

ESTUDIOS HIDROLOGICOS Y EDAFOLOGICOS PARA CONSERVACION
DE AGUAS Y SUELOS EN TURRIALBA, COSTA RICA.

Tesis de Grado Magister Scientiae

Edgar Amézquita Collazos



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales
Turrialba, Costa Rica
Setiembre, 1974

FE DE ERRATA - Página 129, último párrafo

DEBE LEERSE:

Se considera suelos con diferente capacidad de almacenaje de agua y se asume que un 20% de probabilidad de déficit atmosférica de agua no es problema.

1.- Suelo con capacidad de almacenaje de 30 mm y déficit de 30 mm o más por mes.

ESTUDIOS HIDROLOGICOS Y EDAFOLOGICOS PARA LA CONSERVACION DE
AGUAS Y SUELOS EN TURRIALBA, COSTA RICA

Tesis

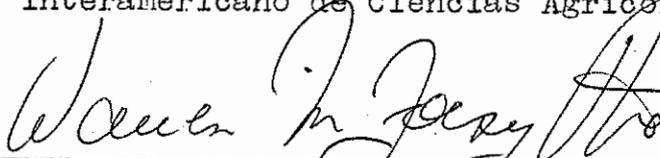
Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados
como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

en el

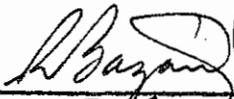
Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:



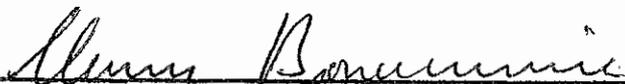
Warren M. Forsythe, Ph.D.

Consejero



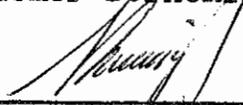
Rufo Bazán, Ph.D.

Comité



Elemer Bornemisza, Ph.D.

Comité



Victor Quiroga, M.S.

Comité

Setiembre de 1974

A la memoria de mi padre, con todo respeto

A mi madre, con admiración y cariño

A mi esposa y mis hijos, cariñosamente

A mis hermanos, con afecto sincero

A mis profesores

A mis amigos

Dedico este trabajo, fruto del esfuerzo y de la disciplina.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus sinceros agradecimientos:

Al Dr. Warren Forsythe, Consejero Principal, por sus valiosos consejos, sugerencias y colaboración durante el desarrollo del trabajo y durante su estadía en Turrialba.

A los señores miembros del Comité Consejero, Drs. Rufo Bazán y Elemer Bornemisza e Ing. Víctor Quiroga, por la colaboración prestada en la revisión del original y por las sugerencias para mejorar el trabajo.

Al Dr. Mario Blasco L., Consejero Principal inicialmente, y de quién el autor ha recibido siempre apoyo y estímulo.

Al Dr. Jorge Soria V., Jefe del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales, por la atención y colaboración brindada durante la permanencia en la Escuela.

Al personal de la Unidad de Estadística y Computación y especialmente al Ing. Víctor Quiroga y al Sr. Manuel Zamora con cuya valiosa colaboración fue posible llevar a cabo el trabajo.

A la Sra. Marigold Genis, Secretaria de Enseñanza, por la colaboración siempre prestada.

A los compañeros, Ings. Fernando Mojica y Amilkar Huertas, por sus desinteresados servicios.

A los Srs. Alfredo Picado, Eduardo Tencio y Gerardo Cedeño del Laboratorio de Suelos de la Escuela.

Al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA y al Gobierno de Holanda, gracias a cuyo apoyo económico fue posible realizar los estudios de postgrado.

A todos quienes en conjunto contribuyeron a la feliz realización de sus estudios y del presente trabajo.

BIOGRAFIA

El autor nació en Popayán, Colombia, el 9 de marzo de 1944, Finalizó estudios de Bachiller Superior en el Colegio Champagnat de su ciudad natal. En 1965 ingresó a la Universidad de Nariño como estudiante de la Facultad de Ciencias Agrícolas, de la cual obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo el 20 de enero de 1970.

En febrero de 1970 ingresó como profesor, de física y química de suelos y de conservación de suelos, al Departamento de Química y Suelos de la Universidad del Tolima, de la cual fue Secretario del Consejo Académico y Tesorero del Consejo Profesorial.

En setiembre de 1972 suspendió sus servicios a la Universidad del Tolima e ingresó a la Escuela para Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, en Turrialba, Costa Rica, en la cual realizó estudios de especialización en el área de suelos dentro del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales, obteniendo el grado de Magister Scientiae en setiembre de 1974, en la especialidad de Física y Conservación de Suelos.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	
2.1 El análisis de las lluvias	4
2.2 Las propiedades físicas y la productividad	6
2.3 La ecuación universal de pérdida de suelo	7
2.3.1 El factor pérdida permisible (A)	12
2.3.2 El factor lluvia (R)	13
2.3.3 El factor erodabilidad (K)	17
2.3.4 El factor longitud de la pendiente (L)	20
2.3.5 El factor pendiente (S)	21
2.3.6 El factor cultivo (C)	23
2.3.7 El factor prácticas de conservación (P)	25
2.4 El balance hídrico	26
3. MATERIALES Y METODOS	
3.1 Localización	34
3.2 Análisis de lluvias	34
3.2.1 Intensidad de las lluvias de 5-60 min y de 2-24 horas	34
3.2.2 Determinación de los intervalos de retorno para las intensidades máximas de lluvia	35
3.2.3 Frecuencia de hora de inicio de las lluvias	35
3.2.4 Probabilidad de días húmedos y secos	36
3.2.5 Distribución mensual y anual de las lluvias	37
3.2.6 Distribución y probabilidad de lluvias semanales	37
3.3 Caracterización física de perfiles de las series Instituto (La Montaña) y Colorado	38
3.3.1 Unidad de muestreo	38
3.3.2 Características físicas estudiadas	41
3.4 La aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo	43
3.4.1 Determinación del factor lluvia (R)	43
3.4.2 Determinación del factor erodabilidad del suelo (K)	44
3.4.3 Determinación de los factores longitud-pendiente (LS)	44
3.4.4 Determinación del factor cultivo (C)	47
3.5 El balance hídrico (precipitación - evaporación)	49

4.	RESULTADOS	
4.1	Análisis de lluvias	51
4.1.1	Intensidad de las lluvias de 5-60 min y de 2-24 horas	51
4.1.2	Intervalos de retorno para intensidades máximas	55
4.1.3	Frecuencia de hora de inicio de las lluvias	55
4.1.4	Probabilidad de días húmedos y secos	68
4.1.5	Probabilidad de la distribución mensual y anual de las lluvias empleando la curva normal	68
4.1.6	Distribución y probabilidades de la lluvia semanal	71
4.2	Caracterización física de perfiles en las series Instituto y Colorado	71
4.2.1	Características físicas de la serie Instituto	71
4.2.2	Resultados obtenidos conjuntamente con las pruebas de infiltración	79
4.2.2.1	Infiltración	79
4.2.2.2	Comportamiento de la humedad en función del y los días después de la infiltración	83
4.2.2.3	Comportamiento de la succión en función del y los días después de la infiltración	83
4.2.2.4	Resistencia a la penetración y resistencia tangencial al corte a capacidad de campo	83
4.2.3	La humedad volumétrica, el espacio aéreo y la succión	86
4.2.4	Características físicas de la serie Colorado	94
4.2.5	Resultados obtenidos conjuntamente con las pruebas de infiltración	97
4.2.5.1	Infiltración	97
4.2.5.2	Comportamiento de la humedad en función del y los días después de la infiltración	97
4.2.5.3	Comportamiento de la succión en función del y los días después de la infiltración	100
4.2.5.4	Resistencia a la penetración y resistencia tangencial al corte a capacidad de campo	100
4.2.6	La humedad volumétrica, el espacio aéreo y la succión	102

4.3	Los factores de la ecuación universal de pérdida de suelo	106
4.3.1	El factor lluvia (R)	106
4.3.2	El factor erodabilidad (K)	108
4.3.3	El factor cultivo (C)	111
4.3.4	El factor longitud-pendiente (LS)	111
4.4	El balance hídrico	113
5.	DISCUSION	
5.1	Estudios sobre lluvias	114
5.1.1	Intensidad e intervalos de retorno	114
5.1.2	Distribución de frecuencia y probabilidad de lluvias	118
5.2	Caracterización física del suelo	122
5.3	Aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo	125
5.4	El balance hídrico	129
6.	CONCLUSIONES	135
7.	RESUMEN	137
7a.	SUMMARY	139
8.	LITERATURA CITADA	141
	APENDICE	152

LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro no.</u>	<u>página</u>
1. Rango de valores usados para pérdida permisible	13
2. Rango de valores encontrados en la literatura para el factor R	16
3. Rango de valores encontrados en la literatura para el factor K	20
4. Rango de valores encontrados en la literatura para el factor LS	23
5. Influencia de la cobertura en las pérdidas de suelo	24
6. Rango de valores encontrados en la literatura para el factor P	26
7. Coeficientes de siembra según % de la estación de crecimiento (estos valores deben calcularse para los valores de evaporación en tanque Clase A, reales o calculados)	32
8. Intensidades máximas anuales e intensidad máxima absoluta entre 5 y 60 min para los años de estudio en mm/hora	52
9. Intensidades máximas anuales e intensidad máxima absoluta entre 1 y 12 horas para los años de estudio. mm/hora	53
10. Intensidades máximas anuales e intensidad máxima absoluta entre 13 y 24 horas para los años de estudio. mm/hora	54
11. Distribución de frecuencia mensual y anual de la hora de inicio de las lluvias	64
12. Areas probabilísticas generadas bajo la curva normal para determinar la probabilidad de ocurrencia de diferentes cantidades de lluvia mensual, con base en 30 años de registro (1944-1974)	69
13. Areas probabilísticas generadas bajo la curva normal para determinar la probabilidad de ocurrencia de diferentes cantidades de lluvia anual, con base en 30 años de registro (1944-1974)	70
14. Probabilidad de caída de lluvia semanal generadas por distribución gamma para varios intervalos de clase. mm	72

<u>Cuadro no.</u>	<u>página</u>
15. Promedios para las características físicas estudiadas. Unidades de muestreo 1, 2 y 3. Serie Instituto (La Montaña)	75
16. Promedio para las características físicas estudiadas. Unidades de muestreo 4, 5 y 6. Serie Instituto (La Montaña)	76
17. Desviaciones estándar para las características físicas estudiadas. Unidades de muestreo 1, 2 y 3. Serie Instituto (La Montaña)	77
18. Desviaciones estándar de las características físicas estudiadas en las unidades de muestreo 4, 5 y 6. Serie Instituto (La Montaña)	78
19. Perfil ponderado de crecimiento para las propiedades físicas generales de las unidades de muestreo de la serie Instituto	80
20. Promedios y desviaciones correspondientes a los perfiles ponderados. Perfil promedio de crecimiento de la serie Instituto (La Montaña)	81
21. Promedios y desviaciones estandar (15 repeticiones) obtenidos para resistencia a la penetración, resistencia tangencial de corte y humedad gravimétrica al cuarto día de la infiltración. Serie Instituto	86
22. Promedios y desviaciones estandar obtenidos a partir de 18 repeticiones para las propiedades físicas generales de la serie Colorado	96
23. Promedios y desviaciones estandar (18 repeticiones) obtenidas para resistencia a la penetración, resistencia tangencial al corte y humedad gravimétrica del cuarto día de la infiltración. Serie Colorado	102
24. Valores mensuales, promedio mensual, porcentaje del total, porcentaje acumulado y totales anuales para el índice de erosión (R). (Ton.mét./ha/hora) /100	107
25. Promedios para el factor cultivo obtenidos de subtratamientos similares en las dos repeticiones del actual experimento sobre cultivos múltiples	112
26. Intensidades máximas para diferentes duraciones, intervalos de retorno y lugares.	115

<u>Cuadro no.</u>		<u>página</u>
27.	Intensidades máximas para diferentes duraciones, intervalos de retorno y lugares	116
28.	Ejemplos de aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo	127

LISTA DE FIGURAS Y GRAFICOS

<u>Figura no.</u>		<u>Página</u>
1	Parte del mapa de suelos del IICA-CATIE mostrando los lotes y sitios de muestreo. Tomado de Aguirre (1)	40
2	Mapa del experimento de agrosistemas de producción mostrando los sitios de las unidades de muestreo	41
 <u>Gráfico no.</u>		
1.	Nomograma para determinar el factor K erodabilidad de los suelos	46
2.	Relación de pérdida de suelo debida a la longitud e inclinación de la pendiente	47
3.	Gráficos usados para la determinación del factor cultivo	49
4.	Comportamiento de las intensidades máximas absolutas 5-60 min	56
5.	Comportamiento de las intensidades máximas absolutas 1-24 horas	57
6.	Línea de ajuste para intervalo de retorno de intensidades máximas en 5 minutos	58
7.	Líneas de ajuste de intervalos de retorno para intensidades máximas entre 10-35 min	59
8.	Líneas de ajuste de intervalos de retorno para intensidades máximas entre 40 y 60 min	60
9.	Líneas de ajuste de intervalos de retorno para intensidades máximas entre 2 y 10 horas	61
10.	Líneas de ajuste de intervalos de retorno para intensidades máximas entre 11 y 18 horas	62
11.	Líneas de ajuste de intervalos de retorno para intensidades máximas entre 19 y 24 horas	63
12.	Distribución de frecuencia de hora inicial de lluvia. Enero-Junio.	65
13.	Distribución de frecuencia de hora inicial de lluvia. Julio-Diciembre.	66

<u>Gráfico no.</u>	<u>Página</u>
14. Distribución general de frecuencia de hora de inicio de lluvias	67
15. Comportamiento de la infiltración acumulada y de la velocidad de infiltración en función del tiempo. Límites de confianza. Serie Instituto.	82
16. Comportamiento de la humedad del suelo a diferentes profundidades en función del día después de la infiltración. Serie Instituto	84
17. Comportamiento de la succión medida con tensiómetro en función de la profundidad y del día después de la infiltración. Serie Instituto.	85
18. Promedios y desviaciones estandar para los valores de resistencia a la penetración a capacidad de campo	87
19. Comportamiento del Ea y de la Hv en función de la succión y de la capa. Unidad de muestreo 1. Serie Instituto	88
20. Comportamiento del Ea y de la Hv en función de la succión y de la capa. Unidad de muestreo 2.	89
21. Comportamiento del Ea y de la Hv en función de la succión y de la capa. Unidad de muestreo 3.	90
22. Comportamiento del Ea y de la Hv en función de la succión y de la capa. Unidad de muestreo 4.	91
23. Comportamiento del Ea y de la Hv en función de la succión y de la capa. Unidad de muestreo 5.	92
24. Comportamiento del Ea y de la Hv en función de la succión y de la capa. Unidad de muestreo 6.	93
25. Comportamiento de la infiltración acumulada y de la velocidad de infiltración en función del tiempo. Límites de confianza. Serie Colorado	98
26. Comportamiento de la humedad de suelo a diferentes profundidades en función del día después de la infiltración. Serie Colorado	99
27. Comportamiento de la succión medida con tensiómetro en función de la profundidad y del día después de la infiltración. Serie Colorado	101

<u>Gráfico no.</u>		<u>Página</u>
28.	Promedios y desviaciones estandar para los valores de resistencia a la penetración a capacidad de campo. Serie Colorado.	103
29.	Comportamiento del Ea y de la Hv en la primera capa de la Serie Colorado, en función de la succión	104
30.	Comportamiento del Ea y de la Hv en la segunda capa de la serie Colorado en función de la succión.	105
31.	Distribución promedia mensual del índice de erosión (R)	109
32.	Intervalo de retorno para los valores anuales de R	110

CUADROS Y TABLAS DEL APENDICE

<u>Cuadro no.</u>		<u>Página</u>
1	Coefficientes para el ajuste de intervalos de retorno	153
2	Forma de cálculo para intervalos de retorno. Ejemplo con base en las intensidades máximas para 5 minutos	154
3	Características físicas generales de los perfiles de la unidad de muestreo no. 1. Serie Instituto (La Montaña)	156
4.	Características físicas generales de los perfiles de la unidad de muestreo no. 2. Serie Instituto (La Montaña)	157
5.	Características físicas generales de los perfiles de la unidad de muestreo no. 3. Serie Instituto (La Montaña)	158
6.	Características físicas generales de los perfiles de la unidad de muestreo no. 4. Serie Instituto (La Montaña)	159
7.	Características físicas generales de los perfiles de la unidad de muestreo no. 5. Serie Instituto (La Montaña)	160
8.	Características físicas generales de los perfiles de la unidad de muestreo no. 6. Serie Instituto (La Montaña)	161
9.	Características físicas generales de los perfiles de la unidad de muestreo no. 1. Serie Colorado	162
10.	Características físicas generales de los perfiles de la unidad de muestreo no. 2. Serie Colorado.	163
11.	Características físicas generales de los perfiles de la unidad de muestreo no. 3. Serie Colorado	164
12.	Características físicas generales de los perfiles de la unidad de muestreo no. 4. Serie Colorado	165

<u>Cuadro no.</u>	<u>Página</u>	
13	Características físicas generales de los perfiles de la unidad de muestreo no. 5. Serie Colorado	166
14	Características físicas generales de los perfiles de la unidad de muestreo no. 6. Serie Colorado	167
15.	Datos utilizados y cálculo para factor cultivo con base en la cobertura de cultivos en algunos subtratamientos utilizados en el experimento sobre cultivos múltiples. Primera repetición	168
16.	Datos utilizados y cálculo para factor cultivo con base en la cobertura de cultivos en algunos subtratamientos utilizados en el experimento sobre cultivos múltiples. Segunda repetición	170

Tabla no.

1	Probabilidad de que un día dado sea húmedo o seco, considerando como seco 0,0 mm de lluvia	172
2	Probabilidad de que un día dado sea seco, considerando como seco 0,5 mm de lluvia o menos	178
3	Probabilidad de que un día dado sea seco, considerando como seco 10 mm de lluvia o menos	184
4	Probabilidad de balance hídrico semanal. Distribución gamma	190
5	Probabilidad de balance hídrico acumulado para dos semanas seguidas. Distribución gamma.	192
6	Probabilidad de balance hídrico acumulado para 3 semanas seguidas. Distribución gamma.	194
7	Probabilidad de balance hídrico acumulado para 4 semanas seguidas. Distribución normal.	196
8	Probabilidad de balance hídrico acumulado para 8 semanas seguidas. Distribución normal.	198
9	Probabilidad de balance hídrico acumulado para 12 semanas seguidas. Distribución normal.	200
10	Probabilidad de balance hídrico acumulado para 16 semanas seguidas. Distribución normal.	202

<u>Tabla no.</u>		<u>Página</u>
11	Probabilidad de balance hídrico acumulado para 20 semanas seguidas. Distribución normal.	204
12	Probabilidad de balance hídrico acumulado para 24 semanas seguidas. Distribución normal.	206
13	Probabilidad de balance hídrico acumulado para 32 semanas seguidas. Distribución normal.	208
14	Probabilidad de balance hídrico acumulado para 52 semanas seguidas. Distribución normal.	210
15	Tabla útil para determinar las secuencias posibles de días húmedos y secos para diferentes combinaciones hasta 5 días. Tomado de (28)	212

1. INTRODUCCION

Las plantas como productos del medio ambiente responden a todos los factores de éste. Responden tanto a las condiciones de suelo como a las de clima y sus interacciones.

En los países latinoamericanos la agricultura ha venido haciéndose al azar. Los agricultores en épocas de sequía esperan con afán días lluviosos y en épocas de alta pluviosidad, días secos.

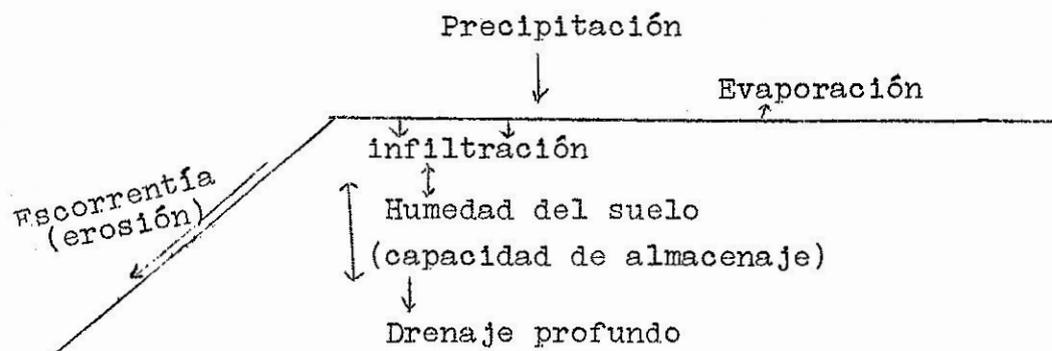
Actualmente no son comunes criterios que pueden ser de fácil accesibilidad, para programar dentro de ciertos rangos de probabilidades de éxito, la agricultura a largo y mediano plazo.

En nuestros países se dispone sinó con abundancia, sí con buen número de estaciones climatológicas, que pueden proveer datos básicos para planear una mejor y más eficiente agricultura, si se les da buen uso. Generalmente estos datos son poco usados porque se desconoce comunmente el modo de manejarlos. Entonces datos de primera necesidad como los de precipitación, se están desaprovechando lamentablemente.

El mal manejo de los suelos es también generalizado, tal vez porque algunos países cuentan aún con gran área superficial y la población humana no ha crecido lo suficiente como para convertirse en problema. Sin embargo, la presión de la población sobre el recurso tierra es constante y aumenta día a día sin ninguna programación ni planificación.

Como ~~una~~ consecuencia de ese mal manejo a que se somete el suelo, las aguas de lluvias se desaprovechan lastimosamente y en lugar de ser recursos, se convierten en factores negativos causantes de erosión e inundaciones.

La siguiente representación esquemática de parte del ciclo hidrológico permite ver la forma cómo los recursos suelo y agua se integran en beneficio del hombre (humedad del suelo) y cómo el recurso agua bajo condiciones de mal manejo de los suelos, actúa sobre éstos en su acción erosiva.



Con base en estos antecedentes y creyendo en la gran utilidad práctica que para el buen planeamiento agrícola tiene el conocimiento del comportamiento de las lluvias y del suelo en relación con éstas se planeó el presente trabajo, cuyo objetivo general es el de mostrar cómo a partir de datos climatológicos comunes y de datos de características físicas de suelo, es posible planear un buen uso racional de suelo para una más segura y mejor agricultura.

El trabajo involucra los siguientes aspectos y se hizo sobre la base de 16 años de registro de lluvias y de dos series de suelo: Instituto y Colorado:

- a) Estudio de intensidad de lluvias e intervalos de retorno
- b) Estudio de la distribución de frecuencia de las horas de inicio de las lluvias
- c) Estudio de la distribución y probabilidades de obtener ciertas cantidades de lluvia anual, mensual y semanal

- d) Estudios de características físicas de las series Instituto y Colorado
- e) Estudios de la energía potencial de la lluvia y de los otros factores que intervienen en la ecuación universal de pérdida de suelo, con énfasis en cultivos múltiples y en la erodabilidad de los suelos de las series estudiadas
- f) Cálculo del balance hídrico atmosférico.