5-10	9	15.7	27.1	21.8b	22.0	-0.17	3.84
		11	17.0	25.1	20.6b	21.4	0.01	2.41
		3	19.5	28.1	24.9a	26.5	-0.95	3.05
	10-20	9	16.7	26.8	22.0a	21.8	0.17	3.97
		11	18.2	37.3	23.5a	22.5	2.00	5.68
		3	20.0	30.6	26.7a	27.9	-0.78	3.30
	20-40	9	14.1	34.1	22.6a	22.9	0.74	6.11
		11	18.4	26.9	21.2a	20.9	0.95	3.13
		3	15.3	25.7	22.6a	24.3	-1.45	3.73

[&] Media de la variable, seguida de la misma letra no presenta diferencias significativa (DMS; P<0.05);

^{&&} Prueba de Shapiro-Wilk usada para probar el nivel de significancia de la normalidad (P<0.05);

SD = Desviación estándar; Hora del muestreo de suelo: 9am, 11am y 3 pm.

Tabla 35. Estadística descriptiva para: Densidad aparente (Da), Carbono orgánico (CO), Arena y Arcilla, en los sistemas: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ<2) y Bosque Secundario (BS), de 0 -5, 5-10, 10-20 y 20-40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

Sistema	Var	Prof (cm)	Min	Max	Media ^{&}	Mediana	Skewness ^{&&}	DS
TQ	Da g cm ⁻³	0-5	0.81	1.16	1.02b	1.09	-0.63	0.15
		5-10	1.18	1.25	1.22a	1.24	-0.82	0.03
		10-20	1.25	1.27	1.26a	1.27	-0.74	0.01
		20-40	1.16	1.38	1.25a	1.20	0.59	0.09
SAQ<2		0-5	0.70	1.41	1.06d	1.09	-0.82	0.15
		5-10	0.93	1.57	1.21c	1.27	-0.36	0.15
		10-20	1.13	1.71	1.35b	1.32	0.21	0.13
		20-40	0.93	1.72	1.41a	1.43	0.11	0.18
BS		0-5	1.11	1.28	1.18c	1.18	0.31	0.07
		5-10	1.20	1.53	1.33b	1.27	0.61	0.14
		10-20	1.25	1.71	1.44a	1.34	0.57	0.20
		20-40	1.37	1.46	1.41a	1.41	0.21	0.03
TQ	CO %	0-5	1.00	2.88	1.69a	1.66	0.48	0.51
		5-10	0.64	1.85	1.15b	1.06	0.47	0.38
		10-20	0.37	1.51	0.87c	0.85	0.32	0.31
		20-40	0.20	1.53	0.70c	0.66	0.75	0.37
SAQ<2		0-5	0.26	3.10	1.63a	1.44	0.35	0.69
		5-10	0.13	2.51	1.11b	1.04	0.68	0.48
		10-20	0.17	2.45	0.85c	0.79	1.07	0.43
		20-40	0.13	1.74	0.66d	0.58	0.90	0.37
BS		0-5	0.70	3.28	1.72a	1.74	0.32	0.64
		5-10	0.52	1.81	1.16b	1.06	0.18	0.42
		10-20	0.38	1.58	0.89c	0.95	0.07	0.33
		20-40	0.18	1.32	0.62d	0.61	0.37	0.30
TQ	Arena %	0-5	35.6	58.1	42.58a	42.40	1.35	5.46
		5-10	29.1	54.7	42.09a	40.90	0.16	6.27
		10-20	28.6	58.0	43.27a	42.70	0.05	7.15
		20-40	25.8	55.0	42.29a	45.00	-0.76	7.07
SAQ<3		0-5	32.0	70.8	43.23a	42.25	1.62	5.86
		5-10	32.4	69.0	42.81a	42.55	1.02	6.36
		10-20	32.3	69.0	44.31a	42.90	0.83	8.08
		20-40	29.6	65.3	45.16a	44.35	0.40	7.60
BS		0-5	33.5	54.5	42.92a	43.00	0.20	4.66
		5-10	33.2	63.7	43.22a	43.10	0.87	7.34
		10-20	32.5	66.6	43.78a	42.15	1.07	7.96
		20-40	30.8	75.2	44.78a	42.30	1.13	10.1
TQ	Arcilla %	0-5	18.7	32.7	26.53a	27.50	-0.64	3.74
		5-10	16.0	35.4	27.38a	28.90	-0.92	4.84
		10-20	14.7	37.6	26.70a	26.60	-0.23	5.66
		20-40	14.2	39.2	25.55a	25.00	0.40	6.30
SAQ<2		0-5	11.6	33.0	26.53a	26.80	-1.75	3.79
		5-10	9.1	34.1	27.19a	27.75	-1.38	4.29
		10-20	10.3	35.4	25.93a	26.80	-0.57	5.60
		20-40	11.6	37.0	24.16a	23.95	-0.03	6.08
BS		0-5	17.5	31.9	26.28a	26.30	-0.55	3.22
		5-10	17.6	32.3	26.94a	28.60	-0.70	4.09
		10-20	14.2	34.8	26.98a	28.55	-0.70	5.77
		20-40	11.2	37.6	25.62a	28.00	-0.34	7.49

[&] Media de la variable, seguida de la misma letra no presenta diferencias significativa (DMS; P<0.05);

^{&&} Prueba de Shapiro-Wilk usada para probar el nivel de significancia de la normalidad (P<0.05)

El contenido de Carbono orgánico (%) en los sistemas de uso de suelo y para las diferentes profundidades varió entre los valores 0.62 y 1.72 %. Esta variación fue significativa ($P < 0.05$) entre las profundidades analizadas, presentando los mayores contenidos a la profundidad de 0 a 5 cm con valores de 1.69, 1.63 y 1.72 % para los sistemas TQ, SAQ<2 y BS respectivamente. En general, el contenido de carbono orgánico correlacionó positivamente con el contenido de arcilla y de forma negativa con el contenido de arena (Anexo 9). No se presentaron diferencias significativas para contenido de arena y arcilla entre los sistemas de uso de suelo ni entre las profundidades de suelo, se presentaron correlaciones negativas entre contenido de arcilla y contenido de arena.

3.8.3 Análisis de la estructura espacial

La Tabla 36. Presenta los parámetros de los semivariogramas para las variables seleccionadas por cada horizonte. Se adoptó la relación de clase espacial presentada por (Cambardella *et al.*, 1994), para definir las distintas clases de dependencia espacial. Si la relación espacial ($\% \text{ Nugget} = \text{Nugget de la semivarianza} / \text{Semivarianza total} \times 100$) fue $< 25\%$, la variable es considerada con fuerte dependencia espacial; si la relación esta entre 25 y 75%, la variable es considerada con moderada dependencia espacial y si la relación es $> 75\%$, la variable es considerada con dependencia espacial débil.

Los semivariogramas resultantes indican la existencia de dependencia espacial de débil a fuerte para las variables de suelo así: la humedad volumétrica mostró moderada dependencia espacial en todas las profundidades (Tabla 36 y Figura 44); la densidad aparente presentó una fuerte dependencia espacial de 0 a 5 y de 5 10 cm de profundidad, en tanto que para las profundidades de 10 a 20 y de 20 a 40 cm la dependencia espacial es moderada; el contenido de carbono orgánico presentó una débil dependencia espacial excepto a la profundidad de 5 a 10 cm que mostró una dependencia moderada. Los contenidos de arena y arcilla

presentaron moderada dependencia espacial a todas las profundidades de suelo (Tabla 35).

Tabla 36. Parámetros del semivariograma para: Humedad volumétrica (HV), Densidad aparente (Da), Carbono orgánico (CO), Arena y Arcilla de 0 -5, 5-10, 10-20 y 20-40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

Var	Prof (cm)	Mod.	Nugget	Sill	Nugget %	Clase espacial	Rango	r ²
HV %	0-5	Exp ^{&}	0.03780	0.07570	50	M	210.9	0.361
	5-10	Exp.	0.01976	0.03962	50	M	210.9	0.367
	10-20	Lin ^{&&}	0.01854	0.03718	50	M	210.9	0.269
	20-40	Exp.	0.02965	0.05940	55	M	210.9	0.287
DA g cm ⁻³	0-5	Exp.	0.00312	0.01336	23	F	176.4	0.667
	5-10	Esf ^{&&&}	0.00036	0.00479	8	F	27.3	0.923
	10-20	Exp.	0.00237	0.00869	27	M	169.0	0.529
	20-40	Exp.	0.00394	0.00789	50	M	147.5	0.148
CO %	0-5	Lin.	0.05915	0.06365	93	D	78.6	0.165
	5-10	Exp.	0.03800	0.07610	50	M	78.6	0.111
	10-20	Lin.	0.04311	0.04311	100	D	78.6	0.300
	20-40	Lin.	0.04115	0.04473	92	D	78.6	0.102
Arena %	0-5	Exp.	0.01163	0.02726	43	M	210.9	0.542
	5-10	Exp.	0.01735	0.03480	29	M	210.9	0.602
	10-20	Exp.	0.02557	0.05124	50	M	210.9	0.765
	20-40	Exp.	0.02794	0.05598	50	M	210.9	0.710
Arcilla %	0-5	Exp.	0.02061	0.04132	50	M	210.9	0.196
	5-10	Exp.	0.02708	0.05746	47	M	210.9	0.397
	10-20	Exp.	0.04670	0.09990	47	M	210.9	0.619
	20-40	Exp.	0.06030	0.12070	30	M	210.9	0.322

Mod. = Modelo; & Esp. = Exponencial; && Lin. = Lineal; &&&Esf = Esférico

% Nugget = (Nugget de la semivarianza)/(Semivarianza total)×100;

% Nugget <25% (F) = Fuerte dependencia espacial; entre 25 y 75% (M) = Moderada dependencia espacial y > 75% (D) débil dependencia espacial.

El rango de los modelos de los semivariogramas excedió la distancia de 18 m, indicando la presencia de una estructura espacial más allá de la distancia de muestreo original. El rango de los modelos fue mayor para humedad volumétrica, contenido de arena y arcilla con valores de 210.9 para todos los horizontes, seguido densidad aparente que varió entre 27.3 y 176.4 y finalmente para carbono orgánico con 78.6 m.

El análisis de la estructura espacial indicó variabilidad en el área del estudio para las variables humedad volumétrica, densidad aparente, carbono orgánico y contenido de arena y arcilla.

Resultados presentados por (Iqbal *et al.*, 2005), muestran un ajuste al modelo esférico para contenido de humedad de suelo a capacidad de campo, con una moderada dependencia espacial excepto en la sub-superficie (dependencia fuerte); ajuste a un modelo exponencial y dependencia moderada para densidad aparente y para contenido de arena y de arcilla en suelos Endoaquepts, cultivados de algodón (*Gossypium spp.*), Perhshire, Usa. Comparado con el presente estudio, (Tsegaye y Hill, 1998) observaron una menor variabilidad superficial para la densidad aparente (75% de Nugget), debido muy probablemente a un menor intervalo de muestreo (1m) en un área de 45 X 37 m.

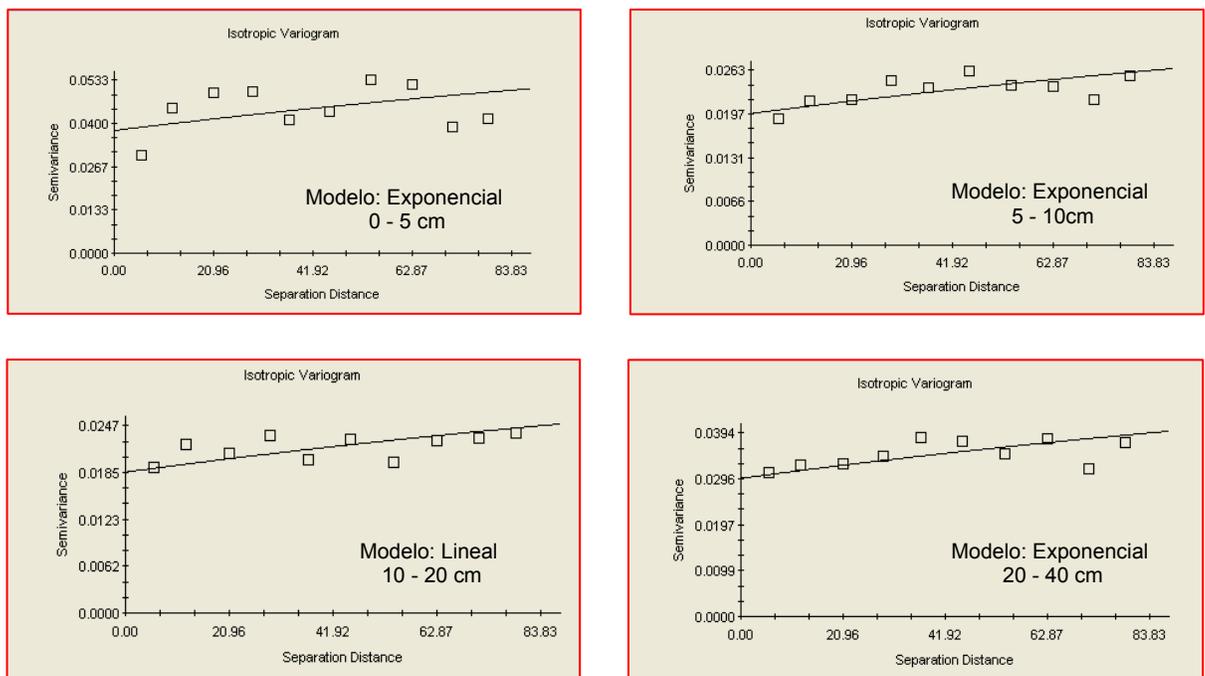


Figura 44. Modelos ajustados a los semivariogramas, para contenido de humedad volumétrica (%) a las profundidades de 0 a 5, de 5 a 10, de 10 a 20 y de 20 a 40 cm. Candelaria, Honduras, 2006.

3.8.4 Mapas de contorno

La Figura 45 muestra la variabilidad espacial y temporal del contenido volumétrico de humedad de suelo de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad. Las Figuras 46, 47, 48 y 49 muestran la variabilidad espacial para densidad aparente, contenido de carbono orgánico, contenido de arena y de arcilla, respectivamente.

Los mapas de contorno a partir de las interpolaciones por Kriging mostraron heterogeneidad en las propiedades evaluadas. Mayor contenido de humedad volumétrica en la parte nor-occidente en los sistemas BS, TQ y en la parte superior de SAQ<2. Menor contenido de humedad en el Oriente de TQ en la superficie (0 a 5 cm). Altos contenidos de humedad en la parte alta del transecto y menores en la parte baja excepto en la parte sur occidental en SAQ<2 de 5 a 10 cm de profundidad. Se presentó continuidad en el alto contenido de humedad en el sistema SAQ<2 de 10-40 cm, aunque con mayores áreas de bajo contenido humedad de 10 a 20 cm de profundidad. Los mayores contenidos de carbono orgánico se presentaron en la parte intermedia de SAQ<2 años, seguido del BS y TQ de 0 5 cm de profundidad. De 5 a 10 cm se mantuvieron las tendencias (mayores contenidos en el área intermedia de SAQ<2) el contenido de carbono orgánico disminuyó, sin embargo los menores contenidos se observan en la parte alta y baja de SAQ<2. Tendencia que es mantenida de 10-40 cm aunque con menores valores. El contenido de arena presentó los mayores valores en la parte inferior del área correspondiente al SAQ<2 en todas las profundidades, áreas que aumentaron de extensión a mayor profundidad, los menores valores correspondieron al área remanente con sectores de bajo contenido predominantemente en la parte superior de SAQ<2. El contenido de arcilla presentó un comportamiento contrario a la presencia de arcilla. En general mayor contenido de carbono orgánico correspondió a menores contenidos de arena.

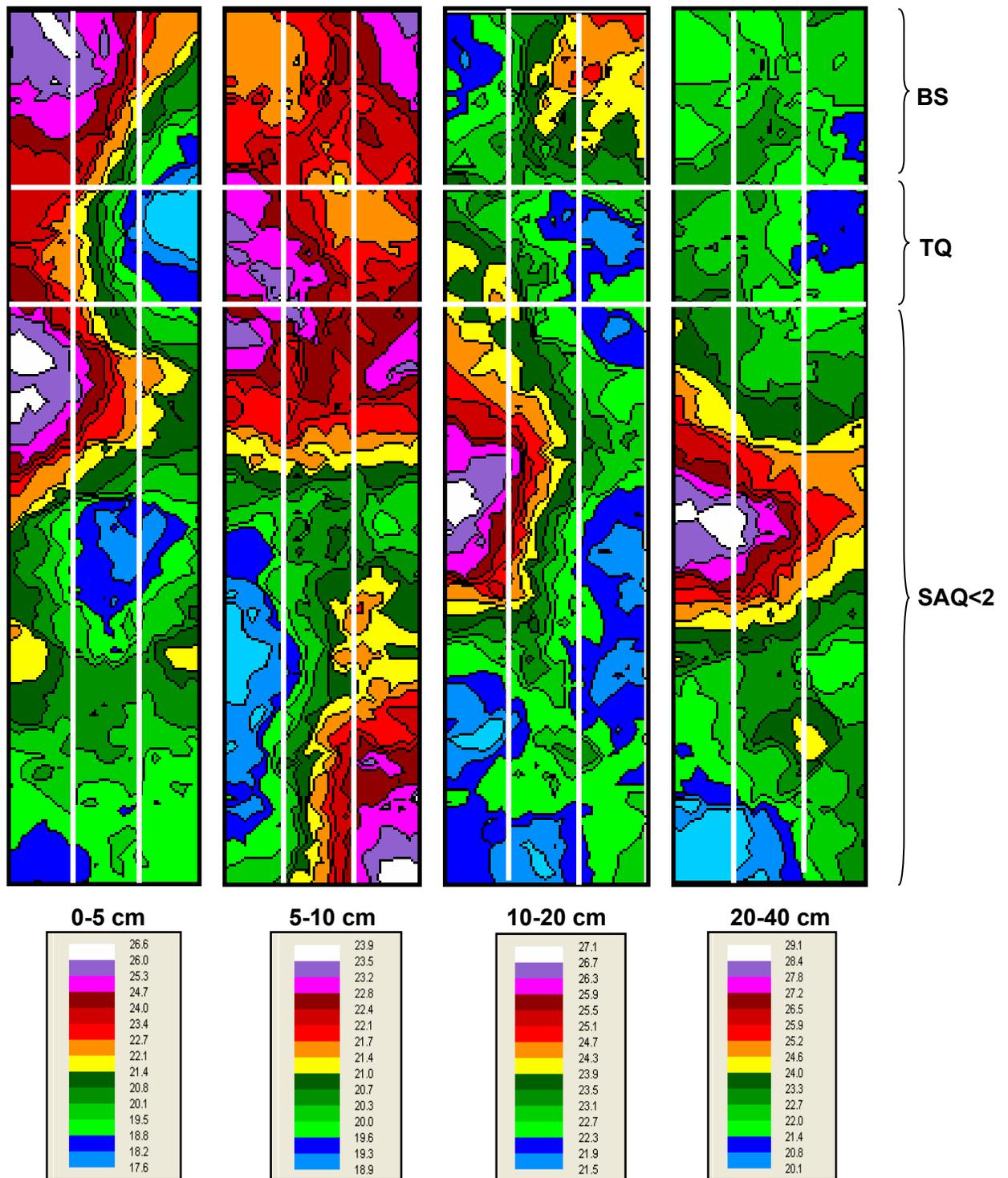


Figura 45. Mapa de contorno para contenido humedad volumétrica (%), de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

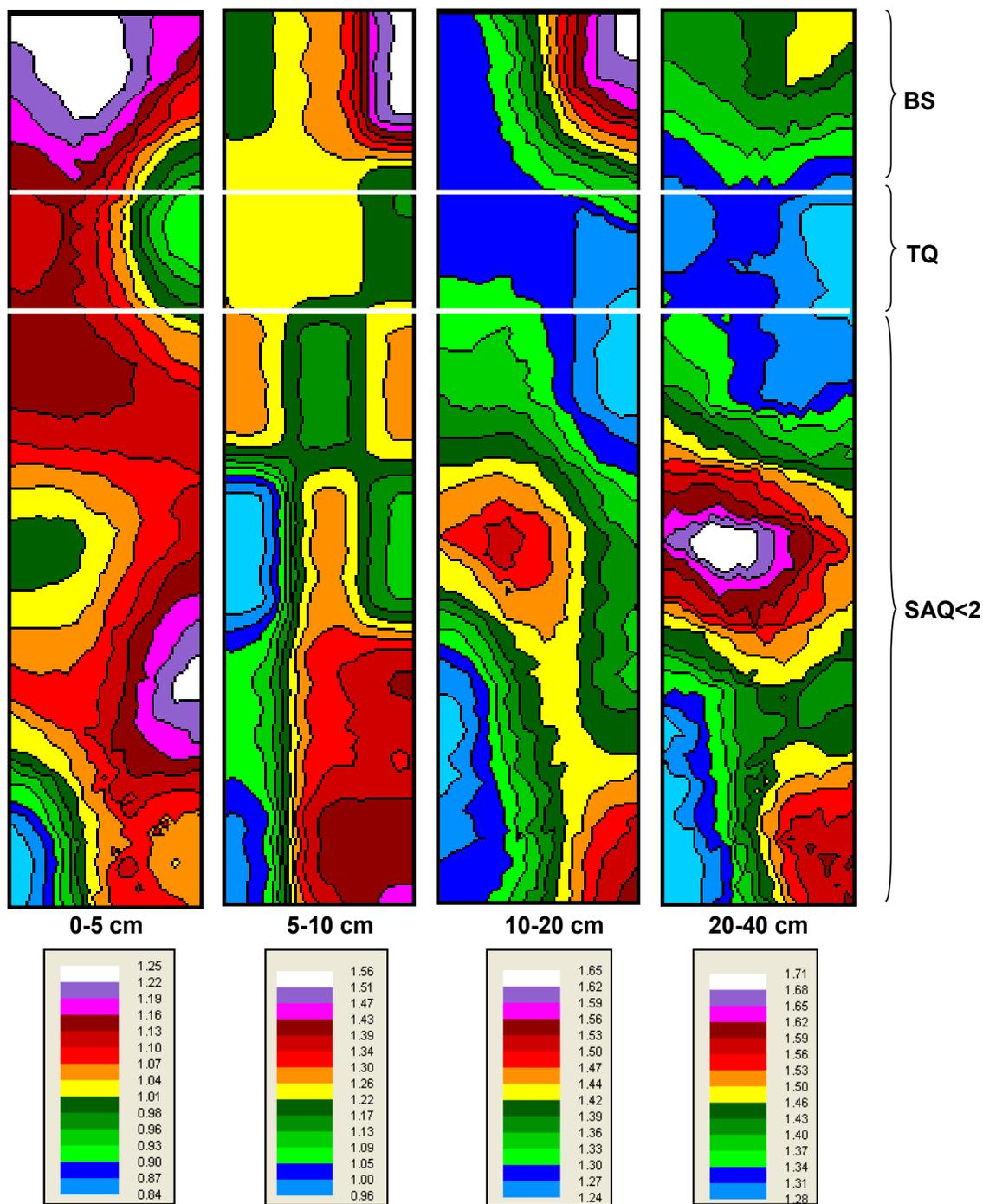


Figura 46. Mapa de contorno para densidad aparente (g cm^{-3}) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

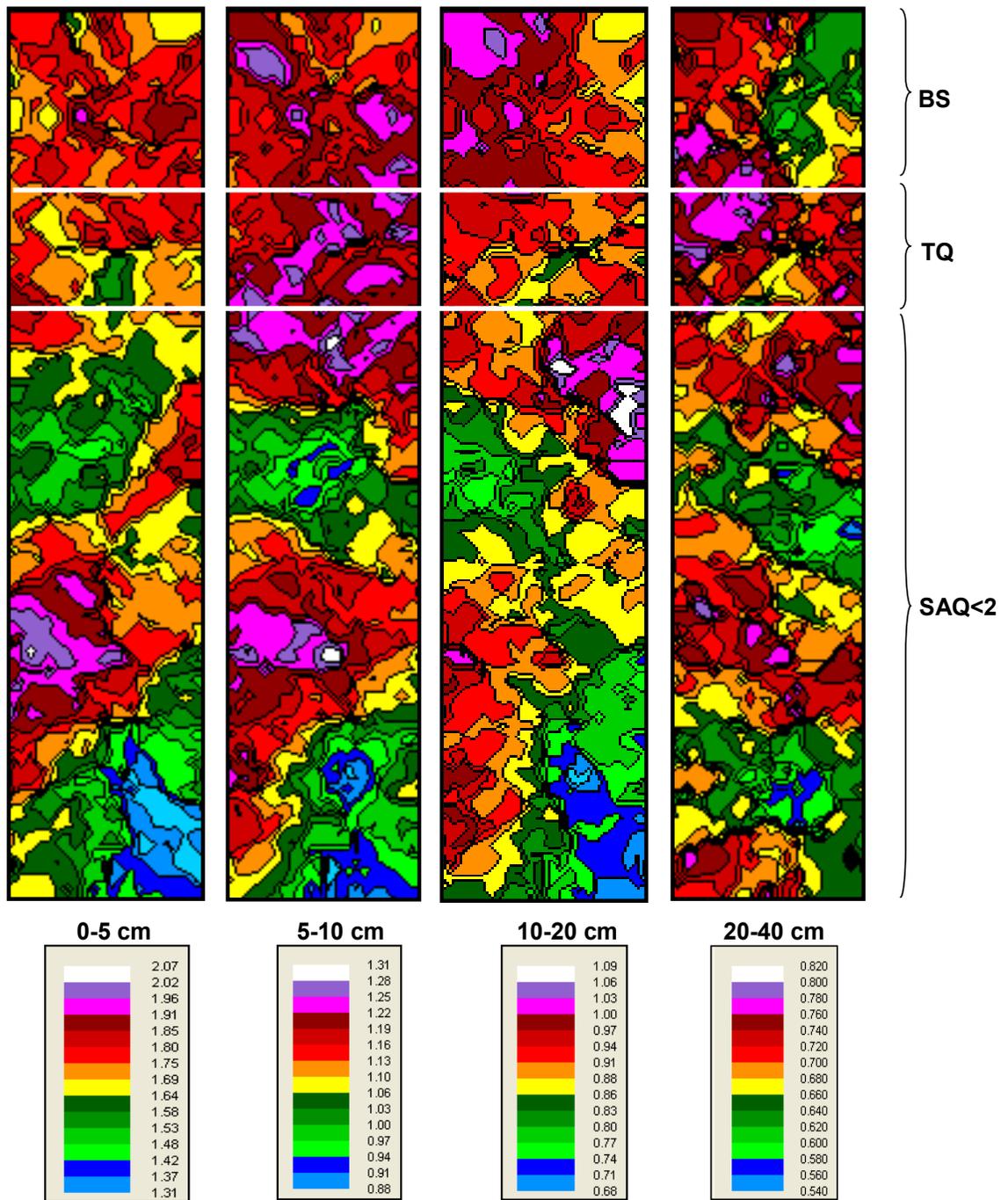


Figura 47. Mapa de contorno para contenido de carbono orgánico (%) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

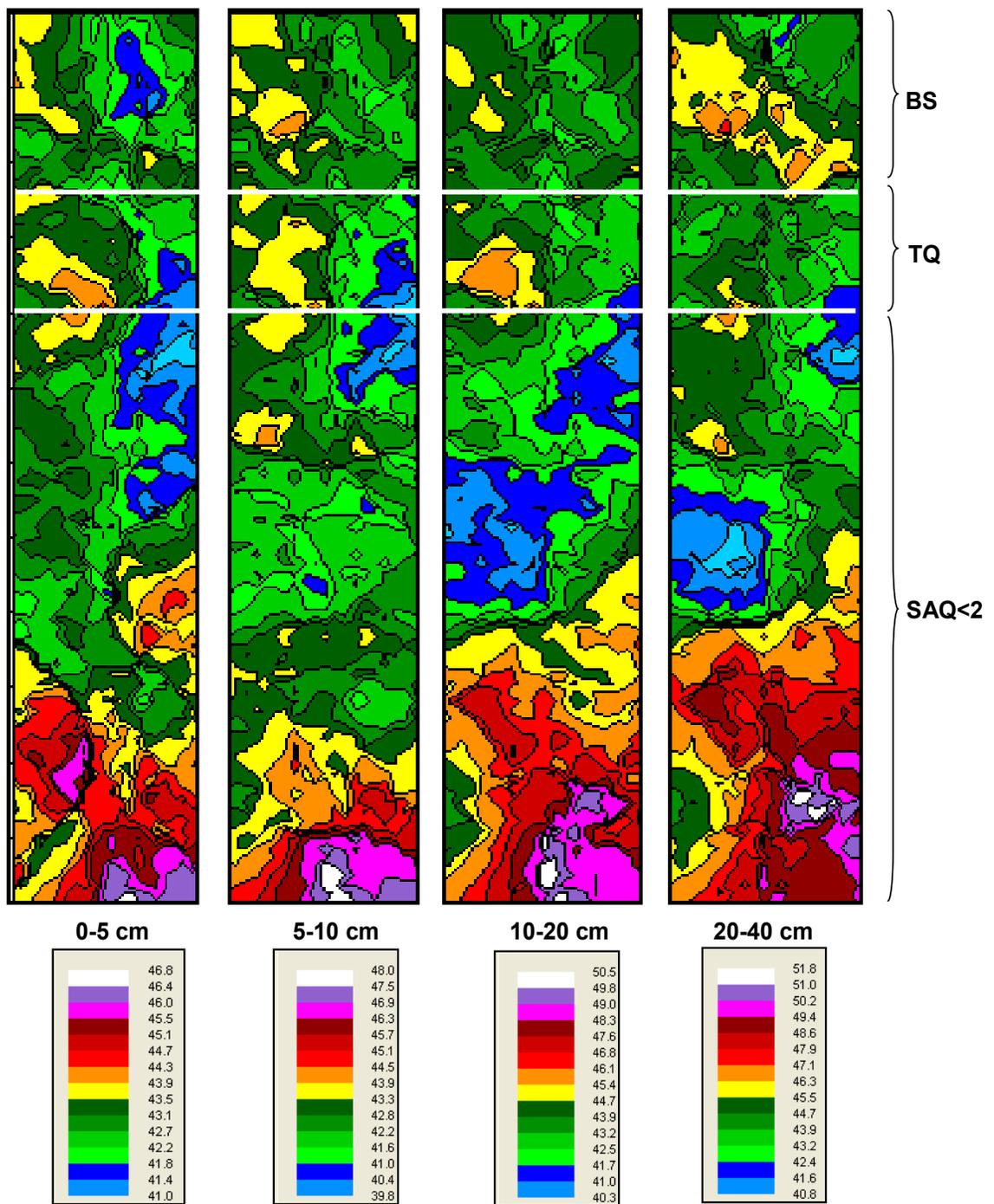


Figura 48. Mapa de contorno para contenido de arena (%) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

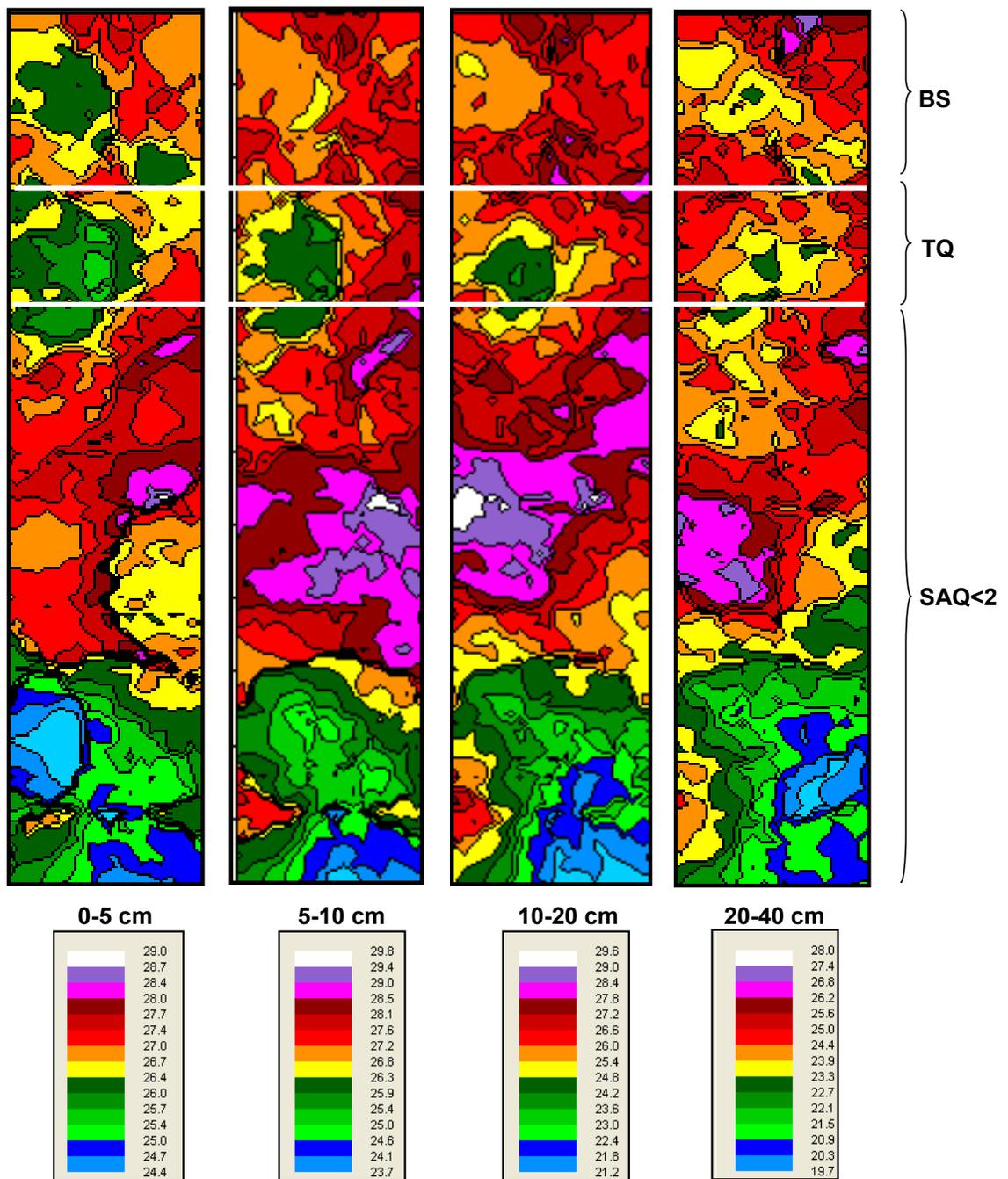


Figura 49. Mapa de contorno para contenido de arcilla (%) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

3.8.5 Autocorrelación espacial

Los correlogramas de las variables humedad volumétrica, densidad aparente, carbono orgánico, arena y arcilla fueron calculados de los puntos de una grilla a una distancia-lag de 8.3 m (Figura 50, 51, 52, 53 y 54).

La autocorrelación en la distancia-lag cero, corresponde a uno y disminuye cuando la distancia incrementa hasta llegar a 78.7 m, alcanzando niveles no significativos; para las variables contenido volumétrico de humedad (%) de 0 a 5 cm de profundidad el índice de Moran I, fue igual a 0.36, para densidad aparente (g cm^{-3}), los índices fueron 0.50, 0.59, 0.56 y 0.53 en las profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm respectivamente. Las restantes variables presentaron valores de correlaciones entre menores de 0.327 y -0173. La distancia de 8.33 m sería conveniente para detectar variabilidad en humedad volumétrica de 0 a 5 cm de profundidad y densidad aparente en todas las profundidades.

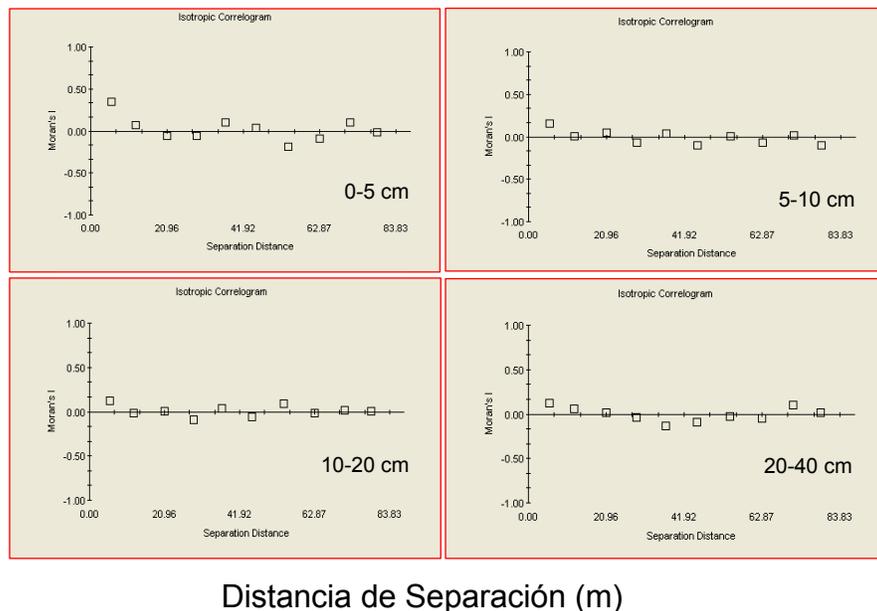
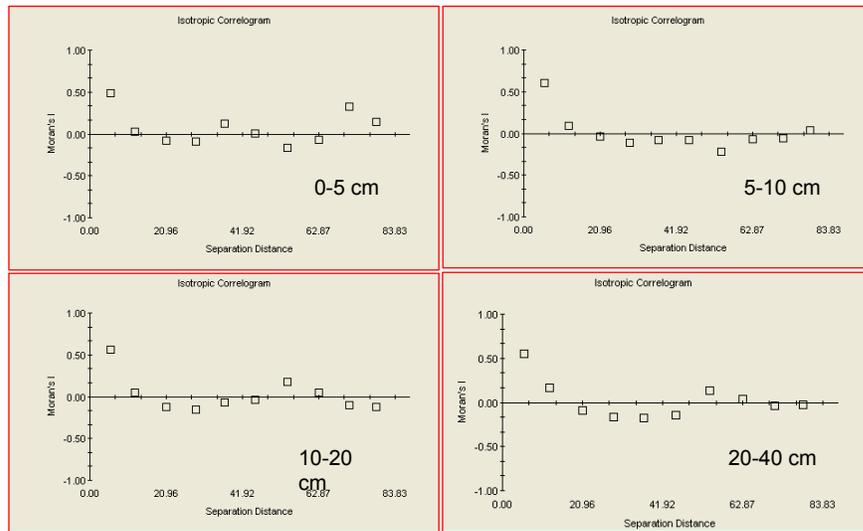
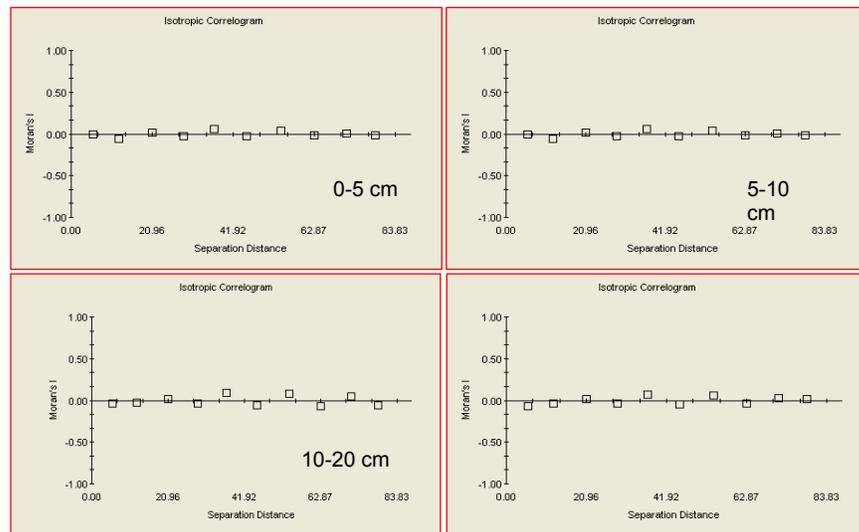


Figura 50. Autocorrelograma (Índice de Moran) para contenido humedad volumétrica (%) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.



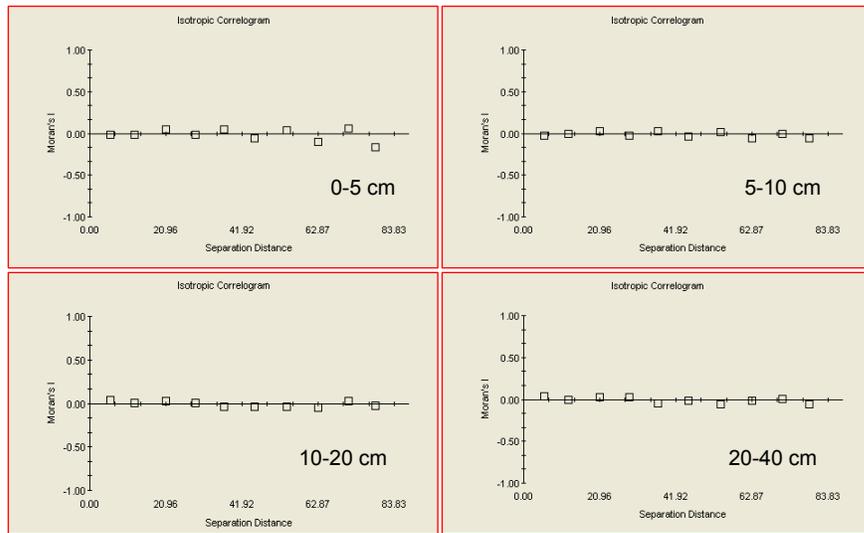
Distancia de Separación (m)

Figura 51. Autocorrelograma (Índice de Moran) para densidad aparente (g cm^{-3}) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.



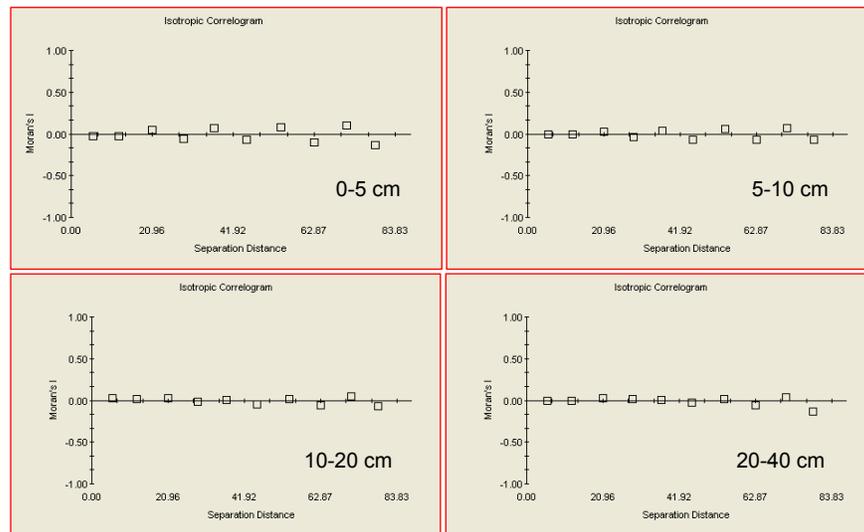
Distancia de Separación (m)

Figura 52. Autocorrelograma (Índice de Moran) para carbono orgánico (%) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.



Distancia de Separación (m)

Figura 53. Autocorrelograma (Índice de Moran) para contenido de arena (%) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.



Distancia de Separación (m)

Figura 54. Autocorrelograma (Índice de Moran) para contenido de arcilla (%) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

El entendimiento de las características espaciales de las propiedades del suelo ayuda a comprender los procesos del suelo que ocurren a nivel de paisaje y permite optimizar estrategias de muestreo y de manejo.

Los métodos de estadística clásica y geoestadísticos revelan variabilidad y variabilidad espacial en el contenido volumétrico de humedad y en las otras propiedades evaluadas (densidad aparente, contenido de carbono orgánico, arena y arcilla) entre las profundidades de suelo en el área de estudio. Los valores de densidad aparente en la superficie fueron significativamente, menores que en profundidad (5 a 40 cm) contrario a lo ocurrido con el contenido de carbono orgánico, donde los mayores contenidos se presentaron en superficie y los menores en profundidad.

4. CONCLUSIONES

Los SAQ presentaron menor susceptibilidad a la erosión, menores pérdidas de suelo y de nutrientes, mayor capacidad de infiltración, menor escorrentía y mejor calidad de agua, comparados con el sistema tradicional de TQ. La resistencia a la erosión mostrada por los SAQ está relacionada con factores tales como su alta capacidad de infiltración y la rapidez de ocurrencia de la misma, lo cual además de reducir la escorrentía retarda su inicio, factores que a su vez se relacionan con el contenido de macroporos, la permeabilidad, el contenido de agua en el perfil y la cobertura del suelo. La resistencia a la erosión en los SAQ también está relacionada con la fuerte resistencia que muestran a la dispersión de los agregados del suelo.

Los SAQ presentaron los mayores contenidos de humedad de suelo tanto maíz como frijol y TQ los más bajos. Mientras el cultivo de maíz presentó contenidos de humedad adecuados durante su desarrollo, en el cual ocurrió, mayor precipitación que evapotranspiración, con balance de agua positivo, para el cultivo de frijol el contenido de humedad disminuyó desde floración hasta madurez fisiológica en consecuencia el balance de agua fue negativo.

Las mayores producciones de maíz y de frijol durante los tres años en promedio se obtuvieron en SAQ y las menores en TQ, excepto en maíz en el cual SAQ 5-7 presentó valores promedio, iguales a TQ. Es importante resaltar que las producciones de TQ tienen un costo ambiental alto y además poseen una fuente adicional de nutrientes (Cenizas provenientes de la quema). Para frijol se presentó una tendencia clara a aumentar la producción a mayor edad del SAQ.

El contenido volumétrico de humedad de suelo durante la época lluviosa varió entre 21.8% y 30.4% mientras en la época seca varió entre 5.8% y 11.6%. En época seca SAQ<2 y SAQ>10 presentaron 44 y 30% más contenido de humedad en profundidad (20-40 cm) que los otros sistemas, mostrando que éstos sistemas mantienen los efectos positivos en profundidad, durante la época crítica de humedad.

El agua disponible para las plantas en la época en época seca fue en mayor (24%) que en la época lluviosa. En general la disminución de la densidad aparente, junto con el incremento de los mesoporos, conlleva al aumento de la capacidad de almacenamiento de agua disponible para las plantas en época de sequía, condición que además que beneficia aceptación de las lluvias al inicio del periodo lluvioso. Los SAQ presentaron mayores contenidos de agua disponible para las plantas que TQ, lo cual indica mejor capacidad de almacenamiento de los SAQ durante las épocas críticas. La capacidad de almacenamiento de agua en los SAQ fue mayor a menor edad de establecidos.

La mayor productividad de agua de los cultivos y la mayor eficiencia en su uso se presentaron en SAQ<2, mientras las más bajas ocurrieron en TQ y SAQ>10 en el cultivo de maíz y en TQ en el de frijol, resultados que guardan relación tanto con los mayores rendimientos de grano obtenidos en SAQ<2 como con los menores presentados en SAQ>10. El manejo de los sistemas con fertilización incrementó la productividad de agua en los cultivos de maíz y frijol en el 92 y 23%.

Los métodos de estadística clásica y geoestadísticos revelan variabilidad espacial en el contenido volumétrico de humedad y en las propiedades físicas densidad aparente, contenido de carbono orgánico, arena y arcilla entre las profundidades de suelo en el área de estudio. La humedad volumétrica presentó moderada dependencia espacial en todas las profundidades de suelo; la densidad aparente presentó una fuerte dependencia espacial de 0 a 5 y de 5 a 10 cm de profundidad en tanto que para las profundidades de 10 a 20 y de 20 a 40 cm presentó

moderada dependencia espacial; el contenido de carbono orgánico presentó una débil dependencia espacial excepto a la profundidad de 5 a 10 cm que presentó una moderada dependencia espacial. Los contenidos de arena y arcilla presentaron moderada dependencia espacial a todas las profundidades de suelo

En términos generales:

- EL SAQ ha mostrado un gradual mejoramiento (a través del tiempo) de las características del suelo que favorecen el desarrollo de los cultivos y la productividad. Ese mejoramiento incluye incremento de la infiltración, la capacidad de almacenamiento de agua y el agua disponible en el suelo (en estados claves de desarrollo de los cultivos) y la reducción de la erosión, la evaporación y la escorrentía, con un mejor desempeño del SAQ que el sistema TQ.
- El SAQ ha contribuido a mejorar la estructura del suelo, la cantidad de porosidad y la distribución del tamaño de poros. Esos resultados indican que el SAQ, no solamente mejora la calidad del suelo sino también mejora el movimiento del agua, la capacidad de almacenamiento y el contenido de agua disponible en el suelo y la productividad de agua para los cultivos y la eficiencia en su uso, particularmente en el cultivo de frijol.
- Se evidencia por los resultados que el SAQ, es una alternativa posible para el mejoramiento de la seguridad alimentaria en áreas propensas a sequía del trópico sub-húmedo, dando una opción a los agricultores para adoptarlo, al tiempo que contribuye con la mitigación del cambio climático, mientras reduce algunos de los efectos negativos de la agricultura en el ambiente

5. RECOMENDACIONES

- Mejorar la productividad de agua de los cultivos y la eficiencia en su uso, mediante la utilización de variedades locales adaptadas de alto rendimiento, más eficientes en el uso del agua y con valores mayores de productividad de agua, que las variedades sembradas actualmente.
- Estudiar la posibilidad de precisar las fechas más recomendables de siembra para el cultivo de frijol de manera que puedan anticiparse, con el fin de evitar períodos críticos de sequía en la etapa de floración a llenado de grano, con el objetivo final de mejorar el rendimiento y la productividad de agua.
- Generar metodologías de fácil utilización por agricultores y extensionistas que les permitan precisar el tiempo de uso del sistema, para los diferentes cultivos y condiciones de suelo, clima y vegetación.
- Diversificar el sistema mediante cultivos de alto valor, mayor productividad de agua y alta eficiencia en el uso del agua, de manera que permitan mejorar los ingresos a los agricultores sin inversiones adicionales.

6. BIBLIOGRAFÍA

Abaladejo, M.J. (1985). Proposed methodology for the establishment of an erosion united classification In: Pla, I. Soil Conservation and Productivity IV International conference on Soil Conservation. Maracay, Venezuela, pp 927.

Amézquita, E. (1998). Propiedades físicas de los suelos de los Llanos Orientales y requerimientos de labranza. En: Memorias I Encuentro Nacional de Labranza de Conservación. Romero, C.G.; Aristizabal, Q.D.; Jaramillo, S.C. Villavicencio, Colombia, pp 174.

Anderson, L.S.; Sinclair, F.L. (1998). Interacciones ecológicas en los sistemas agroforestales. Trad. del inglés por A. Vargas de Agroforestry Abstracts 6 (1993):57-91. In: F. Jiménez, Vargas, A. (Eds.), Apuntes de clase del curso corto: Sistemas Agroforestales. CATIE, Turrialba, Costa Rica, pp 360.

Angers, D.A.; Carter, M.R. (1996). Aggregation and Storage in cool, humid Agricultural Soil. En: Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soil. CRC Press, Inc., Corporate Blvd., Boca Raton, Florida. pp 477.

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy.

Bailey, T.C.; Gatrell A.C. (1998). Interactive Spatial Data Analysis. Addison Wesley Longman, UK.

Bajracharya, R.M.; Elliot, W.J.; Lal, R. (1992). Interril Erodibility of some Ohio Soils based on field simulation. Soil Sci.Soc.Am.J. 56: 267-272

Belsky, A.J.; Amundson, R.G.; Duxbury, J.M.; Riha, S.J.; Ali, A.R.; Mwonga, S.M. (1989). The effects of trees on their physical, chemical and biological environments in a semi-arid savanna in Kenya". Journal of applied ecology, 26:1005– 1024.

Belsky, J.M. (1994). Soil Conservation and poverty Lesson from Upland Indonesia. Society and Natural Resources Volume 7, pp. 429-443.

Bley, J.; van der Ploeg, R.R.; Sivakumar, M.V.K.; Allison, B.E. (1991). A risk-probability map for millet production in SOUTH-WEST Niger. In soil water balance in the Sudano-Sahelian zone (ed. Sivakumar, M.V.K.; Renar, C.; Giroux, C) Proceedings of the Niamey Workshop. Willingford, UK: IAHS, pp 571-581.

- Bindraban, P.S.; Stoorvogel, J.J.; Jansen, D.M.; Vlaming, J.; Groot, J.R. (2000). Land Quality Indicators for Sustainable land Management: Proposed Method for Yield Gap and Soil Nutrients Balance. *Agriculture, Ecosystems and environment* 81(2): 103-12.
- Bouwer, H. (1986). Intake rate: cylinder infiltrometer: field methods. In: A. Klute (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 1-Physical and mineralogical methods*. ASA and SSSA publisher. Madison, WI.
- Breman, H.; Groot, J.R.; Keulen, V. (2001). Resources limitations in Sahelian Agriculture. *Global Environment Change* 11(1): 59-68.
- Brown, S.; Lugo, A.E. (1984). Biomass of Tropical Forest: A new Estimate based on forest volume *Science* 223: 1290-1293.
- Bouyoucos G.J. (1927). The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soil. *Soil Science* 23: 343-353..
- Bruce, O, E.; Lal, R. (1975). Soil erodability as determined by raindrop technique. *Soil Sci. U.S.A.* 119(2):149-157.
- Burt, C.M.; Mutziger, A.J.; Allen, R.G.; Howell, T.A. (2005). Evaporation Research: Review and Interpretation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131(1): 37-58.
- Calder, I.R.; Swaminath, M.H; Kariyappa, G.S. (1992). Deuterium tracing for the estimation of transpiration from trees. Part 3. Measurements of transpirations from *Eucalyptus* plantation, India. *J. Hydrol.* 130, 37-48.
- Cambardella, C.A.; Moorman, T.B.; Karlen, D.L.; Turco, R.F.; Konopka, A.E. (1994). Field scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1501-1511.
- CGIAR (2007). Challenge Program on Water and Food: Background Papers to the full Proposal. Ensuring Food Security via Improvement in Crop Water Productivity. Kijne, J.W.; Tuong, P.T.; Bennet, J.; Bouman B.; Oweis, T. Sri Lanka, pp 196.
- CIAT.(1998). Atlas Manual de Honduras;
<http://gisweb.ciat.cgiar.org/Mitch/documento/manual-atlas.pdf> ; visitado el 10/22/07.
- CIAT (1988). Conceptos básicos de la fisiología de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), Guía de estudio, Jeffrey W. White, Cali, Colombia, pp 55.
- CIAT (1979). Cassava program. In: Annual Report 1978. Cali, Colombia, pp A-1-A 100.
- Clark, I. (1979). Practical geostatistics. Applied Sci. Plus., London.

Cobo, L. (1998). Diseño, construcción y evaluación de un minisimulador portátil de lluvia para estudios de susceptibilidad a erosión en laderas, Universidad del Valle-Universidad Nacional de Colombia.

Cooper, P.J.M.; Keatinge, J.D.H.; Huesm G. (1983). Crop evapotranspiration-a technique for calculation of its components by field measurements. *Field Crop Res.* 7, 299-312.

Cooper, P.J.M.; Leakey, R.R.B.; Rao, M.R.; and Reynolds, L. (1996) Agroforestry and the mitigation of land degradation in the humid and sub-humid tropics of Africa. *Experimental Agriculture* 32, 235-290.

Craswell, E.T.; Grote, U.; Henao, J.; Vleck, P.L.G. (2004). Nutrient Flows in Agricultural Production and International Trade: Ecological and Policy Issues. ZEF. Discussion Paper on Development Policy 78. Center for Development Research, Bonn, Germany.

David, M. (1977). Geostatistics area reserve estimation. Elsevier Sci. Publ., Amsterdam.

De Fraiture, C.; Cai, X.; Amarasinghe,; Rosegrant, M.; Molden, D. (2004). Does International Cereal Trade Save Water?. The impact of virtual Water Trade on Global Water Use. *Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, Colombo.

De Wit, C.T. (1992). Resource Use Efficiency in Agriculture. *Agricultural Systems* 40 (1-3): 125-51.

Deugd M. (2000). No quemar... sostenible y rentable? Informe final, Proyecto Lempira Sur (FAO) GCP/HON/021/NET: pp 82.

Dobermann, A.; Cassman, K.G. (2002). Plant Nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. *Plant Soil* 247: 153-175.

Doorenbos, J. Kassam, A.H. (1979). Yield responses to Water. *FAO Irrigation and Drainage Paper No 33*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Drechsel, P.; Giordano, M.; Gyiele, L. (2004). Valuing Nutrients in Soil and Water: Concepts and Techniques with Examples from IWMI studies in the Developing World. *IWMI Research Report 82*. Colombo: International Water Management Institute.

Droppelman, K.J.; Berliner P.R. (2000). Biometric relationships and Growth of Pruned and Non-Pruned *Acacia saligna* under Runoff Irrigation in Northern Kenya. *Forest Ecology and Management* 126 (2000) 349-359. Elsevier Science Publishers. Netherlands.

Droopelman, K.J.; Ephrath, J.E.; Berlinear, P.R. (2000). Tree/crop complementary in an arid zone runoff agroforestry system in northern Kenya. *Agroforestry Systems* (in press).

Droogers, P.,; Aerts, J. (2005). Adaptation Strategies to Climate Change and Climate Variability: A Comparative Study between Seven Contrasting River Basins. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 30 (6-7):339-46.

Elliot, J. W.; Liebnov, A. N. ; Laflen, J. M. ; Khol, K. D. (1989). A compendium of soil erodability data from WEPP cropland soil field erodability experiments 1987-1988. NSERL Rep. 3. Ohio State University-USDA-ARS. Purdue, West Lafayette, IN, USA. pp: 150-289.

Emmerman, S.H.; Dawson, T.E. (1996). Hydraulic lift and its influence on the water content of the rhizosphere: An example from sugar maple, *Acer saccharum*. *Oecologia* (Berlin), 108:273–278.

FAO (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos.

FAO (1995). Soils Bulletin. No 72. Rome: Food and Agriculture Organization. In: Water – Balance Accounting, Rockstrom, J. Working Paper No 14, pp 22.

FAO-Lempira (2002). Informe terminal: GCP/HON/0.21/NET, Desarrollo Rural del Sur de Lempira, fase II.

FAO-Lempira (2005). Informe final: El sistema Agroforestal Quesungual, una opción para el manejo de la zona seca de laderas. Honduras, pp 50.

FAO (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy.

FAO (2008). Land and Water Development Division. Crop Water Management (Maize-Bean).AGLW, Water Management Group. Rome, Italy.

FAOSTAT (2006). www.fao.org.

Falkenmark, M.; Rockström, J. (2004), Balancing Water for Humans and Nature. The New Approach in Ecohydrology. Earthscan, London, 247 pp.

Foster, G.R.; McCool D.K.;Renard K.G.; Molden H. (1981). Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Journal of Soil and Water Conservation*, pp 359.

Forsythe, W. (1985). Manual de Laboratorio de Física de Suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, IICA. San José, Costa Rica, pp 212.

French, R.J.; Schultz, J.E. (1984). Water Use Efficiency of Wheat in a Mediterranean-type Environment. I: The Relation between Yield, Water Use and Climate. *Australian Journal of Agricultural Research* 35 (6): 743-64.

- Gee, G.W.; Bauder, J.W. (1986). Particle size analysis. P 404-407. En: A. Klute (Ed.). Methods of soil analysis. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSA, Madison, WI.
- Gelbrecht J.; Lengsfeld, H.; Pöthig, R.; Opitz D. (2005). Temporal and Spatial Variation of Phosphorus Input, Retention, and Loss in Small Catchments of NE Germany. *Journal of Hydrology* 304(1/2): 151-65.
- Goovaerts, P. (1997). Geostatistic for natural resources evaluation. Oxford Univ. Press, New York.
- GS-Plus (1985). Geostatistics for the Environmental Sciences user's manual for Windows and UNIX. Data analysis Product Division, Math Soft, Michigan, USA.
- Hanks, R.J. (1992). Applied Soil Physics. (2nd Ed.). Hiedelberg, Germany, Springer, pp 210.
- Harfield, J.L.; Prueger, J.H.; Sauer, T.J. (1996). Comparison of evapotranspiration equation over different surfaces. In proceeding of the evapotranspiration and irrigation scheduling conference (ed. Camp, C.R.; Sadler, E.J.) St Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers, pp 1065-1070
- Harfield, J.L.; Sauer, T.J.; Prueger, J.H. (2001). "Managing Soils to Achieve Greater Water Use Efficiency: A Review." *Agronomy Journal* 93 (2): 271-80.
- Hargreaves, G.H.; Samani, Z.A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. Transaction of ASAE 1(2):96-99.
- Hellin, J.; Welchez, L.A.; Cherrett, I. (1999). The Quezungal system: and indigenous agroforestry system from western Honduras. *Agroforestry Systems* 46: 229-237.
- Hillel, D. (1998). Flow of Water in Unsaturated Soil. In: Environmental Soil Physics. Academic Press, London UK, pp 771.
- Holscher, D. (1995). Composition of nutrient balance in Eastern Amazonian. Goettingen Germany: Tropen und Subtropen, Heft 106.
- Horts, W.J.; Kuhne, R.; Kang, B.T. (1995). Nutrient use in *leucaena leucocephala* and *Cajanus cajan* in maize/cassava alley cropping on Terre de Barre, Benin Republic. In Alley farming research and development (ed Kang, B.T.; Osiname, A.O.; Larby, A.) Nigeria: Alley Farming Network for Tropical Africa, pp 122-136.
- Howard, S.B.; Ong, C.K.; Black, C.R. and Khan, A.A.H. (1997) Using sap flow gauges to quantify water uptake by tree roots from beneath the crop rooting zone in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 35, 15-29

- Howler, R.H. (1981). Mineral Nutrition and Fertilization of Cassava (*Manihot esculenta Crantz*). CIAT- Colombia, pp 52.
- Howler, R.H. (1989). Mineral Nutrition and Fertilization of Bean common (*Phaseolus vulgaris L.*). CIAT- Colombia, pp 48.
- Hoogmoed, W.B.; Klaij, M.C.; Brouwer, J. (1991) Infiltration, Runoff and Drainage in the Sudano-Sahelian zone. In Soil water Balance Water in the Sudano-Sahelian zone (ed. Sivakumar, M.V.K.; Wallace, C.R.; Girox, C). Proceeding of the Niamey Workshop, February, Wallingford, UK:IAHS, pp 85-98.
- Howard, P.J.A. (1977). Analysis of data from BIOLOG plates: Comments on the method of Garland and Mills. *Soil and Biology and Biochemistry* 29, 1755-1757.
- Huda, A.K.S.; Ong, C.K (1989). International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru (India).
- Hudson, N. 1982. Conservación de suelo. Reverté, s. a. Barcelona, España.
- Hulugalle, N. R.; Lal, R. (1986). Soil Water Balance of Intercropped Maize and Cowpea Grown in a Tropical Hydromorphic Soil in Western Nigeria. *American Society of Agronomy. Agron J.* 78:86:90.
- Hurni, H. (1993). Land Degradation, Famine, and Land Resource Scenarios in Ethiopia. Paper presented to the National Conference on a Disaster Prevention and Preparedness Strategy for Ethiopia, December 5-8, Addis Ababa.
- ICRAF (1995). Annual report. Nairobi, Kenya: International Centre for Research in Agroforestry.
- IICA (2007). Mapeo de las Cadenas Agroalimentarias de Maíz blanco y Frijol en Centroamérica. Proyecto red SICTA, IICA/COSUDE. Managua, Nicaragua, pp133.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2001). *Climate Change 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Third Assessment Report. Geneva.*
- Iqbal, J.; Thomasson, J.A.; Jenkins, J.N.; Owens, P.R.; Whisler, F. D. (2005). Spatial Variability Analysis of Soil Physical Properties of Alluvial Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 1338-1350.
- Jiménez, F. (1986). Balance hídrico de dos sistemas agroforestales: café-puro y café laurel en Turrialba, Costa Rica. Tesis MSc. UCR-CATIE, Turrialba, C.R. 104 págs.

- Jose, S; Gillespie, A.R.; Seifgert, J.R.; Biehle, D.J. (2000). Defining competition vector in a temperature alley cropping system in the Midwestern USA, 2. Competition for water. *Agroforestry Systems* 48: 41-59.
- Journel, A.G.; Huijbregts, C.J. (1978). *Mining geostatistics*. Academic Press. London.
- Kato, M.S.A.; Kato, O.R.; Denich, M.; Vleck, P.L.G. (1997). The effect of management of the Slashed fallow vegetation on the performance of maize, rice cowpea on acid soils of the eastern Amazon region of Brazil. In press.
- Keller, A.; Seckler, D. (2004). *Limits to Increasing the Productivity of Water in Crop Production*. Arlington, Va.: Winrock Water.
- Kho, R.M. (2000). A general tree-environment-crop interaction equation for predictive understanding of agroforestry systems *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 80, Issues 1-2, August 2000, Pages 87-100.
- Kijne, J.; Barker, R.; Molden, D. (2003). *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Lal, R. (1989). Agroforestry systems and soil surface management of a Tropical Alfisol. II. Water runoff, soil erosion, and nutrient loss. *Agroforestry Systems* 6, 97-238.
- Lal, R. (1991). Tillage and Agricultural sustainability. *Soil Till. Res.* 20, 133-146.
- Lal, R. (1994). Sustainable land use systems and soil resilience. In: *Soil resilience and sustainable land use* (ed. Greenland, D.J; Szabolcs, I.) Wallingford, UK: cab International, pp 41-67.
- Lambers, H.; Chapin, F.S.; Pons, T.L. (1998). *Plant physiological ecology*. Springer-Verlag, New York, New York, pp 540.
- Leon, L.A. (1995). *Evaluación de la fertilidad del suelo*. CIMMYT, Cali, Colombia.
- Lafolie, F.; Bruno, M.; Bruckler, L.; Ruy, S. (2000). Modeling the agricultural and environmental consequences of non-uniform irrigation on a maize crop. 2. Nitrogen balance, Unité d'Agronomie de Laon-Péronne, INRA, rue Fernand Christ, 02007 Laon Cedex, France.
- Long, S.P.; Ainsworth, E.A. Leakey, A.D.B. Nosberger, J.; Ort, D.R. (2006). Food for Thought: Lower-than-expected Crop Yield Stimulation with Rising CO₂ Concentrations. *Science* 312 (5782): 1918-21.
- Mahlooji, M.; Mousavi, S.F.; Karimi, M. (2000). The effects of water stress and planting date on yield and yield components of Pinto bean (*Phaseolus vulgaris*). *J.Sci Technol. Agric Nature Res* 4:57-68.

Matias, P. Correia, F.N.; Pereira, L.S. (1989). Influence of spatial variability of saturated hydraulic on the filtration process. In: Morel-Seytoux, H.J.Ed., *Unsaturated Flow in hydraulic. Modelling:Theory and Practice*. Kluwer. Academy Publishers, London.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment). (2005). *Living Beyond Our Means: Natural Assets and Human Well-Being*. Washington, D.C.: Island Press.

MSPC (Ministerio de Salud Pública de Colombia). (1998). Decreto 475 (Diario oficial No 43259 de 16 de Marzo de 1989, por el cual se expiden normas técnicas de Calidad de Agua Potable. Bogotá, Colombia.

Miller, P.R.; McConkey, B.G; Clayton, G.W.; Brandt, S.A.; Staricka, J.A.; Johnston, A.M.; Lafond, G.P.; Schatz, B.G.; Baltensperger, D.D.; Neil, K.E. (2002). Pulse Crop Adaptation in the northern Great Plains. *Agron J.* 94: 261-272.

MIS (2005), Análisis de los factores que influyeron en la Adopción del Sistema Agroforestal Quesungual, por los pequeños productores de la región del Sur de Lempira. Honduras. Boletín técnico No 1. Tegucigalpa, Honduras, pp 18.

Mishra, H.S.; Rathore, T.R.; Savita, U.S. (2000). Water-use efficiency of irrigated winter maize under cool wheatear conditions of India. *Irrigation Science*, 21: 27-33.

Molden, D. (2007). *Water for food Water for life: A comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. London: Earhscan, and Colombo: International Water Management Institute.pp 645.

Moran, P.A. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika* 37: 17-23.

Montenegro, G.H.; Malagon, C.D. (1990). *Propiedades Físicas de los Suelos*. Sub-Dirección Agrícola. IGAC, Bogotá, Colombia.

Monteith, J.L. (1981). Evaporation and surface temperature. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 107, 1-27.

Morgan, R.P.C. (1996). Factors influencing erosion. In : *Soil erosion and conservation*. (Ed. John Wile and Sons Ltd), New York. USA.

Mugwira, L.M.; Nyamangara J. (1998). Organic Carbon and Plant Nutrients in soils under Maize in Chinamora Communal Area, Zimbabwe; in Bergström L. and Kirchmann H. (eds); "Carbon and Nutrient Dynamics in Natural and Agricultural Tropical Ecosystems"; CAB INTERNATIONAL; UK: 15-22

Muñoz-Perea, C.G.; Allen, R.G.; Singh, S.P.; Westermann D.T.; Wright, J.L. (2007). Water use efficiency among dry bean landraces and cultivars in drought-stressed and non-stressed environments. *Springer Science, Euphytica*, 155:393-402.

Nair, P.K.R. (1993). An introduction to agroforestry. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp 499.

Narain, P.; Singh, R.K.; Sindhwal, N.S.; Joshie, P. (1998). Agroforestry for soil and water conservation in the western Hymalayan Calley Region of India. Crop and tree production. Central Soil and Water Conservation Research and Training Institute, 218, Kaulagart Road, Dehradun – 248 195, India. Kluwer 1998 ACADEMIC Publishers. Printer in the Netherlands.

Nearing, M.A.; Foster, G.R. Lane, L.J.; Finkner S.C. (1989). A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology. Transaction Am. Soc. Agricultural Engineers. 32:1587-1593.

Oldeman, L.R.; Haakkeling, R.T.A; Sombroek, W.E. (1991). World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation. An explanatory note. Global Assessment of Soil Degradation, October 1991. Second revised ed. Wageningen, Netherlands: International Soil Reference and Information Centre and United Nations Environment Programme.

Ong, C.K.; Odongo, J.C.W.; Marshall, F.M.; Black, C.R. (1991). Water use by Trees and Crop. V. Hypothesis. Agrofor. Today. 3, 7-10.

Ong, C.K.; Black, C.R. (1994). Complementarity in resource use in intercropping and agroforestry systems. In: Resource Capture by Crops (Eds. Monteith, J.L.; Scott, R.K.; Unsworth, M.H.) Nottingham University Press, Loughborough, UK, pp 255-278.

Ong, C.K.; Huxley, P. (1996). Tree-Crop Interactions, a Physiological Approach. CAB International in association with ICRAF, New York. 386p.

Ong, C.K.; Black, C.R.; Marshall, F.M.; Corlett, J.E. (1996). Principles of resources capture and utilization of light and water. In: Ong CK and Huxley P (eds) Tree-Crops Interactions: A Physiological Approach,. CAB International, Wallingford, UK. pp 73–158

Ong, C.K.; Leakey, R.R.B. (1999). Why tree–crop interactions in agroforestry appear at odds with tree–grass interactions in tropical savannahs. Agroforestry Systems 45, 109–129.

Ong, C.K.; Rao, M.R.; Mathur, M. (1992). Trees and crops — competition for resources above and below the ground. Agroforestry Today, April–June 1992

Oweis, T.; Hachum, A.; Kijne, J. (1999). Water Harvesting and Supplemental Irrigation for Improved Water Use Efficiency in Dry Areas. SWIM paper 7. Colombo: International Water Management Institute.

Passioura, J.B. (1988) Water transport in and to roots. Annual Review of Plant Physiology, Plant Molecular Biology 39 - 245.

Pretty, J.N.; Noble, A.D.; Bossio, D.; Dixon, J.; Hine, R.E.; Penning de Vries, F.W.T.; Morison, J.I.L. (2006). Resource conserving Agriculture Increases Yields in Developing Countries *Environmental Science & Technology* 40 (4):114-19.

Rao, M.R.; Nair, P.K.R.; Ong, C.K. (1997). Biophysical Interactions in Tropical Agroforestry . *Agroforestry Systems*. (In press).

Rabenhorst, M.C. (1988). Determination of organic carbon and carbonate carbon in calcareous soils using dry combustion. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:965-969.

Raintree, J.B. (1987). D & D user's manual an introduction to agroforestry diagnosis and design. ICRAF, Nairobi, 110 pp.

Reid, I.; Parkinson, R.; Twomlow, S.; Clark, A. (1990). The impact of the agricultural land use changes on soil conditions and drainage. En: Thornes, J.B. *Vegetation and Erosion*. (Ed. John Wile and Sons Ltd), New York. USA. pp 215.

Reynolds, W.D.; Elrick, D.E.; Clothier, B.E. (1985). The constant head well permeameter: effect of unsaturated flow. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 139: 173-180.

Rivera, J.H. (1999). Susceptibilidad y predicción de la erosión en los suelos de ladera de la Zona Cafetera Central de Colombia. Facultad de Minas-Universidad Nacional de Colombia-Medellín, pp 525

Rivera, M.; Amézquita, E. (2006). Efectos de diferente contenido de piedra y frecuencias de aplicación de riego en el almacenamiento de agua en el suelo y en la producción de Biomasa de Maíz (*Zea mays* L.) bajo invernadero. En: *Memorias del XIII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo (SCCS), Con énfasis en sostenibilidad del suelo y competitividad agrícola Bogotá, Colombia. Octubre, 2006.*

Ritchie, J.T.; Otter, S. (1985). Description and performance of CERES-wheat, a user-oriented wheat yield model. In: Willis WO(ed) *ARS Wheat Yield Project, USDA-ARS, ARS-38, USDA. Washington, DC, USA, pp 159–175*

Robbins, M. (2004). *Carbon Trading, Agriculture, and Poverty*. Special publication 2. World Association of Soil and Water Conservation, Bangkok.

Rockström, J. (2001). Water-Balance Accounting for designing and Planning rainwater-harvesting Systems for Supplementary Irrigation. Working Paper No 14.

Rockström, J.; Barron, J.; Fox, P. (2003). Water Productivity in Rain-fed Agriculture: Challenges and opportunities for smallholder Farmers in Drought – prone Tropical Agroecosystems. In: Kijne, J.W.; Barker, R.; Malden, D., eds. *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. Wallingford, UK, and Colombo: CABI Publishing and International Water Management Institute.

- Russell, E.W. (1988). *Soil Conditions and Plant Growth*, 11th edition. Longman Scientific & Technical, Essex, England.
- Sanchez, P.A.; Palm, C.A.; Davey, C.B.; Szott, L.T.; Russell, C.E. (1985). Trees as soil improvers in the humid tropic? In *Trees as crop plants* (ed. Cannell M.G.R.; Jackson, J.E.). Huntingdon, UK: Institute Of terrestrial Ecology, pp 327-358.
- SAS Institute (1996). *SAS systems for information delivery for Windows*. Release 6.12. SAS Ins., Cary NC.
- Sayre, K.D.; Rajaram, S.; Fischer, R.A. (1997). Yield Potential Progress in Short Bread Wheat's in Northwest Mexico. *Crop Science* 37 (1): 36-42.
- Scherr, S.J. (2000). *Poverty- Environment Interactions in Agriculture: Keys Factors and Policy Implications*. Paper 3. United Nations Development Program and European Community, Policy and Environment Initiative, New York.
- Seckler, D. (1996). *The New Era of Water Resources Management: From 'Dry' to 'Wet' Water Saving*. Research Report 1. Colombo: International Irrigation Management Institute.
- Shapiro, S.S.; Wilk, M.B.(1965). An analysis of variance test for normality. *Biometrika*, 52: 691-710.
- Sheldrick, W.F., Syers, J.K.; Lingard, J. (2002). A Conceptual Model for Conducting Nutrient Audits and the National, Regional, and Global Scales. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 62(1): 61 -72.
- Smaling, E.M.A. 1993. *An Agro-ecological Framework for Integrated Nutrient Management*. Ph.D. thesis. Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands.
- Somarriba, M; Obando, M. Beltran, J.A. (2005). *Manual de métodos sencillos para estimar erosión hídrica (basado en experiencias nacionales)*.
- Steduto, P.; Albrizio, R. (2005). "Resource-use Efficiency of Field-grown Sunflower, Sorghum, Wheat and Chickpea. II. Water Use Efficiency and Comparison with Radiation Use Efficiency". *Agricultural and Forest Meteorology* 130 (2005): 269-81.
- Singh, R.P.; Ong, C.K.; Saharan N. (1989). Above and below ground interactions in alley cropping in semiarid India. *Agroforestry Systems* 9: 259–274.
- Stoorvogel, J.J.; Smaling, E.M.E. (1990). *Assessment of soil nutrient depletions in Sub-sahara Africa*. Wageningen, NL: The Winand Staring Centre (Report 28, Vols I-IV)

Tanner, C.B.; Sinclair, T.R. (1983). Efficient Water Use in Crop Production: Research or Re-search? In H.M. Taylor, W.A. Jordan, and T.R. Sinclair, eds., *Limitations to Efficient Water Use in crop Production*. Madison, Wisc.: American society of Agronomy.

Taiz, L.; Zeiger, E. (1991). *Plant physiology*. Redwood City. The Benjamin/Cumming Publish Company, pp 559.

Tinley, K.L. 1982. The influence of soil moisture balance on ecosystem patterns in southern Africa, p. 175-192. In: B.J. Huntley and B.H. Walker (eds.), *Ecology of tropical savannas*, Springer-Verlag, Berlin.

Tisdall, J.M.; Oades, J.M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-163

Tisdale, S.L.; Nelson, W.L.; Beaten, J.D.; Havlin, J.L. (1993). *Soil Acidity and Basicity*. In: *Soil Fertility and Fertilizers*. Mc Millan Publishing Company. 866 Third Avenue, New York pp 634.

Torres, E.A. (2000). Evaluación de la susceptibilidad a la erosión y de las características asociadas (infiltración y escorrentía) mediante un minisimulador de lluvia. Universidad Nacional de Colombia-Facultad de ingeniería Agrícola. Palmira, Colombia, pp 130.

Tsegaye, T; Hill, R.L. (1998). Intensive tillage effects on spatial variability of soil properties. *Soil Sci.* 163: 143-154.

Trangmar, B.B.; Yost R.S.; Uehara. (1985). Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agron.* 38:45-93.

UNEP (United Nations Environment Programme). (1999). *Global Environmental Outlook 2000*. Nairobi.

Valentin, C.; Bresson, L.M. (1997). Soil crusting. In R. Lal, W.E.H. Blum, C. Valentin, and B.A. Stewart, eds., "Methodology for Assessment of soil Degradation." Boca Ratón, CRC.

Vieira, S.R.; Nielsen, R.S.; Biggar, J.W. (1981). Spatial Variability of field-measured infiltration rate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:1040-1048.

Viets, F.G., Jr. (1962). Fertilizers and the Efficient Use of Water. *Advances in Agronomy* 14: 223-64.

Vleck, P.L.G.; Kuhne, F.; Denich, M. (1997). Nutrient resources for crop production in the tropics. Institute of Agriculture in the tropics, University of Goetting, Grisebachstrasse 6, D-37077 Goetting, Germany

Vleck, P.L.G. (1985). Micronutrients in the tropical food crop production. In: *Micronutrient soil testing for the Tropics*. International Fertilizer Development Centre Muscle Shoals, Alabama. *Fertilizers Research*, Vol 7. pp 259.

Wallace, J.S. (1996). The water balance of mixed tree-crop systems. In: Ong CK and Huxley P (eds) *Tree-Crop Interactions: A Physiological Approach*, CAB International, Wallingford, UK, pp 189–234.

Wallace, J.S. (1991). The measurement and modeling of evaporation from semi-arid land. In: *Soil water balance in the Sudano-Sahelian zone* (ed. Sivakumar, M.V.K.; Wallace, C.R.; Giroux, C.). Proceeding of the Niamey Workshop, February, Wallingford, UK: IAHS, pp 131-138.

Welchez, L.A.; Ayarza, M.; Amézquita, E.; Barrios, E.; Rondón, M.; Castro, A.; Rivera, M.; Ferreira, O.; Pavón J.; Rao, I. (2006). Quesungual Slash and Mulch Agroforestry System. *In: Annual Report-TSBF Institute; Integrated Soil Fertility Management in the Tropic*, pp 308.

Willey, R.W. (1990). Resource use in intercropping systems. *Agric. Water Manage.* 17:215-231.

Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide for conservation planning. United States Department of Agriculture, USDA, Agriculture Handbook N° 282.

Wood, S., K. Sebastian,; S.J. Scherr. 2000. "Soil Resource Condition." In S. Wood, K. Sebastian, and S.J. Scherr, eds., *Pilot Analysis of Global Ecosystems*. Washington, D.C.: IFPRI and World Resources Institute.

WWAP (World Water Assessment Program). 2003. *Water for People, Water for Life*. Barcelona, Spain: UNESCO Publishing and Berghahn Books.

Young, A. (1997). *Agroforestry for soil management*. CAB International and ICRAF, USA, pp 320.

Young, A. (1989). *Agroforestry for soil conservation*. Wallingford, UK. C.A.B. International/ICRAF, pp 276.

Yu G.R.; Wang, Q.F.; Zhuang, J. (2004). Modeling the water use efficiency of soybean and maize plants under environmental stresses: application of a synthetic model of photosynthesis-transpiration based on stomatal behavior. *Journal of Plant Physiology*, v.161(3):303-318.

Zwart, S.J.; Bastiaanssen, W.G.M.(2004). Review of Measured Crop Water Productivity Values for Irrigated Wheat, Rice, Cotton and Maize. *Agricultural Water Management* 69 (2): 115-33.

A N E X O S

ANEXO 1.

- 1.1 Correlaciones múltiples entre propiedades físicas, químicas é índices de erodabilidad, durante las épocas lluviosa y seca.

Fecha=19AG-06SEP-2006 (CORRELACIONES ÉPOCA LLUVIOSA)1

The CORR Procedure

Pearson Correlation Coefficients, N = 54

Prob > |r| under H0: Rho=0

	pend	k1	k2	hi	hf	tie	tha	lit	let	tha1	hc	da	dr	ptot	g1	g2	g3	g4
pend	1	0.38237	0.43371	-0.20055	-0.0725	-0.34515	0.30402	-0.31572	0.17729	0.30337	-0.32265	-0.49127	-0.07206	0.45571	0.4726	0.17426	0.16663	-0.02578
		0.0043	0.0011	0.1459	0.6024	0.0106	0.0254	0.02	0.1997	0.0257	0.0173	0.0002	0.6046	0.0005	0.0003	0.2076	0.2285	0.8532
k1	0.38237	1	0.99583	-0.1928	-0.23921	-0.40099	0.88841	-0.27597	0.30516	0.88811	-0.21789	-0.24446	0.1656	0.27391	0.20735	-0.00145	0.10919	-0.0933
	0.0043		<.0001	0.1625	0.0815	0.0027	<.0001	0.0434	0.0248	<.0001	0.1135	0.0748	0.2314	0.045	0.1325	0.9917	0.4319	0.5022
k2	0.43371	0.99583	1	-0.19828	-0.2388	-0.3962	0.86154	-0.30053	0.27863	0.86123	-0.22393	-0.26586	0.1482	0.28935	0.23018	0.01012	0.11737	-0.09635
	0.0011	<.0001		0.1506	0.082	0.003	<.0001	0.0272	0.0413	<.0001	0.1036	0.052	0.2848	0.0338	0.094	0.9421	0.398	0.4883
hi	-0.20055	-0.1928	-0.19828	1	0.76905	0.16155	-0.13141	0.22667	-0.27422	-0.13103	-0.25201	-0.10241	-0.15747	0.06445	0.21154	0.53294	0.4371	0.45928
	0.1459	0.1625	0.1506		<.0001	0.2432	0.3435	0.0993	0.0448	0.345	0.066	0.4612	0.2555	0.6434	0.1246	<.0001	0.001	0.0005
hf	-0.0725	-0.23921	-0.2388	0.76905	1	0.37972	-0.19984	0.26832	-0.40782	-0.19993	-0.26607	-0.09154	-0.21423	0.04213	0.21182	0.42852	0.29036	0.38846
	0.6024	0.0815	0.082	<.0001		0.0046	0.1474	0.0498	0.0022	0.1472	0.0518	0.5103	0.1198	0.7623	0.1241	0.0012	0.0332	0.0037
tie	-0.34515	-0.40099	-0.3962	0.16155	0.37972	1	-0.437	0.21343	-0.56558	-0.43651	-0.03096	0.29003	-0.10137	-0.31355	-0.30489	-0.30256	-0.32126	-0.17039
	0.0106	0.0027	0.003	0.2432	0.0046		0.001	0.1212	<.0001	0.001	0.8241	0.0334	0.4658	0.021	0.025	0.0262	0.0179	0.218
tha	0.30402	0.88841	0.86154	-0.13141	-0.19984	-0.437	1	-0.06855	0.48376	0.99997	-0.20753	-0.22546	0.16757	0.25645	0.20734	0.04868	0.17853	-0.0151
	0.0254	<.0001	<.0001	0.3435	0.1474	0.001		0.6223	0.0002	<.0001	0.1321	0.1012	0.2258	0.0612	0.1325	0.7267	0.1965	0.9137
lit	-0.31572	-0.27597	-0.30053	0.22667	0.26832	0.21343	-0.06855	1	-0.291	-0.06812	-0.01542	0.14361	-0.01828	-0.14347	-0.10848	-0.08738	-0.10998	0.01072
	0.02	0.0434	0.0272	0.0993	0.0498	0.1212	0.6223		0.0328	0.6245	0.9119	0.3002	0.8956	0.3007	0.4349	0.5298	0.4285	0.9387
let	0.17729	0.30516	0.27863	-0.27422	-0.40782	-0.56558	0.48376	-0.291	1	0.48519	0.05565	-0.07875	0.00718	0.0721	0.01621	-0.00593	0.02959	-0.11525
	0.1997	0.0248	0.0413	0.0448	0.0022	<.0001	0.0002	0.0328		0.0002	0.6894	0.5714	0.9589	0.6044	0.9074	0.9661	0.8318	0.4066
tha1	0.30337	0.88811	0.86123	-0.13103	-0.19993	-0.43651	0.99997	-0.06812	0.48519	1	-0.20607	-0.22607	0.16653	0.25676	0.20699	0.04762	0.17765	-0.01573
	0.0257	<.0001	<.0001	0.345	0.1472	0.001	<.0001	0.6245	0.0002		0.1349	0.1002	0.2288	0.0609	0.1332	0.7324	0.1987	0.9101
hc	-0.32265	-0.21789	-0.22393	-0.25201	-0.26607	-0.03096	-0.20753	-0.01542	0.05565	-0.20607	1	0.12462	-0.30849	-0.21757	-0.21816	-0.09708	0.02654	0.16478
	0.0173	0.1135	0.1036	0.066	0.0518	0.8241	0.1321	0.9119	0.6894	0.1349		0.3693	0.0232	0.114	0.113	0.485	0.8489	0.2338
da	-0.49127	-0.24446	-0.26586	-0.10241	-0.09154	0.29003	-0.22546	0.14361	-0.07875	-0.22607	0.12462	1	0.14844	-0.9533	-0.92453	-0.5281	-0.49346	-0.34964
	0.0002	0.0748	0.052	0.4612	0.5103	0.0334	0.1012	0.3002	0.5714	0.1002	0.3693		0.2841	<.0001	<.0001	<.0001	0.0001	0.0096
dr	-0.07206	0.1656	0.1482	-0.15747	-0.21423	-0.10137	0.16757	-0.01828	0.00718	0.16653	-0.30849	0.14844	1	0.15379	0.00409	-0.05892	-0.15688	-0.26735
	0.6046	0.2314	0.2848	0.2555	0.1198	0.4658	0.2258	0.8956	0.9589	0.2288	0.0232	0.2841		0.2669	0.9766	0.6721	0.2573	0.0507
ptot	0.45571	0.27391	0.28935	0.06445	0.04213	-0.31355	0.25645	-0.14347	0.0721	0.25676	-0.21757	-0.9533	0.15379	1	0.92614	0.51848	0.43884	0.26976
	0.0005	0.045	0.0338	0.6434	0.7623	0.021	0.0612	0.3007	0.6044	0.0609	0.114	<.0001	0.2669		<.0001	<.0001	0.0009	0.0485
g1	0.4726	0.20735	0.23018	0.21154	0.21182	-0.30489	0.20734	-0.10848	0.01621	0.20699	-0.21816	-0.92453	0.00409	0.92614	1	0.7105	0.60872	0.40009
	0.0003	0.1325	0.094	0.1246	0.1241	0.025	0.1325	0.4349	0.9074	0.1332	0.113	<.0001	0.9766	<.0001		<.0001	<.0001	0.0027
g2	0.17426	-0.00145	0.01012	0.53294	0.42852	-0.30256	0.04868	-0.08738	-0.00593	0.04762	-0.09708	-0.5281	-0.05892	0.51848	0.7105	1	0.8714	0.72013
	0.2076	0.9917	0.9421	<.0001	0.0012	0.0262	0.7267	0.5298	0.9661	0.7324	0.485	<.0001	0.6721	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001
g3	0.16663	0.10919	0.11737	0.4371	0.29036	-0.32126	0.17853	-0.10998	0.02959	0.17765	0.02654	-0.49346	-0.15688	0.43884	0.60872	0.8714	1	0.87186
	0.2285	0.4319	0.398	0.001	0.0332	0.0179	0.1965	0.4285	0.8318	0.1987	0.8489	0.0001	0.2573	0.0009	<.0001	<.0001		<.0001
g4	-0.02578	-0.0933	-0.09635	0.45928	0.38846	-0.17039	-0.0151	0.01072	-0.11525	-0.01573	0.16478	-0.34964	-0.26735	0.26976	0.40009	0.72013	0.87186	1
	0.8532	0.5022	0.4883	0.0005	0.0037	0.218	0.9137	0.9387	0.4066	0.9101	0.2338	0.0096	0.0507	0.0485	0.0027	<.0001	<.0001	

fecha=19AG-06SEP-2006 (CORRELACIONES ÉPOCA LLUVIOSA)2

The CORR Procedure

Pearson Correlation Coefficients, N = 54

Prob > |r| under H0: Rho=0

	pend	k1	k2	v1	v2	v3	v4	macro	meso	micro	per75	per1000	per15000	dai	daf	chs	sus
pend	1	0.38237	0.43371	0.29802	-0.36841	-0.37044	-0.27457	-0.36873	0.46729	0.01645	-0.36874	0.45771	0.55357	0.55357	0.6821	-0.50658	-0.19146
		0.0043	0.0011	0.0286	0.0061	0.0058	0.0445	0.0061	0.0004	0.906	0.0061	0.0005	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.1655
k1	0.38237	1	0.99583	0.03382	-0.27131	-0.23629	-0.12263	-0.24677	0.30445	-0.02189	-0.24665	0.13695	0.20885	0.20885	0.31663	-0.22726	-0.09761
	0.0043		<.0001	0.8081	0.0472	0.0854	0.377	0.072	0.0252	0.8752	0.0722	0.3234	0.1296	0.1296	0.0197	0.0984	0.4826
k2	0.43371	0.99583	1	0.05145	-0.28371	-0.2503	-0.13284	-0.2645	0.32025	-0.01405	-0.26439	0.15551	0.22936	0.22936	0.34106	-0.25773	-0.11314
	0.0011	<.0001		0.7118	0.0376	0.0679	0.3383	0.0533	0.0182	0.9197	0.0534	0.2615	0.0952	0.0952	0.0116	0.0599	0.4153
v1	0.29802	0.03382	0.05145	1	0.28574	0.23533	0.2495	0.08021	0.12636	0.26911	0.08003	0.00334	0.03681	0.03681	0.06694	-0.44419	-0.47751
	0.0286	0.8081	0.7118		0.0362	0.0867	0.0688	0.5642	0.3626	0.0491	0.5651	0.9809	0.7916	0.7916	0.6306	0.0008	0.0003
v2	-0.36841	-0.27131	-0.28371	0.28574	1	0.95939	0.85444	0.72601	-0.85747	0.33224	0.72583	-0.7495	-0.72722	-0.72722	-0.70276	0.46621	0.15765
	0.0061	0.0472	0.0376	0.0362		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0141	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0004	0.2549
v3	-0.37044	-0.23629	-0.2503	0.23533	0.95939	1	0.95574	0.87871	-0.81478	0.06891	0.87858	-0.67315	-0.67374	-0.67374	-0.65263	0.41871	0.08611
	0.0058	0.0854	0.0679	0.0867	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.6205	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0016	0.5359
v4	-0.27457	-0.12263	-0.13284	0.2495	0.85444	0.95574	1	0.88941	-0.69454	-0.08506	0.88927	-0.56432	-0.5504	-0.5504	-0.51722	0.29043	-0.02252
	0.0445	0.377	0.3383	0.0688	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	0.5408	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0331	0.8716
macro	-0.36873	-0.24677	-0.2645	0.08021	0.72601	0.87871	0.88941	1	-0.61696	-0.40742	1	-0.41449	-0.48392	-0.48392	-0.49804	0.30367	-0.0161
	0.0061	0.072	0.0533	0.5642	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	0.0022	<.0001	0.0018	0.0002	0.0002	0.0001	0.0256	0.908
meso	0.46729	0.30445	0.32025	0.12636	-0.85747	-0.81478	-0.69454	-0.61696	1	-0.29271	-0.61682	0.84542	0.82104	0.82104	0.78333	-0.68985	-0.43308
	0.0004	0.0252	0.0182	0.3626	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		0.0317	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0011
micro	0.01645	-0.02189	-0.01405	0.26911	0.33224	0.06891	-0.08506	-0.40742	-0.29271	1	-0.40765	-0.42697	-0.30213	-0.30213	-0.25037	0.20272	0.23112
	0.906	0.8752	0.9197	0.0491	0.0141	0.6205	0.5408	0.0022	0.0317		0.0022	0.0013	0.0264	0.0264	0.0679	0.1415	0.0927
per75	-0.36874	-0.24665	-0.26439	0.08003	0.72583	0.87858	0.88927	1	-0.61682	-0.40765	1	-0.41438	-0.48388	-0.48388	-0.49798	0.30371	-0.01604
	0.0061	0.0722	0.0534	0.5651	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0022		0.0018	0.0002	0.0002	0.0001	0.0256	0.9083
per1000	0.45771	0.13695	0.15551	0.00334	-0.7495	-0.67315	-0.56432	-0.41449	0.84542	-0.42697	-0.41438	1	0.89697	0.89697	0.86357	-0.65542	-0.44652
	0.0005	0.3234	0.2615	0.9809	<.0001	<.0001	<.0001	0.0018	<.0001	0.0013	0.0018		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0007
per15000	0.55357	0.20885	0.22936	0.03681	-0.72722	-0.67374	-0.5504	-0.48392	0.82104	-0.30213	-0.48388	0.89697	1	1	0.94766	-0.67658	-0.41131
	<.0001	0.1296	0.0952	0.7916	<.0001	<.0001	<.0001	0.0002	<.0001	0.0264	0.0002	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	0.002
dai	0.55357	0.20885	0.22936	0.03681	-0.72722	-0.67374	-0.5504	-0.48392	0.82104	-0.30213	-0.48388	0.89697	1	1	0.94766	-0.67658	-0.41131
	<.0001	0.1296	0.0952	0.7916	<.0001	<.0001	<.0001	0.0002	<.0001	0.0264	0.0002	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.002
daf	0.6821	0.31663	0.34106	0.06694	-0.70276	-0.65263	-0.51722	-0.49804	0.78333	-0.25037	-0.49798	0.86357	0.94766	0.94766	1	-0.63443	-0.33683
	<.0001	0.0197	0.0116	0.6306	<.0001	<.0001	<.0001	0.0001	<.0001	0.0679	0.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0128
chs	-0.50658	-0.22726	-0.25773	-0.44419	0.46621	0.41871	0.29043	0.30367	-0.68985	0.20272	0.30371	-0.65542	-0.67658	-0.67658	-0.63443	1	0.82257
	<.0001	0.0984	0.0599	0.0008	0.0004	0.0016	0.0331	0.0256	<.0001	0.1415	0.0256	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
sus	-0.19146	-0.09761	-0.11314	-0.47751	0.15765	0.08611	-0.02252	-0.0161	-0.43308	0.23112	-0.01604	-0.44652	-0.41131	-0.41131	-0.33683	0.82257	1
	0.1655	0.4826	0.4153	0.0003	0.2549	0.5359	0.8716	0.908	0.0011	0.0927	0.9083	0.0007	0.002	0.002	0.0128	<.0001	

fecha=19AG-06SEP-2006 (CORRELACIONES ÉPOCA LLUVIOSA)3

The CORR Procedure

Pearson Correlation Coefficients, N = 54

Prob > |r| under H0: Rho=0

	k1	k2	presid	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	ea1	ea2	ea3	ea4	ea5	ea6	ar	li	arc	
k1	1.000	0.996	0.277	0.072	0.043	0.043	-0.122	-0.077	-0.057	-0.079	-0.095	0.029	0.261	0.059	0.040	-0.236	-0.345	-0.188	-0.094	0.309	-0.251
k2		1.000	0.311	0.074	0.041	0.041	-0.119	-0.074	-0.056	-0.081	-0.105	0.018	0.279	0.059	0.053	-0.228	-0.361	-0.212	-0.094	0.328	-0.273
presid			1.000	-0.125	0.215	0.303	0.100	0.014	0.018	-0.097	-0.197	0.135	0.183	0.409	0.097	-0.268	-0.211	0.272	-0.061	-0.229	
t1				1.000	0.062	-0.851	-0.932	-0.921	-0.913	-0.857	-0.658	0.668	-0.137	-0.399	-0.394	-0.257	-0.695	-0.435	0.649	-0.266	
t2					1.000	0.091	-0.365	-0.391	-0.417	-0.459	-0.483	0.187	0.751	0.464	-0.207	-0.290	-0.294	-0.161	-0.050	0.235	
t3						1.000	0.801	0.682	0.665	0.595	0.229	-0.614	0.196	0.577	0.591	0.317	0.489	0.454	-0.677	0.277	
t4							1.000	0.964	0.936	0.873	0.693	-0.678	-0.116	0.299	0.503	0.327	0.704	0.412	-0.566	0.195	
t5								1.000	0.970	0.912	0.789	-0.638	-0.142	0.142	0.347	0.294	0.735	0.369	-0.515	0.184	
t6									1.000	0.975	0.794	-0.638	-0.131	0.136	0.331	0.296	0.737	0.494	-0.554	0.091	
t7										1.000	0.807	-0.613	-0.180	0.045	0.284	0.319	0.727	0.497	-0.542	0.075	
t8											1.000	-0.467	-0.199	-0.094	0.115	0.166	0.651	0.202	-0.278	0.097	
ea1												1.000	-0.069	-0.253	-0.697	-0.770	-0.914	-0.176	0.469	-0.344	
ea2													1.000	0.620	0.064	<.0001	<.0001	<.0001	0.202	0.000	0.011
ea3														1.000	0.497	-0.137	0.043	0.201	-0.240	0.054	
ea4															1.000	0.633	0.403	0.147	-0.229	0.101	
ea5																1.000	0.595	-0.029	-0.206	0.268	
ea6																	1.000	0.188	-0.496	0.362	
ar																		1.000	-0.606	-0.407	
li																			1.000	-0.480	
arc																				1.000	

fecha=19AG-06SEP-2006 (CORRELACIONES ÉPOCA LLUVIOSA)4

Pearson Correlation Coefficients, N = 54

Prob > |r| under H0: Rho=0

	k1	k2	ph	ntot	c	p	k	ca	mg	b	fe	mn	cu	zn	awc
k1	1	0.99583	0.31588	0.13436	0.21231	0.19682	0.03451	0.10227	-0.22926	0.38075	-0.20349	0.07606	-0.25073	0.12057	0.06601
		<.0001	0.02	0.3327	0.1233	0.1537	0.8043	0.4618	0.0954	0.0045	0.14	0.5846	0.0674	0.3852	0.6353
k2	0.99583	1	0.32083	0.14652	0.2243	0.1948	0.03109	0.11526	-0.22144	0.37897	-0.233	0.07595	-0.27014	0.11307	0.07636
	<.0001		0.018	0.2904	0.103	0.1581	0.8234	0.4066	0.1076	0.0047	0.09	0.5852	0.0482	0.4156	0.5832
ph	0.31588	0.32083	1	0.24461	0.25053	0.45945	0.38134	0.34221	-0.02078	0.57287	-0.53412	0.28177	-0.27918	0.26434	0.08265
	0.02	0.018		0.0746	0.0677	0.0005	0.0044	0.0113	0.8814	<.0001	<.0001	0.039	0.0409	0.0534	0.5524
ntot	0.13436	0.14652	0.24461	1	0.85915	0.4157	0.51952	-0.08895	-0.41467	0.4639	-0.45608	0.06751	-0.47039	0.04376	-0.1837
	0.3327	0.2904	0.0746		<.0001	0.0018	<.0001	0.5224	0.0018	0.0004	0.0005	0.6277	0.0003	0.7534	0.1836
c	0.21231	0.2243	0.25053	0.85915	1	0.51291	0.62903	-0.02512	-0.39984	0.61525	-0.56206	-0.1795	-0.44795	-0.14422	-0.1803
	0.1233	0.103	0.0677	<.0001		<.0001	<.0001	0.8569	0.0027	<.0001	<.0001	0.194	0.0007	0.2981	0.192
p	0.19682	0.1948	0.45945	0.4157	0.51291	1	0.64853	0.17761	-0.22819	0.80423	-0.35445	-0.13787	-0.32417	-0.01713	-0.16902
	0.1537	0.1581	0.0005	0.0018	<.0001		<.0001	0.1988	0.097	<.0001	0.0085	0.3201	0.0168	0.9022	0.2218
k	0.03451	0.03109	0.38134	0.51952	0.62903	0.64853	1	-0.11573	-0.18207	0.64827	-0.36085	-0.15061	-0.22187	-0.18469	-0.38948
	0.8043	0.8234	0.0044	<.0001	<.0001	<.0001		0.4046	0.1876	<.0001	0.0073	0.277	0.1069	0.1812	0.0036
ca	0.10227	0.11526	0.34221	-0.08895	-0.02512	0.17761	-0.11573	1	0.55219	0.12622	-0.57901	-0.0704	-0.21002	-0.09032	0.12608
	0.4618	0.4066	0.0113	0.5224	0.8569	0.1988	0.4046		<.0001	0.3631	<.0001	0.613	0.1274	0.516	0.3636
mg	-0.22926	-0.22144	-0.02078	-0.41467	-0.39984	-0.22819	-0.18207	0.55219	1	-0.30541	0.01583	-0.052	0.44233	-0.1651	-0.14142
	0.0954	0.1076	0.8814	0.0018	0.0027	0.097	0.1876	<.0001		0.0247	0.9096	0.7088	0.0008	0.2328	0.3077
b	0.38075	0.37897	0.57287	0.4639	0.61525	0.80423	0.64827	0.12622	-0.30541	1	-0.3891	0.13677	-0.38495	0.10534	-0.17637
	0.0045	0.0047	<.0001	0.0004	<.0001	<.0001	<.0001	0.3631	0.0247		0.0036	0.3241	0.0041	0.4484	0.202
fe	-0.20349	-0.233	-0.53412	-0.45608	-0.56206	-0.35445	-0.36085	-0.57901	0.01583	-0.3891	1	0.15816	0.60893	0.10684	-0.14836
	0.14	0.09	<.0001	0.0005	<.0001	0.0085	0.0073	<.0001	0.9096	0.0036		0.2534	<.0001	0.4419	0.2843
mn	0.07606	0.07595	0.28177	0.06751	-0.1795	-0.13787	-0.15061	-0.0704	-0.052	0.13677	0.15816	1	-0.05483	0.52783	-0.01072
	0.5846	0.5852	0.039	0.6277	0.194	0.3201	0.277	0.613	0.7088	0.3241	0.2534		0.6938	<.0001	0.9387
cu	-0.25073	-0.27014	-0.27918	-0.47039	-0.44795	-0.32417	-0.22187	-0.21002	0.44233	-0.38495	0.60893	-0.05483	1	-0.23484	-0.1055
	0.0674	0.0482	0.0409	0.0003	0.0007	0.0168	0.1069	0.1274	0.0008	0.0041	<.0001	0.6938		0.0874	0.4477
zn	0.12057	0.11307	0.26434	0.04376	-0.14422	-0.01713	-0.18469	-0.09032	-0.1651	0.10534	0.10684	0.52783	-0.23484	1	0.00628
	0.3852	0.4156	0.0534	0.7534	0.2981	0.9022	0.1812	0.516	0.2328	0.4484	0.4419	<.0001	0.0874		0.964
awc	0.06601	0.07636	0.08265	-0.1837	-0.1803	-0.16902	-0.38948	0.12608	-0.14142	-0.17637	-0.14836	-0.01072	-0.1055	0.00628	1
	0.6353	0.5832	0.5524	0.1836	0.192	0.2218	0.0036	0.3636	0.3077	0.202	0.2843	0.9387	0.4477	0.964	

fecha=19EN-06FEB-2007(CORRELACIONES ÉPOCA SECA)1

The CORR Procedure

Pearson Correlation Coefficients, N = 54

Prob > |r| under H0: Rho=0

	pend	k1	k2	hi	hf	tie	tha	lit	let	tha1	hc	da	dr	ptot	g1	g2	g3	g4
pend	1	0.37251	0.42425	0.0223	-0.13723	-0.46495	0.32637	-0.25043	0.41103	0.32521	-0.32265	-0.49127	-0.07206	0.45571	0.4726	0.17426	0.16663	-0.02578
		0.0055	0.0014	0.8728	0.3224	0.0004	0.016	0.0678	0.002	0.0164	0.0173	0.0002	0.6046	0.0005	0.0003	0.2076	0.2285	0.8532
k1	0.37251	1	0.9972	-0.13891	-0.10428	-0.39157	0.90481	-0.09352	0.38304	0.90475	-0.1901	-0.19502	-0.17358	0.1423	0.12783	0.03697	-0.09814	-0.20551
	0.0055		<.0001	0.3165	0.453	0.0034	<.0001	0.5012	0.0043	<.0001	0.1686	0.1576	0.2094	0.3047	0.357	0.7907	0.4802	0.136
k2	0.42425	0.9972	1	-0.13235	-0.11286	-0.39409	0.8863	-0.12565	0.38031	0.88613	-0.19636	-0.22098	-0.1732	0.16753	0.15506	0.05176	-0.08148	-0.19832
	0.0014	<.0001		0.3401	0.4165	0.0032	<.0001	0.3653	0.0046	<.0001	0.1547	0.1083	0.2104	0.226	0.2629	0.7101	0.5581	0.1506
hi	0.0223	-0.13891	-0.13235	1	0.16041	-0.0163	-0.1431	-0.08481	0.16062	-0.14005	-0.003	-0.20099	-0.06456	0.1804	0.29253	0.40974	0.49718	0.54964
	0.8728	0.3165	0.3401		0.2466	0.9069	0.3019	0.542	0.2459	0.3125	0.9828	0.145	0.6428	0.1918	0.0318	0.0021	0.0001	<.0001
hf	-0.13723	-0.10428	-0.11286	0.16041	1	-0.0426	-0.09632	0.18535	-0.25034	-0.09636	0.2087	0.02119	-0.36129	-0.13609	-0.14285	-0.10554	0.09914	0.20769
	0.3224	0.453	0.4165	0.2466		0.7597	0.4884	0.1796	0.0679	0.4882	0.1299	0.8791	0.0073	0.3265	0.3028	0.4475	0.4757	0.1318
tie	-0.46495	-0.39157	-0.39409	-0.0163	-0.0426	1	-0.50559	-0.34795	-0.75318	-0.50698	0.33781	0.19917	-0.05751	-0.20919	-0.16063	0.01836	0.05223	0.09222
	0.0004	0.0034	0.0032	0.9069	0.7597		<.0001	0.0099	<.0001	<.0001	0.0125	0.1488	0.6795	0.129	0.2459	0.8952	0.7076	0.5072
tha	0.32637	0.90481	0.8863	-0.1431	-0.09632	-0.50559	1	0.17441	0.53883	0.99987	-0.17246	-0.21123	-0.18005	0.15634	0.15625	0.04098	-0.08462	-0.18485
	0.016	<.0001	<.0001	0.3019	0.4884	<.0001		0.2072	<.0001	<.0001	0.2124	0.1252	0.1926	0.2589	0.2592	0.7686	0.5429	0.1808
lit	-0.25043	-0.09352	-0.12565	-0.08481	0.18535	-0.34795	0.17441	1	0.16147	0.17577	0.0643	0.07948	-0.02276	-0.08543	-0.07692	-0.02054	-0.01307	-0.015
	0.0678	0.5012	0.3653	0.542	0.1796	0.0099	0.2072		0.2434	0.2036	0.6442	0.5678	0.8702	0.5391	0.5804	0.8828	0.9252	0.9143
let	0.41103	0.38304	0.38031	0.16062	-0.25034	-0.75318	0.53883	0.16147	1	0.54163	-0.267	-0.16545	0.15307	0.2106	0.17231	0.06535	0.00792	0.00431
	0.002	0.0043	0.0046	0.2459	0.0679	<.0001	<.0001	0.2434		<.0001	0.051	0.2318	0.2691	0.1264	0.2128	0.6387	0.9547	0.9753
tha1	0.32521	0.90475	0.88613	-0.14005	-0.09636	-0.50698	0.99987	0.17577	0.54163	1	-0.17019	-0.20683	-0.18104	0.15178	0.15291	0.03966	-0.0865	-0.18538
	0.0164	<.0001	<.0001	0.3125	0.4882	<.0001	<.0001	0.2036	<.0001		0.2185	0.1335	0.1902	0.2732	0.2697	0.7758	0.534	0.1796
hc	-0.32265	-0.1901	-0.19636	-0.003	0.2087	0.33781	-0.17246	0.0643	-0.267	-0.17019	1	0.12462	-0.30849	-0.21757	-0.21816	-0.09708	0.02654	0.16478
	0.0173	0.1686	0.1547	0.9828	0.1299	0.0125	0.2124	0.6442	0.051	0.2185		0.3693	0.0232	0.114	0.113	0.485	0.8489	0.2338
da	-0.49127	-0.19502	-0.22098	-0.20099	0.02119	0.19917	-0.21123	0.07948	-0.16545	-0.20683	0.12462	1	0.14844	-0.9533	-0.92453	-0.5281	-0.49346	-0.34964
	0.0002	0.1576	0.1083	0.145	0.8791	0.1488	0.1252	0.5678	0.2318	0.1335	0.3693		0.2841	<.0001	<.0001	<.0001	0.0001	0.0096
dr	-0.07206	-0.17358	-0.1732	-0.06456	-0.36129	-0.05751	-0.18005	-0.02276	0.15307	-0.18104	-0.30849	0.14844	1	0.15379	0.00409	-0.05892	-0.15688	-0.26735
	0.6046	0.2094	0.2104	0.6428	0.0073	0.6795	0.1926	0.8702	0.2691	0.1902	0.0232	0.2841		0.2669	0.9766	0.6721	0.2573	0.0507
ptot	0.45571	0.1423	0.16753	0.1804	-0.13609	-0.20919	0.15634	-0.08543	0.2106	0.15178	-0.21757	-0.9533	0.15379	1	0.92614	0.51848	0.43884	0.26976
	0.0005	0.3047	0.226	0.1918	0.3265	0.129	0.2589	0.5391	0.1264	0.2732	0.114	<.0001	0.2669		<.0001	<.0001	0.0009	0.0485
g1	0.4726	0.12783	0.15506	0.29253	-0.14285	-0.16063	0.15625	-0.07692	0.17231	0.15291	-0.21816	-0.92453	0.00409	0.92614	1	0.7105	0.60872	0.40009
	0.0003	0.357	0.2629	0.0318	0.3028	0.2459	0.2592	0.5804	0.2128	0.2697	0.113	<.0001	0.9766	<.0001		<.0001	<.0001	0.0027
g2	0.17426	0.03697	0.05176	0.40974	-0.10554	0.01836	0.04098	-0.02054	0.06535	0.03966	-0.09708	-0.5281	-0.05892	0.51848	0.7105	1	0.8714	0.72013
	0.2076	0.7907	0.7101	0.0021	0.4475	0.8952	0.7686	0.8828	0.6387	0.7758	0.485	<.0001	0.6721	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001
g3	0.16663	-0.09814	-0.08148	0.49718	0.09914	0.05223	-0.08462	-0.01307	0.00792	-0.0865	0.02654	-0.49346	-0.15688	0.43884	0.60872	0.8714	1	0.87186
	0.2285	0.4802	0.5581	0.0001	0.4757	0.7076	0.5429	0.9252	0.9547	0.534	0.8489	0.0001	0.2573	0.0009	<.0001	<.0001		<.0001
g4	-0.02578	-0.20551	-0.19832	0.54964	0.20769	0.09222	-0.18485	-0.015	0.00431	-0.18538	0.16478	-0.34964	-0.26735	0.26976	0.40009	0.72013	0.87186	1
	0.8532	0.136	0.1506	<.0001	0.1318	0.5072	0.1808	0.9143	0.9753	0.1796	0.2338	0.0096	0.0507	0.0485	0.0027	<.0001	<.0001	

fecha=19EN-06FEB-2007(CORRELACIONES ÉPOCA SECA)2

The CORR Procedure

Pearson Correlation Coefficients, N = 54

Prob > |r| under H0: Rho=0

	pend	k1	k2	v1	v2	v3	v4	macro	meso	micro	per75	per1000	per15000	dai	daf	chs	sus
pend	1	0.37251	0.42425	0.29802	-0.36841	-0.37044	-0.27457	-0.36873	0.46729	0.01645	-0.36874	0.45771	0.55357	0.55357	0.6821	-0.50658	-0.19146
		0.0055	0.0014	0.0286	0.0061	0.0058	0.0445	0.0061	0.0004	0.906	0.0061	0.0005	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.1655
k1	0.37251	1	0.9972	-0.0822	-0.18722	-0.25749	-0.28198	-0.34245	0.18027	0.22071	-0.34239	0.1547	0.22948	0.22948	0.24592	-0.21057	0.06504
	0.0055		<.0001	0.5546	0.1752	0.0602	0.0389	0.0113	0.1921	0.1088	0.0113	0.264	0.0951	0.0951	0.0731	0.1264	0.6403
k2	0.42425	0.9972	1	-0.06059	-0.20181	-0.27017	-0.28827	-0.35321	0.20338	0.2161	-0.35315	0.17409	0.25455	0.25455	0.27746	-0.23912	0.0466
	0.0014	<.0001		0.6634	0.1434	0.0482	0.0345	0.0088	0.1402	0.1165	0.0088	0.208	0.0632	0.0632	0.0422	0.0816	0.7379
v1	0.29802	-0.0822	-0.06059	1	0.28574	0.23533	0.2495	0.08021	0.12636	0.26911	0.08003	0.00334	0.03681	0.03681	0.06694	-0.44419	-0.47751
	0.0286	0.5546	0.6634		0.0362	0.0867	0.0688	0.5642	0.3626	0.0491	0.5651	0.9809	0.7916	0.7916	0.6306	0.0008	0.0003
v2	-0.36841	-0.18722	-0.20181	0.28574	1	0.95939	0.85444	0.72601	-0.85747	0.33224	0.72583	-0.7495	-0.72722	-0.72722	-0.70276	0.46621	0.15765
	0.0061	0.1752	0.1434	0.0362		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0141	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0004	0.2549
v3	-0.37044	-0.25749	-0.27017	0.23533	0.95939	1	0.95574	0.87871	-0.81478	0.06891	0.87858	-0.67315	-0.67374	-0.67374	-0.65263	0.41871	0.08611
	0.0058	0.0602	0.0482	0.0867	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	0.6205	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0016	0.5359
v4	-0.27457	-0.28198	-0.28827	0.2495	0.85444	0.95574	1	0.88941	-0.69454	-0.08506	0.88927	-0.56432	-0.5504	-0.5504	-0.51722	0.29043	-0.02252
	0.0445	0.0389	0.0345	0.0688	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	0.5408	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0331	0.8716
macro	-0.36873	-0.34245	-0.35321	0.08021	0.72601	0.87871	0.88941	1	-0.61696	-0.40742	1	-0.41449	-0.48392	-0.48392	-0.49804	0.30367	-0.0161
	0.0061	0.0113	0.0088	0.5642	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	0.0022	<.0001	0.0018	0.0002	0.0002	0.0001	0.0256	0.908
meso	0.46729	0.18027	0.20338	0.12636	-0.85747	-0.81478	-0.69454	-0.61696	1	-0.29271	-0.61682	0.84542	0.82104	0.82104	0.78333	-0.68985	-0.43308
	0.0004	0.1921	0.1402	0.3626	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		0.0317	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0011
micro	0.01645	0.22071	0.2161	0.26911	0.33224	0.06891	-0.08506	-0.40742	-0.29271	1	-0.40765	-0.42697	-0.30213	-0.30213	-0.25037	0.20272	0.23112
	0.906	0.1088	0.1165	0.0491	0.0141	0.6205	0.5408	0.0022	0.0317		0.0022	0.0013	0.0264	0.0264	0.0679	0.1415	0.0927
per75	-0.36874	-0.34239	-0.35315	0.08003	0.72583	0.87858	0.88927	1	-0.61682	-0.40765	1	-0.41438	-0.48388	-0.48388	-0.49798	0.30371	-0.01604
	0.0061	0.0113	0.0088	0.5651	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0022		0.0018	0.0002	0.0002	0.0001	0.0256	0.9083
per1000	0.45771	0.1547	0.17409	0.00334	-0.7495	-0.67315	-0.56432	-0.41449	0.84542	-0.42697	-0.41438	1	0.89697	0.89697	0.86357	-0.65542	-0.44652
	0.0005	0.264	0.208	0.9809	<.0001	<.0001	<.0001	0.0018	<.0001	0.0013	0.0018		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0007
per15000	0.55357	0.22948	0.25455	0.03681	-0.72722	-0.67374	-0.5504	-0.48392	0.82104	-0.30213	-0.48388	0.89697	1	1	0.94766	-0.67658	-0.41131
	<.0001	0.0951	0.0632	0.7916	<.0001	<.0001	<.0001	0.0002	<.0001	0.0264	0.0002	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	0.002
dai	0.55357	0.22948	0.25455	0.03681	-0.72722	-0.67374	-0.5504	-0.48392	0.82104	-0.30213	-0.48388	0.89697	1	1	0.94766	-0.67658	-0.41131
	<.0001	0.0951	0.0632	0.7916	<.0001	<.0001	<.0001	0.0002	<.0001	0.0264	0.0002	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	0.002
daf	0.6821	0.24592	0.27746	0.06694	-0.70276	-0.65263	-0.51722	-0.49804	0.78333	-0.25037	-0.49798	0.86357	0.94766	0.94766	1	-0.63443	-0.33683
	<.0001	0.0731	0.0422	0.6306	<.0001	<.0001	<.0001	0.0001	<.0001	0.0679	0.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0128
chs	-0.50658	-0.21057	-0.23912	-0.44419	0.46621	0.41871	0.29043	0.30367	-0.68985	0.20272	0.30371	-0.65542	-0.67658	-0.67658	-0.63443	1	0.82257
	<.0001	0.1264	0.0816	0.0008	0.0004	0.0016	0.0331	0.0256	<.0001	0.1415	0.0256	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
sus	-0.19146	0.06504	0.0466	-0.47751	0.15765	0.08611	-0.02252	-0.0161	-0.43308	0.23112	-0.01604	-0.44652	-0.41131	-0.41131	-0.33683	0.82257	1
	0.1655	0.6403	0.7379	0.0003	0.2549	0.5359	0.8716	0.908	0.0011	0.0927	0.9083	0.0007	0.002	0.002	0.0128	<.0001	

Fecha=19EN-06FEB-2007 (CORRELACIONES ÉPOCA SECA)3

The CORR Procedure

Pearson Correlation Coefficients, N = 54

Prob > |r| under H0: Rho=0

	k1	k2	presid	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	ea1	ea2	ea3	ea4	ea5	ea6	ar	li	arc
k1	1.000	0.997	0.395	0.091	-0.179	-0.120	-0.047	-0.008	0.003	-0.016	0.040	0.304	-0.253	-0.152	-0.083	-0.212	-0.274	0.078	0.194	-0.308
k2	<.0001	1.000	0.424	0.101	-0.173	-0.123	-0.055	-0.018	-0.010	-0.035	0.026	0.325	-0.243	-0.139	-0.090	-0.233	-0.298	0.076	0.212	-0.327
presid	<.0001	0.001	1.000	-0.125	0.215	0.303	0.100	0.014	0.018	-0.097	-0.197	0.135	0.183	0.409	0.097	-0.268	-0.211	0.272	-0.061	-0.229
t1	0.003	0.001	0.370	1.000	0.062	0.026	0.473	0.918	0.898	0.484	0.152	0.330	0.185	0.002	0.486	0.050	0.126	0.047	0.660	0.096
t2	0.091	0.101	-0.125	1.000	0.062	-0.851	-0.932	-0.921	-0.913	-0.857	-0.658	0.668	-0.137	-0.399	-0.394	-0.257	-0.695	-0.435	0.649	-0.266
t3	0.512	0.467	0.370	0.656	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.324	0.003	0.003	0.061	<.0001	0.001	<.0001	0.052
t4	-0.179	-0.173	0.215	0.062	1.000	0.091	-0.365	-0.391	-0.417	-0.459	-0.483	0.187	0.751	0.464	-0.207	-0.290	-0.294	-0.161	-0.050	0.235
t5	0.194	0.211	0.118	0.656	0.513	0.007	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.175	<.0001	0.000	0.132	0.034	0.031	0.246	0.717	0.087
t6	-0.120	-0.123	0.303	-0.851	0.091	1.000	0.801	0.682	0.665	0.595	0.229	-0.614	0.196	0.577	0.591	0.317	0.489	0.454	-0.677	0.277
t7	0.387	0.375	0.026	<.0001	0.513	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.097	<.0001	0.156	<.0001	<.0001	0.020	0.000	0.001	<.0001	0.043
t8	-0.047	-0.055	0.100	-0.932	-0.365	0.801	1.000	0.964	0.936	0.873	0.693	-0.678	-0.116	0.299	0.503	0.327	0.704	0.412	-0.566	0.195
ea1	0.734	0.694	0.473	<.0001	0.007	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.404	0.028	0.000	0.016	<.0001	0.002	<.0001	0.158
ea2	-0.008	-0.018	0.014	-0.921	-0.391	0.682	0.964	1.000	0.970	0.912	0.789	-0.638	-0.142	0.142	0.347	0.294	0.735	0.369	-0.515	0.184
ea3	0.954	0.900	0.918	<.0001	0.003	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.307	0.305	0.010	0.031	<.0001	0.006	<.0001	0.182
ea4	0.003	-0.010	0.018	-0.913	-0.417	0.665	0.936	0.970	1.000	0.975	0.794	-0.638	-0.131	0.136	0.331	0.296	0.737	0.494	-0.554	0.091
ea5	0.982	0.944	0.898	<.0001	0.002	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.344	0.328	0.015	0.030	<.0001	0.000	<.0001	0.512
ea6	-0.016	-0.035	-0.097	-0.857	-0.459	0.595	0.873	0.912	0.975	1.000	0.807	-0.613	-0.180	0.045	0.284	0.319	0.727	0.497	-0.542	0.075
ar	0.909	0.803	0.484	<.0001	0.001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.192	0.747	0.038	0.019	<.0001	0.000	<.0001	0.591
li	0.040	0.026	-0.197	-0.658	-0.483	0.229	0.693	0.789	0.794	0.807	1.000	-0.467	-0.199	-0.094	0.115	0.166	0.651	0.202	-0.278	0.097
arc	0.773	0.851	0.152	<.0001	0.000	0.097	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.000	0.149	0.497	0.410	0.232	<.0001	0.142	0.042	0.488
	0.304	0.325	0.135	0.668	0.187	-0.614	-0.678	-0.638	-0.638	-0.613	-0.467	1.000	-0.069	-0.253	-0.697	-0.770	-0.914	-0.176	0.469	-0.344
	0.025	0.017	0.330	<.0001	0.175	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.000	0.620	0.064	<.0001	<.0001	<.0001	0.202	0.000	0.011	
	-0.253	-0.243	0.183	-0.137	0.751	0.196	-0.116	-0.142	-0.131	-0.180	-0.199	-0.069	1.000	0.560	-0.027	-0.255	-0.025	0.108	-0.096	-0.009
	0.065	0.077	0.185	0.324	<.0001	0.156	0.404	0.307	0.344	0.192	0.149	0.620	<.0001	0.847	0.062	0.856	0.439	0.491	0.949	
	-0.152	-0.139	0.409	-0.399	0.464	0.577	0.299	0.142	0.136	0.045	-0.094	-0.253	0.560	1.000	0.497	-0.137	0.043	0.201	-0.240	0.054
	0.273	0.315	0.002	0.003	0.000	<.0001	0.028	0.305	0.328	0.747	0.497	0.064	<.0001	0.000	0.324	0.757	0.146	0.081	0.698	
	-0.083	-0.090	0.097	-0.394	-0.207	0.591	0.503	0.347	0.331	0.284	0.115	-0.697	-0.027	0.497	1.000	0.633	0.403	0.147	-0.229	0.101
	0.549	0.517	0.486	0.003	0.132	<.0001	0.000	0.010	0.015	0.038	0.410	<.0001	0.847	0.000	<.0001	0.003	0.289	0.096	0.468	
	-0.212	-0.233	-0.268	-0.257	-0.290	0.317	0.327	0.294	0.296	0.319	0.166	-0.770	-0.255	-0.137	0.633	1.000	0.595	-0.029	-0.206	0.268
	0.125	0.090	0.050	0.061	0.034	0.020	0.016	0.031	0.030	0.019	0.232	<.0001	0.062	0.324	<.0001	<.0001	0.838	0.135	0.050	
	-0.274	-0.298	-0.211	-0.695	-0.294	0.489	0.704	0.735	0.737	0.727	0.651	-0.914	-0.025	0.043	0.403	0.595	1.000	0.188	-0.496	0.362
	0.045	0.029	0.126	<.0001	0.031	0.000	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.856	0.757	0.003	<.0001	0.173	0.000	0.007	
	0.078	0.076	0.272	-0.435	-0.161	0.454	0.412	0.369	0.494	0.497	0.202	-0.176	0.108	0.201	0.147	-0.029	0.188	1.000	-0.606	-0.407
	0.577	0.587	0.047	0.001	0.246	0.001	0.002	0.006	0.000	0.000	0.142	0.202	0.439	0.146	0.289	0.838	0.173	<.0001	0.002	
	0.194	0.212	-0.061	0.649	-0.050	-0.677	-0.566	-0.515	-0.554	-0.542	-0.278	0.469	-0.096	-0.240	-0.229	-0.206	-0.496	-0.606	1.000	-0.480
	0.160	0.124	0.660	<.0001	0.717	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.042	0.000	0.491	0.081	0.096	0.135	0.000	<.0001	0.000	
	-0.308	-0.327	-0.229	-0.266	0.235	0.277	0.195	0.184	0.091	0.075	0.097	-0.344	-0.009	0.054	0.101	0.268	0.362	-0.407	-0.480	1.000
	0.023	0.016	0.096	0.052	0.087	0.043	0.158	0.182	0.512	0.591	0.488	0.011	0.949	0.698	0.468	0.050	0.007	0.002	0.000	

fecha=19EN-06FEB-2007 (CORRELACIONES ÉPOCA SECA)4

Pearson Correlation Coefficients, N = 54

Prob > |r| under H0: Rho=0

	k1	k2	ph	ntot	c	p	k	ca	mg	b	fe	mn	cu	zn	awc
k1	1	0.9972	0.22282	-0.10696	-0.08743	-0.04189	-0.29303	0.44187	0.10614	-0.06259	-0.2593	0.03551	-0.28291	-0.18152	0.22449
		<.0001	0.1053	0.4414	0.5296	0.7636	0.0315	0.0008	0.4449	0.653	0.0583	0.7988	0.0382	0.189	0.1027
k2	0.9972	1	0.23212	-0.0831	-0.06393	-0.02824	-0.28629	0.45001	0.10423	-0.04574	-0.28004	0.03043	-0.29524	-0.17174	0.22286
	<.0001		0.0912	0.5502	0.646	0.8393	0.0358	0.0006	0.4532	0.7426	0.0403	0.8271	0.0302	0.2143	0.1053
ph	0.22282	0.23212	1	0.24461	0.25053	0.45945	0.38134	0.34221	-0.02078	0.57287	-0.53412	0.28177	-0.27918	0.26434	0.08265
	0.1053	0.0912		0.0746	0.0677	0.0005	0.0044	0.0113	0.8814	<.0001	<.0001	0.039	0.0409	0.0534	0.5524
ntot	-0.10696	-0.0831	0.24461	1	0.85915	0.4157	0.51952	-0.08895	-0.41467	0.4639	-0.45608	0.06751	-0.47039	0.04376	-0.1837
	0.4414	0.5502	0.0746		<.0001	0.0018	<.0001	0.5224	0.0018	0.0004	0.0005	0.6277	0.0003	0.7534	0.1836
c	-0.08743	-0.06393	0.25053	0.85915	1	0.51291	0.62903	-0.02512	-0.39984	0.61525	-0.56206	-0.1795	-0.44795	-0.14422	-0.1803
	0.5296	0.646	0.0677	<.0001		<.0001	<.0001	0.8569	0.0027	<.0001	<.0001	0.194	0.0007	0.2981	0.192
p	-0.04189	-0.02824	0.45945	0.4157	0.51291	1	0.64853	0.17761	-0.22819	0.80423	-0.35445	-0.13787	-0.32417	-0.01713	-0.16902
	0.7636	0.8393	0.0005	0.0018	<.0001		<.0001	0.1988	0.097	<.0001	0.0085	0.3201	0.0168	0.9022	0.2218
k	-0.29303	-0.28629	0.38134	0.51952	0.62903	0.64853	1	-0.11573	-0.18207	0.64827	-0.36085	-0.15061	-0.22187	-0.18469	-0.38948
	0.0315	0.0358	0.0044	<.0001	<.0001	<.0001		0.4046	0.1876	<.0001	0.0073	0.277	0.1069	0.1812	0.0036
ca	0.44187	0.45001	0.34221	-0.08895	-0.02512	0.17761	-0.11573	1	0.55219	0.12622	-0.57901	-0.0704	-0.21002	-0.09032	0.12608
	0.0008	0.0006	0.0113	0.5224	0.8569	0.1988	0.4046		<.0001	0.3631	<.0001	0.613	0.1274	0.516	0.3636
mg	0.10614	0.10423	-0.02078	-0.41467	-0.39984	-0.22819	-0.18207	0.55219	1	-0.30541	0.01583	-0.052	0.44233	-0.1651	-0.14142
	0.4449	0.4532	0.8814	0.0018	0.0027	0.097	0.1876	<.0001		0.0247	0.9096	0.7088	0.0008	0.2328	0.3077
b	-0.06259	-0.04574	0.57287	0.4639	0.61525	0.80423	0.64827	0.12622	-0.30541	1	-0.3891	0.13677	-0.38495	0.10534	-0.17637
	0.653	0.7426	<.0001	0.0004	<.0001	<.0001	<.0001	0.3631	0.0247		0.0036	0.3241	0.0041	0.4484	0.202
fe	-0.2593	-0.28004	-0.53412	-0.45608	-0.56206	-0.35445	-0.36085	-0.57901	0.01583	-0.3891	1	0.15816	0.60893	0.10684	-0.14836
	0.0583	0.0403	<.0001	0.0005	<.0001	0.0085	0.0073	<.0001	0.9096	0.0036		0.2534	<.0001	0.4419	0.2843
mn	0.03551	0.03043	0.28177	0.06751	-0.1795	-0.13787	-0.15061	-0.0704	-0.052	0.13677	0.15816	1	-0.05483	0.52783	-0.01072
	0.7988	0.8271	0.039	0.6277	0.194	0.3201	0.277	0.613	0.7088	0.3241	0.2534		0.6938	<.0001	0.9387
cu	-0.28291	-0.29524	-0.27918	-0.47039	-0.44795	-0.32417	-0.22187	-0.21002	0.44233	-0.38495	0.60893	-0.05483	1	-0.23484	-0.1055
	0.0382	0.0302	0.0409	0.0003	0.0007	0.0168	0.1069	0.1274	0.0008	0.0041	<.0001	0.6938		0.0874	0.4477
zn	-0.18152	-0.17174	0.26434	0.04376	-0.14422	-0.01713	-0.18469	-0.09032	-0.1651	0.10534	0.10684	0.52783	-0.23484	1	0.00628
	0.189	0.2143	0.0534	0.7534	0.2981	0.9022	0.1812	0.516	0.2328	0.4484	0.4419	<.0001	0.0874		0.964
awc	0.22449	0.22286	0.08265	-0.1837	-0.1803	-0.16902	-0.38948	0.12608	-0.14142	-0.17637	-0.14836	-0.01072	-0.1055	0.00628	1
	0.1027	0.1053	0.5524	0.1836	0.192	0.2218	0.0036	0.3636	0.3077	0.202	0.2843	0.9387	0.4477	0.964	

ANEXO 2.

- 2.1 Valores promedio de los parámetros de calidad agua en parcelas de escorrentía en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual, SAQ de (<2, 5-7 y >10 años). Candelaria, Honduras 2007.

Tabla 2.1. Valores promedio de los parámetros de calidad agua en parcelas de escorrentía en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) de (<2, 5-7 y >10 años). Candelaria, Honduras 2007.

Tratamiento	Sólidos solubles totales mg L ⁻¹	pH	P	PO ₄ ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺
Sistema								
TQ	150	7.16	2.30	0.29	0.000	7.97	0.041	0.70
SAQ<2	83	7.06	0.61	0.44	0.000	7.90	0.020	0.35
SAQ5-7	183	7.06	0.43	0.34	0.016	6.12	0.018	0.52
SAQ>10	95	7.07	0.18	0.25	0.000	6.35	0.023	0.24
BS	25	7.00	0.65	0.43	0.000	4.72	0.038	0.91
Fertilización								
(+F)	32	7.07	0.55	0.37	0.008	8.52	0.028	0.56
(-F)	128	7.06	1.20	0.28	0.000	5.64	0.023	0.34
Sistema	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Fertilización	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sist*Fert	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
DMS _{0.05}	--	--	--	--	--	--	--	--
r ²	0.63	0.54	0.72	0.87	0.65	0.64	0.62	0.75
CV%	31.7	3.76	39.0	38.0	41.0	40.7	33.0	30.1

Duncan (P= 0.05). Prueba de F: ***P<0.001, **P=0.001-0.01, *P=0.01-0.05, ns =no significativa.

ANEXO 3.

- 3.1 Valores totales de evapotranspiración (mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del maíz en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.
- 3.2 Valores totales de evapotranspiración (mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del frijol en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.
- 3.3 Valores totales de escorrentía, interceptación y drenaje (mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del maíz en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.
- 3.4 Valores totales de escorrentía, interceptación y drenaje (mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del frijol en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.
- 3.5 Valores totales de diferencia en el contenido de humedad (mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del maíz en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.
- 3.6 Valores totales de diferencia en el contenido de humedad (mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del frijol en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.

Tabla 3.1. Valores totales de evapotranspiración (mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del maíz en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	ETo ^{&} mm	PREC %	ETo ^{&&} mm	PREC %
(+F)				
TQ	477.0	48.7	597.7	61.0
SAQ<2	391.9	39.9	318.4	32.5
SAQ 5-7	408.5	42.2	531.0	54.9
SAQ>10	408.6	36.4	599.3	53.3
Promedio	421.5	41.8	511.6	50.4
(-F)				
TQ	454.1	46.3	844.8	86.2
SAQ<2	425.8	48.4	302.1	30.1
SAQ 5-7	429.7	44.4	634.8	65.6
SAQ>10	399.7	35.6	448.9	40.0
BS	435.2	44.4	315.5	32.2
Promedio	427.3	43.7	557.7	55.5

Tabla 3.2. Valores totales de evapotranspiración (mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del frijol en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	ETo ^{&} mm	PREC %	ETo ^{&&} mm	PREC %
(+F)				
TQ	229.4	56.4	320.2	78.7
SAQ<2	188.5	46.3	185.6	45.6
SAQ 5-7	210.3	51.0	284.1	68.9
SAQ>10	201.8	43.3	311.5	66.8
Promedio	207.5	49.3	275.4	65.0
(-F)				
TQ	214.9	52.8	452.8	111.3
SAQ<2	205.4	50.5	178.1	43.8
SAQ 5-7	220.9	53.6	336.8	81.7
SAQ>10	198.4	42.6	245.4	52.7
BS	217.6	53.5	201.6	49.5
Promedio	209.9	49.9	303.3	72.4

& = Método Hargreaves; && = Método Penman-Monteith;
 ETo = Evapotranspiración; PREC = Precipitación, (+F) = Con fertilizante,
 (-F) = Sin fertilizante.

Tabla 3.3. Valores totales de escorrentía, interceptación y drenaje (mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del maíz en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	ESC mm	PREC %	INTER mm	PREC %	DRE mm
(+F)					
TQ	215.6	22.0	39.2	4.0	98.0
SAQ<2	168.0	17.1	141.1	14.4	98.0
SAQ 5-7	160.9	16.6	112.2	11.6	97.7
SAQ>10	113.1	10.1	123.4	11.0	112.2
Promedio	164.4	16.5	104.0	10.3	101.2
(-F)					
TQ	187.4	19.1	39.2	4.0	98.0
SAQ<2	146.1	14.9	141.1	14.4	98.0
SAQ 5-7	180.7	18.7	112.2	11.6	97.7
SAQ>10	61.2	5.6	123.4	11.0	112.2
BS	149.3	15.2	205.8	21.0	98.0
Promedio	143.9	14.6	104.0	10.3	101.2

Tabla 3.4. Valores totales de escorrentía, interceptación y drenaje (mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del frijol en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	ESC mm	PREC %	INTER mm	PREC %	DRE mm
(+F)					
TQ	62.6	15.3	16.3	4.0	40.8
SAQ<2	48.8	12.0	58.6	14.4	40.7
SAQ 5-7	49.2	11.9	47.8	11.6	41.2
SAQ>10	37.6	8.0	51.3	11.0	46.6
Promedio	49.6	11.8	43.5	10.3	42.2
(-F)					
TQ	54.5	13.4	16.3	4.0	40.8
SAQ<2	42.4	10.4	58.6	14.4	40.7
SAQ 5-7	55.8	13.8	47.8	11.6	41.2
SAQ>10	19.2	4.1	51.3	11.0	46.6
BS	43.0	10.6	85.5	21.0	40.7
Promedio	43.0	10.0	43.5	10.3	42.2

ESC = Escorrentía; PREC = Precipitación; INTER = Interceptación; DRE = Drenaje;
(+F) = Con fertilizante, (-F) = Sin fertilizante.

Tabla 3.5. Valores totales de diferencia en el contenido de humedad (mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del maíz en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	$\Delta H^{\&}$ mm	PREC %	$\Delta H^{\&\&}$ mm	PREC %
(+F)				
TQ	150.2	15.3	29.5	3.0
SAQ<2	181.0	18.5	254.5	26.0
SAQ 5-7	189.3	19.6	66.8	6.7
SAQ>10	364.4	32.5	173.6	15.5
Promedio	221.3	21.6	131.1	12.9
(-F)				
TQ	201.3	20.5	-189.5	-19.3
SAQ<2	168.9	17.2	292.6	29.8
SAQ 5-7	148.3	15.3	-56.8	-5.8
SAQ>10	425.2	37.9	376.1	33.5
BS	91.7	9.4	211.4	21.6
promedio	236.0	22.9	105.6	10.0

Tabla 3.6. Valores totales de diferencia en el contenido de humedad (mm) y como porcentaje de la precipitación, durante el desarrollo del cultivo del frijol en los sistemas de producción y para el BS. Candelaria, Honduras, 2007.

Tratamiento	$\Delta H^{\&}$ mm	PREC %	$\Delta H^{\&\&}$ mm	PREC %
(+F)				
TQ	58.0	14.3	-32.8	-8.2
SAQ<2	60.4	16.3	73.4	18.0
SAQ 5-7	63.8	15.5	-10.0	-2.4
SAQ>10	128.7	27.6	19.0	4.1
Promedio	77.8	18.6	12.5	3.0
(-F)				
TQ	80.7	19.8	-157.3	38.6
SAQ<2	59.9	14.7	87.2	21.4
SAQ 5-7	46.6	11.3	-69.3	-16.8
SAQ>10	150.5	32.3	103.6	22.2
BS	19.9	4.8	35.9	8.8
Promedio	84.5	19.7	-8.9	-1.9

ΔH = Diferencia de humedad; $\&$ = Método Hargreaves; $\&\&$ = Método Penman-Monteith; PREC = Precipitación; (+F) = Con fertilizante, (-F) = Sin fertilizante.

ANEXO 4.

- 4.1 Cuantificación de los Componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, Tala y Quema (TQ). Candelaria, Honduras. 2007.
- 4.2 Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ<2). Candelaria, Honduras. 2007.
- 4.3 Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ 5-7). Candelaria, Honduras. 2007.
- 4.4 Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ>10). Candelaria, Honduras. 2007.
- 4.5 Cuantificación de los componentes del Balance de Agua en el Bosque Secundario (BS), para los períodos de evaluación del cultivo de Maíz. Candelaria, Honduras. 2007.

Tabla 4.1. Cuantificación de los Componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, Tala y Quema (TQ). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Período de Evaluación	PREC	ETo ^{&}	ETo ^{&&}	mm				
					ESC	INT	DRE	$\Delta H^{\&}$	$\Delta H^{\&&}$
TQ (+F)	Siembra a Floración	482.0 (---)	239.8 (12.2)	293.6 (28.5)	103.6 (18.6)	19.3 (---)	48.2 (---)	71.1 (28.0)	17.3 (16.7)
	Floración a Llenado de grano	276.0 (---)	138.3 (7.1)	174.4 (17.2)	64.3 (11.6)	11.0 (---)	27.6 (---)	34.8 (17.0)	-1.4 (10.0)
	Llenado de grano a Madurez	222.0 (---)	99.0 (5.1)	129.7 (12.9)	47.6 (8.6)	8.9 (---)	22.2 (---)	44.3 (12.4)	13.6 (7.5)
	Total	980.0	477.0	597.7	215.6	39.2	98.0	150.2	29.5
TQ (-F)	Siembra a Floración	482.0 (---)	228.2 (5.8)	416.1 (31.1)	90.1 (25.5)	19.3 (---)	48.2 (---)	96.2 (23.5)	-91.7 (38.6)
	Floración a Llenado de grano	276.0 (---)	131.6 (3.3)	246.1 (18.5)	55.9 (15.8)	11.3 (---)	27.6 (---)	49.8 (14.6)	-64.7 (23.4)
	Llenado de grano a Madurez	222.0 (---)	94.3 (2.4)	182.6 (13.9)	41.4 (11.7)	8.9 (---)	22.2 (---)	55.2 (10.9)	-33.1 (17.5)
	Total	980.0	454.1	844.8	187.4	39.2	98.0	201.2	-189.5

PREC = Precipitación, ETo = Evapotranspiración, ESC = Escorrentía, INT = Interceptación, DRE = Drenaje, ΔH = Diferencia en contenido de humedad
[&] = Método Hargreaves ; ^{&&} = Método Penman-Monteith, (+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización. El número entre paréntesis = Desviación estándar.

Tabla 4.2. Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ<2>). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Período de Evaluación	PREC	ET _o ^{&}	ET _o ^{&&}	mm				
					ESC	INT	DRE	ΔH ^{&}	ΔH ^{&&}
SAQ<2> (+F)	Siembra a Floración	482.0 (---)	197.0 (6.3)	157.7 (3.9)	80.8 (9.2)	69.4 (---)	48.2 (---)	86.7 (6.5)	125.9 (7.9)
	Floración a Llenado de grano	276.0 (---)	113.6 (3.6)	92.4 (2.4)	50.1 (5.7)	39.7 (---)	27.6 (---)	44.9 (4.1)	66.1 (4.9)
	Llenado de grano a Madurez	222.0 (---)	81.3 (2.6)	68.3 (1.7)	37.1 (4.2)	32.0 (---)	22.2 (---)	49.4 (3.0)	62.4 (3.6)
	Total	980.0	391.9	318.4	168.0	141.1	98.0	181.0	254.4
SAQ<2> (-F)	Siembra a Floración	482.0 (---)	214.6 (28.4)	150.8 (4.6)	70.2 (10.1)	69.4 (---)	48.2 (---)	79.6 (33.0)	143.4 (11.3)
	Floración a Llenado de grano	276.0 (---)	123.9 (16.5)	87.7 (3.1)	43.6 (6.3)	39.7 (---)	27.6 (---)	41.2 (19.4)	77.4 (6.7)
	Llenado de grano a Madurez	222.0 (---)	87.4 (10.0)	63.7 (2.3)	32.3 (4.7)	32.0 (---)	22.2 (---)	48.2 (12.3)	71.9 (5.0)
	Total	980.0	425.8	302.1	146.1	141.0	98.0	169.0	292.7

PREC = Precipitación, ET_o = Evapotranspiración, ESC = Escorrentía, INT = Interceptación, DRE = Drenaje, ΔH = Diferencia en contenido de humedad
[&] = Método Hargreaves ; ^{&&} = Método Penman-Monteith, (+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización El número entre paréntesis = Desviación estándar.

Tabla 4.3. Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ5-7). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Período de Evaluación	PREC	ETo ^{&}	ETo ^{&&}	-----mm-----				
					ESC	INT	DRE	$\Delta H^{\&}$	$\Delta H^{\&\&}$
SAQ 5-7(+F)	Siembra a Floración	472.3 (13.7)	203.9 (19.3)	260.2 (49.0)	79.3 (20.6)	54.8 (1.6)	47.2 (1.4)	87.1 (26.4)	30.8 (42.5)
	Floración a Llenado de grano	283.0 (9.9)	119.2 (8.5)	155.2 (30.9)	49.3 (12.7)	32.8 (1.1)	28.3 (1.0)	53.3 (28.7)	17.4 (10.9)
	Llenado de grano a Madurez	212.3 (13.7)	85.4 (6.1)	115.5 (23.5)	32.3 (15.0)	24.6 (1.6)	21.2 (1.4)	48.8 (9.0)	18.7 (21.1)
	Total	967.7	408.5	531.0	160.9	112.2	96.8	189.1	66.8
SAQ 5-7 (-F)	Siembra a Floración	472.3 (13.7)	214.4 (24.3)	312.3 (69.1)	89.6 (14.4)	54.8 (1.6)	47.2 (1.4)	66.4 (23.9)	-31.5 (68.3)
	Floración a Llenado de grano	283.0 (9.9)	125.5 (11.4)	185.0 (42.1)	55.7 (8.8)	32.8 (1.1)	28.3 (1.0)	40.7 (27.1)	-18.8 (25.6)
	Llenado de grano a Madurez	212.3 (13.7)	89.8 (8.2)	137.5 (32.8)	35.4 (14.1)	24.6 (1.6)	21.2 (1.4)	41.2 (9.7)	-6.5 (30.8)
	Total	967.7	429.7	634.8	180.7	112.2	96.8	148.2	-56.9

PREC = Precipitación, ETo = Evapotranspiración, ESC = Escorrentía, INT = Interceptación, DRE = Drenaje, ΔH = Diferencia en contenido de humedad
[&] = Método Hargreaves ; ^{&&} = Método Penman-Monteith, (+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización. El número entre paréntesis = Desviación estándar.

Tabla 4.4. Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ >10). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Período de Evaluación	PREC	ETo ^{&}	ETo ^{&&}	-----mm-----				
					ESC	INT	DRE	$\Delta H^{\&}$	$\Delta H^{\&&}$
SAQ >10 (+F)	Siembra a Floración	562.7 (114.1)	203.8 (13.6)	293.1 (62.2)	60.2 (44.0)	61.9 (12.5)	56.3 (11.1)	180.5 (68.4)	91.2 (68.9)
	Floración a Llenado de grano	287.3 (16.0)	117.4 (8.8)	175.4 (38.9)	25.4 (10.5)	31.6 (1.8)	28.7 (1.6)	84.2 (11.4)	26.2 (37.0)
	Llenado de grano a Madurez	271.7 (70.2)	87.4 (7.3)	130.8 (29.2)	27.5 (20.0)	29.9 (7.7)	27.2 (6.9)	99.7 (46.8)	56.3 (41.2)
	Total	1121.7	408.6	599.3	113.1	123.4	112.2	364.4	173.7
SAQ >10 (-F)	Siembra a Floración	562.7 (114.1)	200.3 (17.0)	222.0 (54.3)	31.2 (5.4)	61.9 (12.5)	56.3 (11.1)	213.0 (109.1)	191.3 (63.7)
	Floración a Llenado de grano	287.3 (16.0)	115.5 (9.9)	130.4 (32.2)	15.7 (3.2)	31.6 (1.8)	28.7 (1.6)	95.8 (85.3)	80.9 (44.4)
	Llenado de grano a Madurez	271.7 (70.2)	83.9 (6.1)	96.5 (25.2)	14.3 (2.4)	29.9 (7.7)	27.2 (6.9)	116.4 (24.9)	103.8 (16.3)
	Total	1121.7	399.7	448.9	61.2	123.4	112.2	425.2	376.0

PREC = Precipitación, ETo = Evapotranspiración, ESC = Escorrentía, INT = Interceptación, DRE = Drenaje, ΔH = Diferencia en contenido de humedad [&] = Método Hargreaves ; ^{&&} = Método Penman-Monteith, (+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización. El número entre paréntesis = Desviación estándar.

Tabla 4.5. Cuantificación de los componentes del Balance de Agua en el Bosque Secundario (BS), para los períodos de evaluación del cultivo de Maíz. Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Período de Evaluación	PREC	ETo ^{&}	ETo ^{&&}	mm				
					ESC	INT	DRE	$\Delta H^{\&}$	$\Delta H^{\&\&}$
BS	25 Mayo al 24 Julio	482.0 (---)	236.8 (3.5)	171.3 (26.5)	71.8 (23.6)	101.2 (---)	48.2 (---)	24.0 (27.0)	89.5 (21.9)
	25 Julio al 22 Agosto	276.0 (---)	108.5 (1.6)	78.2 (12.5)	44.5 (14.7)	58.0 (---)	27.6 (---)	37.4 (16.2)	67.8 (11.9)
	23 Agosto al 17 Septiembre	222.0 (---)	89.9 (1.3)	66.1 (10.8)	33.0 (10.9)	46.6 (---)	22.2 (---)	30.3 (12.1)	54.1 (9.4)
	Total	980.0	435.2	315.5	149.3	205.8	98.0	91.7	211.4

PREC = Precipitación, ETo = Evapotranspiración, ESC = Escorrentía, INT = Interceptación, DRE = Drenaje, ΔH = Diferencia en contenido de humedad [&] = Método Hargreaves ; ^{&&} = Método Penman-Monteith. El número entre paréntesis = Desviación estándar.

ANEXO 5.

- 5.1 Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Frijol, Tala y Quema (TQ). Candelaria, Honduras. 2007.
- 5.2 Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Frijol, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ<2). Candelaria, Honduras. 2007.
- 5.3 Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Frijol, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ 5-7). Candelaria, Honduras. 2007.
- 5.4 Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Frijol, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ>10). Candelaria, Honduras. 2007.
- 5.5 Cuantificación de los componentes del Balance de Agua en el Bosque Secundario (BS), para los períodos de evaluación del cultivo de Frijol. Candelaria, Honduras. 2007.

Tabla 5.1. Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Frijol, Tala y Quema (TQ). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Período de Evaluación	PREC	ETo ^{&}	ETo ^{&&}	mm				
					ESC	INT	DRE	ΔH ^{&}	ΔH ^{&&}
TQ (+F)	Siembra a Floración	329.0 (---)	32.8 (1.7)	52.6 (14.8)	62.6 (7.8)	13.2 (---)	32.9 (---)	187.6 (12.4)	167.8 (11.8)
	Floración a Llenado de grano	45.0 (---)	66.0 (3.4)	87.2 (7.8)	0.0 (---)	1.8 (---)	4.5 (---)	-27.3 (3.4)	-48.5 (7.8)
	Llenado de grano a Madurez	33.0 (---)	130.6 (6.7)	180.4 (16.0)	0.0 (---)	1.3 (---)	3.3 (---)	-102.3 (6.7)	-152.0 (16.0)
	Total	407.0	229.4	320.2	62.6	16.3	40.7	58.0	8.0
TQ (-F)	Siembra a Floración	329.0 (---)	31.2 (0.8)	80.6 (6.1)	54.4 (15.4)	13.2 (---)	32.9 (---)	197.4 (15.1)	147.9 (16.1)
	Floración a Llenado de grano	45.0 (---)	59.5 (5.7)	126.5 (8.9)	0.0 (---)	1.8 (---)	4.5 (---)	-20.8 (5.7)	-87.8 (8.9)
	Llenado de grano a Madurez	33.0 (---)	124.2 (3.0)	245.6 (17.2)	0.0 (---)	1.3 (---)	3.3 (---)	-95.8 (3.0)	-217.3 (17.2)
	Total	407.0	214.9	452.8	54.5	16.3	40.7	80.8	-157.2

PREC = Precipitación, ETo = Evapotranspiración, ESC = Escorrentía, INT = Interceptación, DRE = Drenaje, ΔH = Diferencia en contenido de humedad [&] = Método Hargreaves ; ^{&&} = Método Penman-Monteith, (+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización. El número entre paréntesis = Desviación estándar.

Tabla 5.2. Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Fríjol, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ<2). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Período de Evaluación	PREC	ETo ^{&}	ETo ^{&&}	mm				
					ESC	INT	DRE	$\Delta H^{\&}$	$\Delta H^{\&&}$
SAQ<2 (+F)	Siembra a Floración	329.0 (---)	26.9 (0.8)	31.4 (0.8)	48.8 (5.5)	47.4 (---)	32.9 (---)	173.0 (5.0)	168.6 (5.2)
	Floración a Llenado de grano	45.0 (---)	54.3 (1.7)	50.0 (1.0)	0.0 (---)	6.5 (---)	4.5 (---)	-10.2 (1.7)	-16.0 (1.0)
	Llenado de grano a Madurez	33.0 (---)	107.3 (3.4)	104.1 (2.2)	0.0 (---)	4.8 (---)	3.3 (---)	-82.4 (3.4)	-79.2 (2.2)
	Total	407.0	188.5	185.6	48.8	58.6	40.7	70.4	73.4
SAQ<2 (-F)	Siembra a Floración	329.0 (---)	27.7 (1.5)	28.8 (1.0)	42.4 (6.1)	47.4 (---)	32.9 (---)	178.6 (6.9)	177.5 (6.1)
	Floración a Llenado de grano	45.0 (---)	58.4 (6.8)	50.4 (1.5)	0.0 (---)	6.5 (---)	4.5 (---)	-24.0 (6.8)	-16.4 (1.0)
	Llenado de grano a Madurez	33.0 (---)	119.3 (18.8)	98.9 (2.9)	0.0 (---)	4.8 (---)	3.3 (---)	-94.4 (18.8)	-73.9 (2.2)
	Total	407.0	205.4	178.1	42.4	58.6	40.7	60.2	87.2

PREC = Precipitación, ETo = Evapotranspiración, ESC = Escorrentía, INT = Interceptación, DRE = Drenaje, ΔH = Diferencia en contenido de humedad [&] = Método Hargreaves; ^{&&} = Método Penman-Monteith, (+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización. El número entre paréntesis = Desviación estándar.

Tabla 5.3. Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Fríjol, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ 5-7). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Período de Evaluación	PREC	ETo ^{&}	ETo ^{&&}	-----mm-----				
					ESC	INT	DRE	$\Delta H^{\&}$	$\Delta H^{\&&}$
SAQ 5-7(+F)	Siembra a Floración	320.3 (12.3)	31.0 (1.9)	52.3 (9.9)	49.2 (10.9)	37.2 (1.4)	32.0 (1.3)	171.0 (6.5)	149.7 (12.3)
	Floración a Llenado de grano	65.3 (28.8)	59.0 (1.2)	75.6 (9.9)	0.0 (---)	7.6 (3.3)	6.5 (3.1)	-7.8 (26.4)	-24.3 (15.8)
	Llenado de grano a Madurez	26.7 (9.0)	120.2 (3.1)	156.2 (19.9)	0.0 (---)	3.1 (1.0)	2.7 (0.8)	-99.4 (10.8)	-135.4 (17.7)
	Total	412.3	210.3	284.1	49.2	47.8	41.2	63.8	-10.0
SAQ 5-7 (-F)	Siembra a Floración	320.3 (12.3)	32.5 (1.4)	60.3 (13.3)	55.8 (6.9)	37.2 (1.4)	32.0 (1.3)	162.8 (8.8)	135.1 (19.4)
	Floración a Llenado de grano	65.3 (28.8)	62.1 (2.6)	94.2 (16.1)	0.0 (---)	7.6 (3.3)	6.5 (3.1)	-10.8 (27.8)	-42.9 (10.8)
	Llenado de grano a Madurez	26.7 (90.0)	126.3 (2.3)	182.3 (29.9)	0.0 (---)	3.1 (1.0)	2.7 (0.8)	-105.4 (8.6)	-161.5 (37.5)
	Total	412.3	220.9	336.8	55.8	47.8	41.2	46.6	-69.3

PREC = Precipitación, ETo = Evapotranspiración, ESC = Escorrentía, INT = Interceptación, DRE = Drenaje, ΔH = Diferencia en contenido de humedad

[&] = Método Hargreaves ; ^{&&} = Método Penman-Monteith, (+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización. El número entre paréntesis = Desviación estándar.

Tabla 5.4. Cuantificación de los componentes del Balance de Agua, de siembra a floración, de floración a llenado de grano y de llenado de grano a madurez fisiológica, Cultivo de Frijol, Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ>10). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Período de Evaluación	PREC	ETo ^{&}	ETo ^{&&}	mm				
					ESC	INT	DRE	$\Delta H^{\&}$	$\Delta H^{\&&}$
SAQ >10 (+F)	Siembra a Floración	400.0 (100.4)	29.7 (1.7)	58.5 (12.5)	37.6 (28.3)	44.0 (11.0)	40.0 (9.0)	248.7 (59.9)	219.9 (57.6)
	Floración a Llenado de grano	32.7 (17.4)	57.7 (2.6)	81.4 (13.3)	0.0 (---)	3.6 (1.9)	3.3 (1.6)	-31.9 (15.2)	-55.6 (23.3)
	Llenado de grano a Madurez	33.3 (0.5)	114.5 (5.0)	171.6 (29.0)	0.0 (---)	3.7 (0.1)	3.3 (0.1)	-88.1 (5.1)	-145.3 (28.8)
	Total	466.0	201.8	311.5	37.6	51.3	46.6	128.7	19.0
SAQ >10 (-F)	Siembra a Floración	400.0 (100.4)	29.1 (2.1)	42.1 (9.6)	19.2 (3.7)	44.0 (11.0)	40.0 (9.0)	267.7 (85.3)	254.7 (76.7)
	Floración a Llenado de grano	32.7 (17.4)	56.7 (3.7)	67.8 (11.1)	0.0 (---)	3.6 (1.9)	3.3 (1.6)	-31.0 (15.2)	-42.1 (26.5)
	Llenado de grano a Madurez	33.0 (0.5)	112.6 (7.3)	135.4 (25.6)	0.0 (---)	3.7 (0.1)	3.3 (0.1)	-86.2 (7.4)	-109.1 (25.2)
	Total	466.0	198.4	245.4	19.2	51.3	46.6	150.5	103.5

PREC = Precipitación, ETo = Evapotranspiración, ESC = Escorrentía, INT = Interceptación, DRE = Drenaje, ΔH = Diferencia en contenido de humedad
[&] = Método Hargreaves ; ^{&&} = Método Penman-Monteith, (+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización. El número entre paréntesis = Desviación estándar.

Tabla 5.5. Cuantificación de los componentes del Balance de Agua en el Bosque Secundario (BS), para los períodos de evaluación del cultivo de Frijol. Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	Período de Evaluación	PREC	ETo ^{&}	ETo ^{&&}	ESC	INT	DRE	$\Delta H^{\&}$	$\Delta H^{\&\&}$
		-----mm-----							
BS	25 Sep al 23 Oct	329.0 (---)	71.1 (1.1)	70.4 (11.2)	43.3 (23.6)	69.1 (---)	32.9 (---)	112.6 (15.3)	113.3 (11.4)
	24 Oct al 12 Nov	45.0 (---)	62.1 (0.9)	55.5 (7.1)	0.0 (---)	9.5 (---)	4.5 (---)	-31.0 (0.9)	-24.5 (7.1)
	13 Nov al 10 de Dic	33.0 (---)	84.4 (1.2)	75.7 (9.5)	0.0 (---)	6.9 (---)	3.3 (---)	-61.6 (1.2)	-53.0 (9.5)
	Total	407.0	217.6	201.6	43.0	85.5	40.7	20.0	35.8

PREC = Precipitación, ETo = Evapotranspiración, ESC = Escorrentía, INT = Interceptación, DRE = Drenaje, ΔH = Diferencia en contenido de humedad
[&] = Método Hargreaves ; ^{&&} = Método Penman-Monteith. El número entre paréntesis = Desviación estándar.

ANEXO 6.

- 6.1 Valores promedio de humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) en profundidad, Vegetativo 4, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.
- 6.2 Valores promedio de humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) en profundidad, Floración, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.
- 6.3 Valores promedio de humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) en profundidad, Llenado de grano, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.
- 6.4 Valores promedio de humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) en profundidad, madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tabla 6.1. Valores promedio de humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) en profundidad, Vegetativo 4, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
----- Humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)-----						
Sistema						
TQ	0.12	0.15	0.16	0.14	0.15	0.14
SAQ<2	0.20	0.20	0.22	0.20	0.22	0.21
SAQ 5-7	0.18	0.16	0.20	0.20	0.20	0.20
SAQ>10	0.20	0.19	0.25	0.25	0.25	0.25
BS	0.18	0.15	0.19	0.15	0.13	0.13
Fertilización						
(+F)	0.17	0.17	0.20	0.19	0.20	0.19
(- F)	0.18	0.18	0.22	0.21	0.21	0.21
Sistema	0.024	0.046	0.003	0.066	0.020	0.019
Fertilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sist x Fert	ns	ns	ns	ns	ns	ns
r^2	0.80	0.86	0.83	0.69	0.84	0.80
CV%	22.9	15.9	15.3	28.3	24.8	32.6
DMS _{0.05}	0.05	0.03	0.04	0.07	0.06	0.08

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; DMS_{0.05} (Duncan)

Tabla 6.2. Valores promedio de humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) en profundidad, Floración, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
	----- Humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)-----					
Sistema						
TQ	0.33	0.31	0.34	0.31	0.30	0.26
SAQ<2	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30
SAQ 5-7	0.35	0.33	0.32	0.34	0.34	0.30
SAQ>10	0.34	0.32	0.32	0.37	0.37	0.37
BS	0.33	0.31	0.32	0.30	0.22	0.27
Fertilización						
+ F	0.33	0.33	0.33	0.34	0.33	0.31
- F	0.36	0.33	0.33	0.33	0.32	0.31
Sistema	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Fertilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sist x Fert	ns	ns	ns	ns	ns	ns
r^2	0.89	0.77	0.96	0.73	0.98	0.95
CV%	7.5	11.3	5.2	14.0	6.3	9.1
DMS _{0.05}	--	--	--	--	--	--

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; DMS_{0.05} (Duncan)

Tabla 6.3. Valores promedio de humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) en profundidad, Llenado de grano, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
	----- Humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)-----					
Sistema						
TQ	0.33	0.29	0.35	0.31	0.29	0.25
SAQ<2	0.36	0.35	0.34	0.35	0.32	0.31
SAQ 5-7	0.36	0.33	0.32	0.34	0.33	0.33
SAQ>10	0.34	0.33	0.34	0.34	0.32	0.36
BS	0.42	0.36	0.28	0.30	0.30	0.35
Fertilización						
+ F	0.34	0.33	0.34	0.35	0.34	0.32
- F	0.35	0.32	0.33	0.32	0.30	0.31
Sistema	ns	0.089	0.056	ns	ns	ns
Fertilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sist x Fert	ns	ns	ns	ns	ns	ns
r^2	0.87	0.90	0.92	0.98	0.84	0.87
CV%	8.4	7.6	10.2	13.0	11.2	12.5
DMS _{0.05}	--	0.04	0.06	--	--	--

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; DMS_{0.05} (Duncan)

Tabla 6.4. Valores promedio de humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) en profundidad, Madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
	----- Humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)-----					
Sistema						
TQ	0.31	0.31	0.32	0.33	0.32	0.29
SAQ<2	0.32	0.33	0.34	0.32	0.31	0.30
SAQ 5-7	0.35	0.32	0.33	0.35	0.35	0.34
SAQ>10	0.33	0.31	0.33	0.34	0.34	0.33
BS	0.35	0.31	0.32	0.33	0.28	0.27
Fertilización						
(+ F)	0.32	0.32	0.32	0.34	0.34	0.33
(- F)	0.34	0.32	0.34	0.33	0.33	0.29
Sistema	0.06	ns	ns	ns	ns	0.088
Fertilidad	0.04	ns	ns	ns	ns	0.033
Sist x Fert	0.09	ns	ns	ns	ns	ns
r^2	0.90	0.69	0.80	0.59	0.81	0.93
CV%	6.5	11.4	13.0	16.3	10.7	8.5
DMS _{0.05}	0.03	--	--	--	--	0.04

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; DMS_{0.05} (Duncan)

ANEXO 7.

- 7.1 Valores promedio de humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) en profundidad, Floración, Cultivo de Fríjol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.
- 7.2 Valores promedio de humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) en profundidad, Llenado de grano, Cultivo de Fríjol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.
- 7.3 Valores promedio de humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) en profundidad, madurez fisiológica, Cultivo de Fríjol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tabla 7.1. Valores promedio de humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) en profundidad, Floración, Cultivo de Frijol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
	----- Humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)-----					
Sistema						
TQ	0.33	0.31	0.33	0.31	0.30	0.28
SAQ<2	0.30	0.31	0.31	0.29	0.28	0.28
SAQ 5-7	0.34	0.33	0.31	0.34	0.32	0.33
SAQ>10	0.41	0.37	0.36	0.41	0.39	0.40
BS	0.44	0.33	0.36	0.30	0.34	0.29
Fertilización						
(+ F)	0.34	0.34	0.34	0.34	0.35	0.34
(- F)	0.33	0.32	0.31	0.32	0.29	0.30
Sistema	0.047	0.090	ns	0.050	0.072	0.016
Fertilidad	ns	ns	ns	ns	0.042	0.084
Sist x Fert	ns	0.09	ns	ns	ns	ns
r^2	0.93	0.87	0.77	0.80	0.95	0.96
CV%	10.5	8.8	14.9	15.7	7.6	7.6
DMS _{0.05}	0.06	0.04	--	0.08	0.04	0.04

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; DMS_{0.05} (Duncan)

Tabla 7.2. Valores promedio de humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) en profundidad, Llenado de grano, Cultivo de Frijol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
	----- Humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)-----					
Sistema						
TQ	0.21	0.20	0.24	0.24	0.26	0.24
SAQ<2	0.21	0.22	0.22	0.25	0.26	0.26
SAQ 5-7	0.22	0.21	0.25	0.28	0.30	0.31
SAQ>10	0.24	0.26	0.30	0.35	0.34	0.35
BS	0.25	0.22	0.24	0.24	0.28	0.24
Fertilización						
(+ F)	0.21	0.22	0.25	0.28	0.29	0.30
(- F)	0.23	0.23	0.25	0.27	0.28	0.27
Sistema	ns	ns	ns	0.057	0.040	0.047
Fertilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sist x Fert	ns	ns	ns	ns	ns	ns
r^2	0.92	0.94	0.90	0.85	0.96	0.93
CV%	13.2	8.6	13.2	15.4	7.1	12.1
DMS _{0.05}	--	--	--	0.06	0.03	0.06

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; DMS_{0.05} (Duncan)

Tabla 7.3. Valores promedio de humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) en profundidad, Madurez fisiológica, Cultivo de Frijol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
	----- Humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)-----					
Sistema						
TQ	0.21	0.22	0.22	0.21	0.22	0.21
SAQ<2	0.19	0.22	0.23	0.23	0.22	0.21
SAQ 5-7	0.22	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25
SAQ>10	0.22	0.23	0.25	0.28	0.28	0.31
BS	0.18	0.14	0.19	0.21	0.20	0.20
Fertilización						
(+ F)	0.20	0.21	0.23	0.23	0.24	0.25
(- F)	0.22	0.22	0.22	0.24	0.23	0.24
Sistema	ns	ns	ns	ns	ns	0.0049
Fertilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sist x Fert	ns	ns	ns	ns	ns	ns
r^2	0.92	0.96	0.93	0.75	0.93	0.92
CV%	13.0	8.5	9.9	18.8	10.8	15.0
DMS $_{0.05}$	--	--	--	--	--	0.07

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; DMS $_{0.05}$ (Duncan)

ANEXO 8.

- 8.1 Valores promedio de Lámina de agua (mm) en profundidad, Vegetativo 4, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.
- 8.2 Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, Floración, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.
- 8.3 Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, Llenado de grano, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.
- 8.4 Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tabla 8.1. Valores promedio de Lámina de agua (mm) en profundidad, Vegetativo 4, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
	----- Lámina de agua (mm)-----					
Sistema						
TQ	12.8	15.3	32.4	29.5	31.5	28.1
SAQ<2	20.9	20.0	45.9	40.9	45.2	42.1
SAQ 5-7	18.0	16.8	41.8	40.8	40.3	41.0
SAQ>10	20.2	19.2	50.4	51.7	51.1	51.9
BS	18.3	15.9	38.7	30.2	26.3	26.0
Fertilización						
+ F	17.3	17.4	41.0	39.6	41.3	39.2
- F	18.6	18.2	44.2	43.0	43.5	43.3
Sistema	ns	ns	0.035	0.066	0.064	0.035
Fertilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sist x Fert	ns	ns	ns	ns	ns	ns
r ²	0.80	0.86	0.83	0.77	0.84	0.80
CV%	22.9	15.9	15.3	28.3	24.8	32.0
DMS _{0.05}	--	--	8.18	14.49	12.78	16.34

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; DMS_{0.05} (Duncan)

Tabla 8.2. Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, Floración, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
	----- Lámina de agua (mm)-----					
Sistema						
TQ	33.5	31.6	69.3	62.9	61.4	52.2
SAQ<2	35.3	34.8	66.2	65.8	62.7	60.0
SAQ 5-7	35.4	33.5	64.5	69.6	68.1	61.8
SAQ>10	34.3	32.9	65.2	75.2	75.1	75.6
BS	33.5	31.5	65.4	61.5	44.3	54.7
Fertilización						
+ F	33.6	33.1	66.2	68.5	67.3	62.1
- F	36.0	33.5	66.4	67.3	65.8	62.1
Sistema	ns	ns	ns	ns	0.006	ns
Fertilidad	ns	ns	0.098	ns	ns	ns
Sist x Fert	ns	ns	ns	ns	ns	ns
r ²	0.89	0.77	0.96	0.73	0.98	0.95
CV%	7.5	11.3	5.3	14.0	6.3	90.0
DMS _{0.05}	--	--	--	--	--	10.5

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; DMS_{0.05} (Duncan)

Tabla 8.3. Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, Llenado de grano, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
	----- Lámina de agua (mm)-----					
Sistema						
TQ	33.1	29.5	70.5	63.8	59.2	51.6
SAQ<2	36.4	35.6	68.9	71.0	65.1	63.3
SAQ 5-7	36.4	33.6	65.2	69.8	67.9	66.3
SAQ>10	34.4	33.2	68.6	69.2	65.2	73.1
BS	42.3	36.3	56.9	61.4	60.3	70.4
Fertilización						
(+ F)	34.8	33.6	69.6	71.1	68.6	65.3
(- F)	35.7	32.6	66.6	65.8	61.0	32.3
Sistema	0.05	0.06	0.03	ns	ns	0.06
Fertilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sist x Fert	ns	ns	ns	ns	ns	ns
r ²	0.87	0.90	0.92	0.68	0.84	0.87
CV%	8.4	7.6	10.2	13.0	11.2	12.5
DMS _{0.05}	5.00	4.18	11.2	--	--	15.22

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; DMS_{0.05} (Duncan)

Tabla 8.4. Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, Madurez fisiológica, Cultivo de Maíz, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
	----- Lámina de agua (mm)-----					
Sistema						
TQ	31.5	31.3	65.9	67.1	65.2	58.3
SAQ<2	32.4	33.2	68.0	64.3	63.7	60.5
SAQ 5-7	35.7	32.6	67.8	71.6	71.5	68.4
SAQ>10	33.6	31.5	66.5	70.0	69.7	66.2
BS	35.1	31.7	65.3	66.6	57.7	55.2
Fertilización						
(+ F)	32.1	32.0	65.7	69.5	68.6	67.8
(- F)	34.7	32.5	68.7	66.6	66.5	59.3
Sistema	0.06	ns	ns	ns	0.06	0.04
Fertilidad	0.04	ns	ns	ns	ns	ns
Sist x Fert	0.09	ns	ns	ns	ns	ns
r ²	0.90	0.69	0.80	0.59	0.81	0.93
CV%	6.5	11.4	12.9	16.4	10.8	8.5
DMS _{0.05}	3.61	--	--	--	12.59	9.44

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; DMS_{0.05} (Duncan)

ANEXO 9.

- 9.1 Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, Floración, Cultivo de Fríjol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.
- 9.2 Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, Llenado de grano, Cultivo de Fríjol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.
- 9.3 Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, madurez fisiológica, Cultivo de Fríjol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tabla 9.1. Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, Floración, Cultivo de Fríjol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
	----- Lámina de agua (mm)-----					
Sistema						
TQ	33.2	31.8	67.7	62.4	60.9	57.4
SAQ<2	30.0	31.8	62.7	58.2	57.2	57.4
SAQ 5-7	34.3	33.6	62.3	68.0	65.2	66.1
SAQ>10	41.8	37.6	73.3	83.1	78.6	80.7
BS	44.4	33.7	42.5	61.9	68.4	58.7
Fertilización						
(+ F)	34.5	34.3	68.6	68.3	70.4	68.9
(- F)	33.9	32.5	62.7	65.0	58.8	60.7
Sistema	0.047	0.090	ns	0.051	0.070	0.016
Fertilidad	ns	ns	ns	ns	0.040	0.086
Sist x Fert	ns	0.090	ns	ns	ns	ns
r ²	0.93	0.87	0.77	0.80	0.95	0.96
CV%	10.5	8.8	14.9	15.7	7.6	7.6
DMS _{0.05}	6.15	4.87	--	17.00	8.75	8.58

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; DMS_{0.05} (Duncan)

Tabla 9.2 Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, Llenado de grano, Cultivo de Fríjol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
----- Lámina de agua (mm)-----						
Sistema						
TQ	21.0	20.8	49.1	49.4	53.7	48.9
SAQ<2	21.0	22.4	45.1	51.1	52.5	53.3
SAQ 5-7	22.7	21.9	50.9	56.0	60.0	62.3
SAQ>10	24.6	26.6	60.9	70.6	69.9	71.1
BS	25.7	22.6	49.6	49.9	57.1	48.9
Fertilización						
(+ F)	21.2	22.2	50.2	56.0	59.9	61.7
(- F)	23.2	23.2	51.2	55.6	57.1	55.6
Sistema	ns	ns	ns	0.057	0.041	ns
Fertilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sist x Fert	ns	ns	ns	ns	ns	ns
r ²	0.92	0.94	0.89	0.85	0.85	0.96
CV%	13.2	8.6	13.3	15.4	7.1	10.2
DMS _{0.05}	--	--	--	13.89	7.28	--

(+F) = Con fertilización, (-F) = Sin fertilización; DMS_{0.05} (Duncan)

Tabla 9.3 Valores promedio de lámina de agua (mm) en profundidad, Madurez fisiológica, Cultivo de Frijol, en los sistemas de uso de suelo: Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ), <2, 5-7 y >10 años y en Bosque Secundario (BS). Candelaria, Honduras. 2007.

Tratamiento	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm
	----- Lámina de agua (mm)-----					
Sistema						
TQ	21.1	22.0	44.8	43.5	44.2	42.1
SAQ<2	19.4	22.0	47.1	47.9	45.4	43.2
SAQ 5-7	22.5	21.3	44.1	47.4	49.6	51.8
SAQ>10	22.1	23.5	50.3	56.3	56.9	63.7
BS	18.6	14.6	38.0	43.7	40.3	40.7
Fertilización						
(+ F)	20.0	21.8	46.9	47.9	49.6	50.7
(- F)	22.5	22.3	45.6	48.7	47.8	48.5
Sistema	ns	ns	ns	ns	ns	0.0052
Fertilidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sist x Fert	ns	ns	ns	ns	ns	ns
r ²	0.92	0.96	0.93	0.75	0.93	0.92
CV%	13.01	8.5	9.9	18.8	10.7	15.1
DMS _{0.05}	--	--	--	--	--	15.11

(+F) = Con fertilización; (-F) Sin fertilización; DMS_{0.05} (Duncan)

ANEXO 10.

- 10.1 Correlaciones múltiples entre humedad volumétrica, densidad aparente, carbono orgánico, arena, limo y arcilla de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad .Variabilidad espacial. Candelaria, Honduras, 2006.

TALA Y QUEMA Prof=0-5

The CORR ProCedure

Variable	N	Mean	Std Dev	Simple StatistiCs			
				Sum	Minimum	Maximum	
DA	27	1.0	0.2	27.5	0.8	1.2	
HV	26	19.9	4.7	516.2	11.3	27.8	
C	27	1.7	0.5	45.8	1.0	2.9	
MO	27	2.9	0.9	78.8	1.7	5.0	
Arena	27	42.6	5.5	1150.0	35.6	58.1	
Limo	27	30.9	3.6	833.8	22.9	37.6	
Arcilla	27	26.5	3.7	716.4	18.7	32.7	

Pearson Correlation								
Coefficients		Prob > r under H0: Rho=0						
		Number of Observations						
	DA	HV	C	MO	Arena	Limo	Arcilla	
DA	1	0.7009 <.0001	-0.00846 0.9666	-0.02889 0.968	-0.0081 0.3712	-0.16063 0.4235	-0.10738 0.594	
HV	0.7009 <.0001	1	-0.02889 0.8886	-0.02893 0.8884	0.11447 0.5776	-0.02525 0.9025	-0.14519 0.4791	
C	-0.00846 0.9666	-0.02889 0.8886	1	0.99992 <.0001	-0.08271 0.6817	0.27521 0.1647	-0.14032 0.4851	
MO	-0.0081 0.968	-0.02893 0.8884	0.99992 <.0001	1	-0.08354 0.6787	0.27488 0.1652	-0.13878 0.49	
Arena	0.17916 0.3712	0.11447 0.5776	-0.08271 0.6817	-0.08354 0.6787	1	-0.732 <.0001	-0.75797 <.0001	
Limo	-0.16063 0.4235	-0.02525 0.9025	0.27521 0.1647	0.27488 0.1652	-0.732 <.0001	1	0.11053 0.5831	
Arcilla	-0.10738 0.594	-0.14519 0.4791	-0.14032 0.4851	-0.13878 0.49	-0.75797 <.0001	0.11053 0.5831	1	

----- TALA Y QUEMA Prof=5-10 -----

The CORR ProCedure
Simple StatistCs

Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum	Maximum
DA	26	1.2	0.0	31.9	1.2	1.3
HV	25	22.2	2.1	554.5	19.4	26.7
C	26	1.2	0.4	30.0	0.6	1.9
MO	26	2.0	0.7	51.4	1.1	3.2
Arena	26	42.1	6.3	1094.0	29.1	54.7
Limo	26	30.5	3.6	793.4	21.6	38.7
Arcilla	26	27.4	4.8	712.1	16.0	35.4

Pearson Correlation Coefficients								
Prob > r under H0: Rho=0								
Number of Observations								
	DA	HV	C	MO	Arena	Limo	Arcilla	
DA	1	0.20802 0.3184	0.11585 0.5731	0.11268 0.5837	0.36614 0.0658	-0.2083 0.3072	-0.31821 0.1131	
HV	0.20802 0.3184	1	-0.3234 0.1148	-0.31872 0.1205	0.48895 0.0131	-0.40412 0.0451	-0.32809 0.1093	
C	0.11585 0.5731	-0.3234 0.1148	1	0.99984 <.0001	-0.19329 0.3441	0.05552 0.7876	0.20996 0.3033	
MO	0.11268 0.5837	-0.31872 0.1205	0.99984 <.0001	1	-0.19558 0.3383	0.05427 0.7923	0.21387 0.2941	
Arena	0.36614 0.0658	0.48895 0.0131	-0.19329 0.3441	-0.19558 0.3383	1	-0.6397 0.0004	-0.81889 <.0001	
Limo	-0.2083 0.3072	-0.40412 0.0451	0.05552 0.7876	0.05427 0.7923	-0.6397 0.0004	1	0.08275 0.6878	
Arcilla	-0.31821 0.1131	-0.32809 0.1093	0.20996 0.3033	0.21387 0.2941	-0.81889 <.0001	0.08275 0.6878	1	

----- TALA Y QUEMA Prof=10-20 -----

The CORR ProCedure
Simple StatisticS

Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum	Maximum
DA	27	1.3	0.0	34.1	1.3	1.3
HV	27	22.4	2.6	604.8	16.2	26.5
C	27	0.9	0.3	23.6	0.4	1.5
MO	27	1.5	0.5	40.5	0.6	2.6
Arena	27	43.3	7.2	1168.0	28.6	58.0
Limo	27	30.0	4.0	810.4	22.7	40.2
Arcilla	27	26.7	5.7	721.1	14.7	37.6

Pearson Correlation CoeffiCients, N = 27

Prob > |r| under H0: Rho=0

	DA	HV	C	MO	Arena	Limo	Arcilla
DA	1	0.20558 0.3036	0.15908 0.428	0.16078 0.423	0.18286 0.3613	-0.08425 0.6761	-0.17136 0.3928
HV	0.20558 0.3036	1	-0.31123 0.1141	-0.30796 0.1181	0.23654 0.2349	-0.13267 0.5095	-0.20638 0.3017
C	0.15908 0.428	-0.31123 0.1141	1	0.99976 <.0001	-0.23998 0.2279	-0.07534 0.7088	0.35646 0.068
MO	0.16078 0.423	-0.30796 0.1181	0.99976 <.0001	1	-0.24763 0.213	-0.07309 0.7171	0.36455 0.0615
Arena	0.18286 0.3613	0.23654 0.2349	-0.23998 0.2279	-0.24763 0.213	1	-0.61287 0.0007	-0.83351 <.0001
Limo	-0.08425 0.6761	-0.13267 0.5095	-0.07534 0.7088	-0.07309 0.7171	-0.61287 0.0007	1	0.07429 0.7127
Arcilla	-0.17136 0.3928	-0.20638 0.3017	0.35646 0.068	0.36455 0.0615	-0.83351 <.0001	0.07429 0.7127	1

----- TALA Y QUEMA Prof=20-40 -----

The CORR ProCedure
Simple StatistiCs

Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum	Maximum
DA	26	1.3	0.1	32.5	1.2	1.4
HV	26	21.7	2.6	564.0	15.6	27.3
C	26	0.7	0.4	18.2	0.2	1.5
MO	26	1.2	0.6	31.2	0.4	2.6
Arena	26	43.3	7.1	1126.0	25.8	55.0
Limo	26	31.2	5.2	810.2	23.3	44.9
Arcilla	26	25.6	6.3	664.3	14.2	39.2

Pearson Correlation CoeffiCients, N = 26

Prob > |r| under H0: Rho=0

	DA	HV	C	MO	Arena	Limo	Arcilla
DA	1	0.48103 0.0129	-0.07053 0.7321	-0.07017 0.7334	0.46619 0.0164	-0.18292 0.3711	-0.37211 0.0612
HV	0.48103 0.0129	1	-0.11394 0.5794	-0.11482 0.5765	0.37552 0.0587	-0.14293 0.4861	-0.3022 0.1335
C	-0.07053 0.7321	-0.11394 0.5794	1	0.99989 <.0001	-0.4099 0.0376	-0.11595 0.5727	0.55772 0.0031
MO	-0.07017 0.7334	-0.11482 0.5765	0.99989 <.0001	1	-0.41319 0.0359	-0.11438 0.5779	0.56008 0.0029
Arena	0.46619 0.0164	0.37552 0.0587	-0.4099 0.0376	-0.41319 0.0359	1	-0.51113 0.0076	-0.69807 <.0001
Limo	-0.18292 0.3711	-0.14293 0.4861	-0.11595 0.5727	-0.11438 0.5779	-0.51113 0.0076	1	-0.25856 0.2022
Arcilla	-0.37211 0.0612	-0.3022 0.1335	0.55772 0.0031	0.56008 0.0029	-0.69807 <.0001	-0.25856 0.2022	1

-----SAQ<2 Prof=0-5-----

The CORR ProCedure
Simple StatistiCs

Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum	Maximum
DA	104	1.1	0.2	110.9	0.7	1.4
HV	100	21.0	4.6	2098.0	9.0	34.9
C	104	1.6	0.7	170.4	0.3	3.1
MO	104	2.8	1.2	292.7	0.4	5.3
Arena	104	43.2	5.9	4497.0	32.0	70.8
Limo	104	30.2	3.6	3144.0	15.4	39.0
Arcilla	104	26.5	3.8	2760.0	11.6	33.0

Pearson Correlation

CoeffiCients

	DA	HV	C	MO	Arena	Limo	Arcilla
DA	1	0.5275 <.0001	-0.25036 0.0104	-0.2514 0.01	0.04698 0.6358	0.01483 0.8812	-0.08696 0.3801
HV	0.5275 <.0001	1	-0.17285 0.0855	-0.17395 0.0835	0.01461 0.8853	0.06827 0.4997	-0.08956 0.3756
C	-0.25036 0.0104	-0.17285 0.0855	1	0.99995 <.0001	-0.2184 0.0259	0.11918 0.2282	0.22469 0.0218
MO	-0.2514 0.01	-0.17395 0.0835	0.99995 <.0001	1	-0.22089 0.0242	0.12142 0.2195	0.22641 0.0208
Arena	0.04698 0.6358	0.01461 0.8853	-0.2184 0.0259	-0.22089 0.0242	1	-0.77905 <.0001	-0.8055 <.0001
Limo	0.01483 0.8812	0.06827 0.4997	0.11918 0.2282	0.12142 0.2195	-0.77905 <.0001	1	0.25609 0.0087
Arcilla	-0.08696 0.3801	-0.08956 0.3756	0.22469 0.0218	0.22641 0.0208	-0.8055 <.0001	0.25609 0.0087	1

Prob > |r| under H0: Rho=0
Number of Observations

SAQ<2 Prof=5-10

The CORR ProCedure Simple StatistiCs								
Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum	Maximum		
DA	106	1.2	0.2	129.1	0.9	1.6		
HV	105	21.2	3.5	2222.0	13.6	32.4		
C	106	1.1	0.5	117.9	0.1	2.5		
MO	106	1.9	0.8	202.2	0.2	4.3		
Arena	106	42.8	6.4	4538.0	32.4	69.0		
Limo	106	30.0	4.6	3179.0	21.2	54.9		
Arcilla	106	27.2	4.3	2883.0	9.1	34.1		
Pearson Correlation								
CoeffiCients								
Prob > r under H0: Rho=0								
Number of Observations								
	DA	HV	C	MO	Arena	Limo	Arcilla	
DA	1	0.51465 <.0001	-0.11427 0.2435	-0.11518 0.2397	0.14077 0.1501	-0.04699 0.6324	-0.15729 0.1074	
HV	0.51465 <.0001	1	-0.17965 0.0667	-0.17809 0.0691	0.06812 0.4899	0.01895 0.8479	-0.12054 0.2206	
C	-0.11427 0.2435	-0.17965 0.0667	1	0.9999 <.0001	-0.24972 0.0098	-0.02571 0.7936	0.39837 <.0001	
MO	-0.11518 0.2397	-0.17809 0.0691	0.9999 <.0001	1	-0.25262 0.009	-0.02313 0.8139	0.39997 <.0001	
Arena	0.14077 0.1501	0.06812 0.4899	-0.24972 0.0098	-0.25262 0.009	1	-0.73918 <.0001	-0.6968 <.0001	
Limo	-0.04699 0.6324	0.01895 0.8479	-0.02571 0.7936	-0.02313 0.8139	-0.73918 <.0001	1	0.03203 0.7445	
Arcilla	-0.15729 0.1074	-0.12054 0.2206	0.39837 <.0001	0.39997 <.0001	-0.6968 <.0001	0.03203 0.7445	1	

----- SAQ<2 Prof=10-20 -----

The CORR ProCedure
Simple StatistiCs

Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum	Maximum
DA	107	1.4	0.1	144.8	1.1	1.7
HV	103	23.0	3.4	2368.0	16.0	31.9
C	107	0.9	0.4	91.2	0.2	2.5
MO	107	1.5	0.7	156.4	0.3	4.2
Arena	107	44.3	8.1	4742.0	32.3	69.0
Limo	107	29.8	5.2	3184.0	14.4	45.9
Arcilla	107	25.9	5.6	2775.0	10.3	35.4

Pearson Correlation

CoeffiCients

	DA	HV	C	MO	Arena	Limo	Arcilla
DA	1	0.32339 0.0009	-0.2002 0.0387	-0.20166 0.0373	-0.00708 0.9423	0.03208 0.7429	-0.02146 0.8264
HV	0.32339 0.0009	1	-0.28545 0.0035	-0.28241 0.0038	-0.10963 0.2703	0.03994 0.6887	0.12136 0.222
C	-0.2002 0.0387	-0.28545 0.0035	1	0.99989 <.0001	-0.31295 0.001	-0.01358 0.8896	0.46421 <.0001
MO	-0.20166 0.0373	-0.28241 0.0038	0.99989 <.0001	1	-0.31799 0.0008	-0.00925 0.9246	0.46746 <.0001
Arena	-0.00708 0.9423	-0.10963 0.2703	-0.31295 0.001	-0.31799 0.0008	1	-0.72492 <.0001	-0.76992 <.0001
Limo	0.03208 0.7429	0.03994 0.6887	-0.01358 0.8896	-0.00925 0.9246	-0.72492 <.0001	1	0.11859 0.2238
Arcilla	-0.02146 0.8264	0.12136 0.222	0.46421 <.0001	0.46746 <.0001	-0.76992 <.0001	0.11859 0.2238	1

SAQ<2 Prof=20-40

The CORR

ProCedure

Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum	Maximum
DA	106	1.4	0.2	149.8	0.9	1.7
HV	106	23.8	5.0	2519.0	13.0	53.6
C	106	0.7	0.4	70.4	0.1	1.7
MO	106	1.1	0.6	120.8	0.2	3.0
Arena	106	45.2	7.6	4788.0	29.6	65.3
Limo	106	30.7	6.0	3249.0	17.0	47.6
Arcilla	106	24.2	6.1	2562.0	11.6	37.0

Pearson Correlation Coefficients, N = 106

Prob > |r| under H0:

Rho=0

	DA	HV	C	MO	Arena	Limo	Arcilla
DA	1	0.56603 <.0001	-0.21926 0.0239	-0.2193 0.0239	-0.04207 0.6685	0.00389 0.9684	0.04918 0.6167
HV	0.56603 <.0001	1	-0.18816 0.0534	-0.19004 0.051	-0.04856 0.6211	-0.00047 0.9962	0.06297 0.5214
C	-0.21926 0.0239	-0.18816 0.0534	1	0.99984 <.0001	-0.30039 0.0018	-0.13464 0.1688	0.50688 <.0001
MO	-0.2193 0.0239	-0.19004 0.051	0.99984 <.0001	1	-0.30309 0.0016	-0.13044 0.1826	0.50613 <.0001
Arena	-0.04207 0.6685	-0.04856 0.6211	-0.30039 0.0018	-0.30309 0.0016	1	-0.62158 <.0001	-0.64015 <.0001
Limo	0.00389 0.9684	-0.00047 0.9962	-0.13464 0.1688	-0.13044 0.1826	-0.62158 <.0001	1	-0.20387 0.0361
Arcilla	0.04918 0.6167	0.06297 0.5214	0.50688 <.0001	0.50613 <.0001	-0.64015 <.0001	-0.20387 0.0361	1

----- BOSQUE SECUNDARIO Prof=0-5 -----

The CORR ProCedure
Simple StatistIcs

Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum	Maximum
DA	26	1.2	0.1	30.9	1.1	1.3
HV	26	24.1	4.2	626.4	17.9	32.5
C	26	1.7	0.6	44.8	0.7	3.3
MO	26	3.0	1.1	77.0	1.2	5.7
Arena	26	42.9	4.7	1116.0	33.5	54.5
Limo	26	30.8	3.6	800.2	24.2	39.4
Arcilla	26	26.3	3.2	683.5	17.5	31.9

Pearson Correlation CoeffiCients, N = 26
Prob > |r| under H0: Rho=0

	DA	HV	C	MO	Arena	Limo	Arcilla
DA	1	0.48968 0.0111	-0.01596 0.9383	-0.01264 0.9511	-0.05173 0.8018	0.17674 0.3878	-0.12224 0.5519
HV		1	0.34526 0.0841	0.34605 0.0833	-0.18857 0.3562	0.25175 0.2147	-0.01309 0.9494
C			1	0.99996 <.0001	0.0098 0.9621	0.23464 0.2486	-0.28018 0.1656
MO				1	0.01003 0.9612	0.23583 0.2461	-0.28184 0.163
Arena					1	-0.72286 <.0001	-0.62761 0.0006
Limo						1	-0.08418 0.6826
Arcilla							1

----- BOSQUE SECUNDARIO Prof=5-10 -----

The CORR ProCedure
Simple StatistiCs

Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum	Maximum
DA	27	1.3	0.1	36.0	1.2	1.5
HV	27	22.4	3.6	605.9	15.7	28.1
C	27	1.2	0.4	31.5	0.5	1.8
MO	27	2.0	0.7	54.1	0.9	3.1
Arena	27	43.2	7.3	1167.0	33.2	63.7
Limo	27	29.8	4.9	805.3	18.7	40.2
Arcilla	27	26.9	4.1	727.6	17.6	32.3

Pearson Correlation CoeffiCients, N = 27								
Prob > r under H0: Rho=0								
	DA	HV	C	MO	Arena	Limo	Arcilla	
DA	1	0.46298 0.015	-0.11211 0.5777	-0.11221 0.5774	-0.06772 0.7371	0.09297 0.6446	0.01223 0.9517	
HV	0.46298 0.015	1	-0.14451 0.4721	-0.13797 0.4925	-0.23916 0.2296	0.27197 0.17	0.10476 0.6031	
C	-0.11211 0.5777	-0.14451 0.4721	1	0.99987 <.0001	-0.03368 0.8676	0.03956 0.8447	0.01567 0.9382	
MO	-0.11221 0.5774	-0.13797 0.4925	0.99987 <.0001	1	-0.0405 0.841	0.04489 0.8241	0.02152 0.9151	
Arena	-0.06772 0.7371	-0.23916 0.2296	-0.03368 0.8676	-0.0405 0.841	1	-0.8501 <.0001	-0.77757 <.0001	
Limo	0.09297 0.6446	0.27197 0.17	0.03956 0.8447	0.04489 0.8241	-0.8501 <.0001	1	0.32991 0.0928	
Arcilla	0.01223 0.9517	0.10476 0.6031	0.01567 0.9382	0.02152 0.9151	-0.77757 <.0001	0.32991 0.0928	1	

----- BOSQUE SECUNDARIO Prof=10-20 -----

The CORR ProCedure

Simple StatistiCs

Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum	Maximum
DA	26	1.4	0.2	37.5	1.3	1.7
HV	25	24.0	4.7	600.4	17.4	37.3
C	26	0.9	0.3	23.4	0.4	1.6
MO	26	1.5	0.6	40.1	0.7	2.7
Arena	26	43.8	8.0	1138.0	32.5	66.6
Limo	26	29.3	4.6	760.9	19.3	40.9
Arcilla	26	27.0	5.8	701.5	14.2	34.8

Pearson Correlation

CoeffiCients

Prob > |r| under H0: Rho=0

Number of Observations

	DA	HV	C	MO	Arena	Limo	Arcilla
DA	1	0.41125 0.0411	-0.24013 0.2374	-0.24504 0.2276	0.10086 0.6239	-0.1225 0.5511	-0.04211 0.8382
HV	0.41125 0.0411	1	-0.1444 0.491	-0.13736 0.5126	-0.14819 0.4796	0.02087 0.9211	0.19252 0.3565
C	-0.24013 0.2374	-0.1444 0.491	1	0.99982 <.0001	-0.30882 0.1248	0.02533 0.9022	0.40746 0.0388
MO	-0.24504 0.2276	-0.13736 0.5126	0.99982 <.0001	1	-0.31806 0.1133	0.03035 0.883	0.41617 0.0345
Arena	0.10086 0.6239	-0.14819 0.4796	-0.30882 0.1248	-0.31806 0.1133	1	-0.69735 <.0001	-0.8176 <.0001
Limo	-0.1225 0.5511	0.02087 0.9211	0.02533 0.9022	0.03035 0.883	-0.69735 <.0001	1	0.15752 0.4422
Arcilla	-0.04211 0.8382	0.19252 0.3565	0.40746 0.0388	0.41617 0.0345	-0.8176 <.0001	0.15752 0.4422	1

----- BOSQUE SECUNDARIO Prof=20-40 -----

The CORR ProCedure
Simple StatistiCs

Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum	Maximum
DA	25	1.4	0.0	35.3	1.4	1.5
HV	23	22.5	4.3	518.2	14.1	34.1
C	25	0.6	0.3	15.7	0.2	1.3
MO	25	1.1	0.5	27.0	0.3	2.3
Arena	25	44.8	10.1	1120.0	30.8	75.2
Limo	25	29.6	5.5	739.6	13.6	43.4
Arcilla	25	25.6	7.5	640.6	11.2	37.6

Pearson Correlation

CoeffiCients

Prob > |r| under H0:

Rho=0

Number of Observations

	DA	HV	C	MO	Arena	Limo	Arcilla
DA	1	0.12468 0.5708	-0.29947 0.1459	-0.29688 0.1496	-0.16364 0.4344	0.14777 0.4809	0.11244 0.5926
HV	0.12468 0.5708	1	-0.11974 0.5863	-0.11168 0.6119	-0.20828 0.3403	0.28394 0.1892	0.06902 0.7543
C	-0.29947 0.1459	-0.11974 0.5863	1	0.99986 <.0001	-0.34612 0.0901	-0.12068 0.5656	0.55319 0.0041
MO	-0.29688 0.1496	-0.11168 0.6119	0.99986 <.0001	1	-0.35706 0.0797	-0.10937 0.6028	0.5596 0.0036
Arena	-0.16364 0.4344	-0.20828 0.3403	-0.34612 0.0901	-0.35706 0.0797	1	-0.68335 0.0002	-0.84365 <.0001
Limo	0.14777 0.4809	0.28394 0.1892	-0.12068 0.5656	-0.10937 0.6028	-0.68335 0.0002	1	0.18455 0.3772
Arcilla	0.11244 0.5926	0.06902 0.7543	0.55319 0.0041	0.5596 0.0036	-0.84365 <.0001	0.18455 0.3772	1

ANEXO 11.

- 11.1 Correlaciones múltiples entre variables de suelo, clima y planta para el cultivo de Maíz. Candelaria, Honduras, 2006.
- 11.2 Correlaciones múltiples entre variables de suelo, clima y planta para el cultivo de Fríjol. Candelaria, Honduras, 2006.

The CORR Procedure

Pearson Correlation Coefficients

Prob > |r| under H0: Rho=0

Number of Observations

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
	fl	lig	md	ae6	heto	feto	hdh	fdh	tha3	kwpp	kusle	ae6	arcilla	arena	fprod	awccl	awcse	pend	tinicio	lesc30	linf30	sitha30	stockc			
1	fl	0.67117	0.52972	0.80963	-0.12699	-0.01709	-0.03475	0.43594	0.35779	-0.28931	-0.24838	-0.27758	-0.04299	0.20449	-0.55557	0.34431	0.11954	-0.03994	-0.53312	-0.48299	0.39443	-0.28511	0.33889	-0.20141	0.12943	
2	lig	0.67117	1	0.43861	0.15183	-0.15785	-0.23154	-0.3164	0.19872	0.42118	-0.39178	-0.45965	-0.4725	-0.1906	0.30409	-0.50381	0.27483	0.32619	-0.21627	-0.2563	-0.46346	0.60885	-0.09664	0.20573	-0.37977	0.06504
3	md	0.52972	0.43861	1	0.35757	-0.1246	-0.00944	0.03955	0.16832	0.0836	-0.17504	-0.17508	-0.20447	-0.17741	0.30025	-0.57502	0.30445	0.13261	-0.24135	-0.24916	-0.46865	0.25701	-0.0942	0.17931	-0.15921	0.09022
4	v4	0.80963	0.61583	0.35757	1	-0.12051	-0.05664	-0.2268	0.32538	0.46218	-0.40492	-0.33413	-0.35835	0.17361	0.17354	-0.43662	0.14431	0.16763	-0.02394	-0.23081	-0.46123	0.26189	-0.1431	0.21274	-0.2712	0.17608
5	esc	-0.21699	-0.15785	-0.1246	-0.12051	1	0.39857	0.12225	-0.48305	-0.40029	0.45073	0.50883	0.51181	0.0511	-0.00352	-0.20399	-0.12013	0.04346	0.20632	0.18129	0.43635	-0.59414	0.96534	-0.95627	0.52907	-0.22976
6	heto	0.9326	0.2452	0.9627	0.779	0.0395	1	0.8489	-0.56132	-0.24447	0.40118	0.08358	0.07136	-0.05448	0.19546	-0.05658	-0.04681	-0.04699	-0.20732	-0.03616	-0.03856	-0.48485	0.35065	-0.39581	0.07973	-0.28768
7	feto	-0.03475	-0.3164	0.03955	-0.2268	0.12225	0.03848	1	0.29251	-0.79135	0.62009	0.5824	0.58006	-0.11345	0.10494	-0.20734	0.05164	-0.62539	0.10748	-0.29066	0.31746	-0.06969	0.06734	-0.00556	0.53478	0.12427
8	hdh	0.43594	0.19872	0.16832	0.32538	-0.48305	-0.56132	0.29251	1	0.32963	-0.17423	0.08146	0.082	0.17385	-0.22537	-0.26445	0.28805	-0.31914	0.19517	-0.28066	0.004	0.29955	-0.59624	0.64557	0.08108	0.38896
9	fdh	0.35779	0.42118	0.0836	0.46218	-0.40029	-0.24447	-0.79135	0.32963	1	-0.67574	-0.51408	-0.51408	0.23388	-0.2335	0.00122	0.15282	0.36576	-0.00796	0.07832	-0.32858	0.19099	-0.4408	0.4036	-0.46687	0.10265
10	tha3	-0.28931	-0.39178	-0.17504	-0.40492	0.45073	0.40118	0.62009	-0.17423	-0.67574	1	0.6825	0.70378	-0.23529	-0.00633	0.06932	-0.21393	-0.34099	0.28894	0.02816	0.46432	-0.44273	0.35811	-0.39127	0.59149	-0.09343
11	kwpp	-0.24838	-0.45965	-0.17508	-0.33413	0.50883	0.08358	0.5824	0.08146	-0.51425	0.6825	1	0.98633	-0.04507	-0.07829	0.00199	-0.45697	0.5175	0.05178	0.522	-0.44804	0.38626	-0.38036	0.96627	0.15723	
12	kusle	-0.27758	-0.4725	-0.20447	-0.35835	0.51181	0.07136	0.58006	0.082	-0.51408	0.70378	0.99693	1	0.03515	-0.31429	-0.05754	0.0019	-0.45116	0.5307	0.07176	0.56687	-0.46106	0.38411	-0.38666	0.95715	0.16383
13	ae6	-0.04299	-0.1906	-0.17741	0.17361	0.0511	-0.05448	-0.11345	0.17385	0.23388	-0.23529	0.04507	0.03515	1	-0.20757	0.06969	-0.20192	-0.16018	0.32806	0.2431	0.04271	-0.34563	0.03092	-0.06814	0.07307	-0.13033
14	da	0.20449	0.3409	0.30025	0.17354	-0.00352	0.19546	0.10494	-0.22537	-0.2335	-0.00633	-0.28536	-0.31429	-0.20757	1	-0.31987	0.12726	-0.03434	-0.51768	-0.06	-0.54542	0.34172	0.10689	-0.01599	-0.31737	-0.46512
15	arena	-0.55557	-0.50381	-0.57502	-0.43662	-0.20399	-0.05658	-0.20734	-0.26445	0.00122	0.06932	-0.07829	-0.05754	0.06969	-0.31987	1	-0.5951	0.00075	0.213	0.38121	0.24602	-0.13113	-0.15989	0.07051	-0.15566	0.1078
16	arcilla	0.34431	0.27483	0.30445	0.14431	-0.12013	-0.04681	0.05164	0.28805	0.15282	-0.21393	0.02199	0.0019	-0.20192	0.12726	-0.5951	1	-0.07425	-0.30525	-0.32	-0.14882	0.22071	-0.16095	0.15854	0.14388	0.01952
17	fprod	0.11954	0.32619	0.13261	0.16763	0.04346	-0.04699	-0.62539	-0.31914	0.36576	-0.34099	-0.45697	-0.45116	-0.16018	-0.03434	0.00075	-0.07425	1	-0.01886	0.03537	-0.1389	0.00479	0.09165	-0.20497	-0.39358	-0.27016
18	awccl	-0.03994	-0.21627	-0.24135	-0.02394	0.20632	0.10748	0.19517	-0.00796	0.28894	0.5175	0.5307	0.32806	-0.51768	0.213	-0.30525	-0.01886	1	0.10371	0.50908	-0.37983	0.10712	-0.16266	0.50495	0.03498	
19	awcse	-0.53312	-0.2563	-0.24916	-0.23081	0.18129	-0.03616	-0.29066	-0.28066	0.07832	0.02816	0.05178	0.07176	0.2431	-0.06	0.38121	-0.32	0.03537	1	0.10371	1	0.22563	-0.14192	0.21365	-0.23966	0.03237
20	pend	-0.48299	-0.46346	-0.46865	-0.46123	0.43635	-0.03856	0.31746	0.004	-0.32858	0.46432	0.522	0.56687	0.04271	-0.54542	0.24602	-0.14882	-0.1389	0.50908	0.22563	1	-0.44567	0.33524	-0.43278	0.52817	0.17804
21	tinicio	0.39443	0.60885	0.25701	0.26189	-0.59414	-0.48485	-0.06969	0.29955	0.19099	-0.44273	-0.44804	-0.46106	-0.34963	0.34172	-0.13113	0.22071	0.04797	-0.37983	-0.14192	-0.44567	1	-0.48615	0.60202	-0.42454	0.32841
22	lesc30	0.28511	-0.09664	-0.0942	-0.1431	0.96534	0.35065	0.06734	-0.59824	-0.4408	0.5811	0.38626	0.38411	0.03092	0.10669	-0.15989	-0.16095	0.09165	0.10712	0.21365	0.33524	-0.48615	1	-0.95734	0.40359	-0.26735
23	linf30	0.33889	0.20573	0.17931	0.21274	-0.95627	-0.39581	-0.00556	0.64557	0.4036	-0.39127	-0.38036	-0.38666	-0.06814	-0.01599	0.07051	0.15854	-0.20497	-0.16266	-0.23966	-0.43278	0.60202	-0.95734	1	-0.41629	0.3393
24	sitha30	-0.20141	-0.37977	-0.15921	-0.2712	0.52907	0.07973	0.53478	0.08108	-0.46867	0.59149	0.96627	0.95715	0.07051	-0.15566	0.14388	-0.39358	0.50495	0.03237	0.52817	-0.42454	0.40359	-0.41629	1	0.14883	
25	stockc	0.12943	0.06504	0.09022	0.17608	-0.22976	-0.28768	0.12427	0.38896	0.10265	-0.09343	0.15723	0.16383	-0.13033	-0.46512	0.1078	0.01952	-0.27016	0.03498	0.0117	0.17804	0.32841	-0.26735	0.3393	0.14883	1

The CORR Procedure

Pearson Correlation Coefficients

Prob > |r| under H0: Rho=0

Number of Observations

	fl	lg	md	esc	heto	feto	hdh	fdh	tha3	kwepp	kusle	aea6	da	arena	arcilla	fprod	awcll	awcse	pend	tinicio	lesc30	linf30	stha30	stockc	
fl	1	0.67117	0.52972	-0.21699	-0.01709	-0.03475	0.43594	0.35779	-0.28931	-0.24838	-0.27758	-0.04299	0.20449	-0.55557	0.34431	0.11954	-0.03994	-0.53312	-0.48299	0.39443	-0.26511	0.33889	-0.20141	0.12943	
lg	0.0001	1	0.0045	0.277	0.9326	0.8634	0.023	0.0669	0.1433	0.2116	0.161	0.8314	0.3062	0.0026	0.0786	0.5962	0.8432	0.0042	0.0107	0.0418	0.1814	0.0838	0.3138	0.5199	
md	0.67117	0.0001	1	0.43861	-0.15785	-0.23154	-0.3164	0.19872	0.42118	-0.39178	-0.45965	-0.4725	-0.1906	0.30409	-0.50381	0.27483	0.32619	-0.21627	-0.2563	-0.46346	0.60865	-0.0864	0.20573	-0.37977	0.06504
esc	0.0001	0.43861	0.0001	1	0.0221	0.4317	0.2452	0.1079	0.3204	0.0287	0.0433	0.0159	0.0128	0.3409	0.123	0.0074	0.1653	0.1969	0.0149	0.0008	0.6316	0.3033	0.0507	0.7472	
heto	0.52972	0.43861	0.0045	0.0221	1	-0.1246	-0.00944	0.03955	0.16832	0.0836	-0.17504	-0.17508	-0.20447	-0.17741	0.30025	-0.57502	0.30445	0.13261	-0.24135	-0.24916	-0.46865	0.25701	-0.0942	0.17931	0.09022
feto	0.0045	0.0045	0.0221	-0.1246	0.03955	1	0.39857	0.12225	-0.48305	-0.40029	0.45073	0.50883	0.51181	0.0511	-0.00352	-0.20399	-0.12013	0.04346	0.20632	0.18129	0.43635	-0.59414	0.96534	-0.95627	0.52907
hdh	0.35779	0.0669	0.1433	0.023	0.0669	0.1433	1	0.0067	0.0183	0.0067	0.0064	0.8002	0.9861	0.3074	0.5506	0.8477	0.3018	0.3655	0.0229	0.0011	<0.001	<0.001	0.0045	0.249	
fdh	0.28931	0.24838	0.27758	0.04299	0.20449	0.55557	0.34431	0.11954	-0.03994	-0.53312	-0.48299	0.39443	-0.26511	0.33889	-0.20141	0.12943	0.0838	0.3138	0.5199	0.06504	-0.37977	0.06504	0.3138	0.5199	
tha3	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	
kwepp	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	
kusle	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	
aea6	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	
da	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	
arena	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	
arcilla	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	
fprod	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	
awcll	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	
awcse	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	
pend	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	
tinicio	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	
lesc30	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	
linf30	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	
stha30	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	
stockc	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	0.277	

