

han sido removidas de las estufas de investigación y deben dejarse enfriar por lo menos una hora antes de proceder a su pesado.

Referencias Bibliográficas

- Sánchez C., I., V. L. Lopes, D. C. Black, and M. M. Fogel. 1997. Water balance model for small-scale water conserving systems. *Journal for Irrigation and Drainage Engineering*. Vol. 123, N° 2. Pag. 123-128
- Simanton, J. R. 1996. La Camara de simulación de lluvia experimental procedures. Unpublished document.
- Paige, G., and J. J. Stone. 1999. Measurement methods to identify and quantify spatial variability of infiltration on rangelands. Paper presented at the 1996 USDA-ARS Infiltration Conference. 13 pp.

Capítulo IV

TIPOS DE SIMULADORES DE LLUVIA

Ignacio Sánchez Cohen
Jean Asseline

4.1 Introducción.

La simulación de lluvia es la técnica de aplicar agua a parcelas experimentales de una manera similar a la precipitación natural; es una herramienta que ha sido usada por muchos años en estudios de erosión, infiltración y escurrimiento. Todos los simuladores de lluvia (o infiltrómetros) tienen ciertas características en común tales como: son portátiles, tienen fuente de energía y agua, lo que permite disponer de cantidades de precipitación cuando y donde se necesite; tienen un mecanismo de rociado con el cual variando los grados de control pueden abastecer diferentes intensidades y cantidades de precipitación; también existen mecanismos y/o procedimientos para la medición en las salidas de las parcelas.

La elección de un determinado tipo de simulador depende de parámetros de la precipitación como tamaño de gota, velocidad de impacto, intensidad de los eventos a simular, así como de los objetivos del proyecto. Las múltiples combinaciones que resultan de lo anterior ha conducido al desarrollo de numerosos tipos de dispositivos; los más comunes se describen en este Capítulo, desde el punto de vista de sus principios de diseño y características de operación.

7000 - 1999

Fonds Documentaire ORSTOM



010020394

27

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: B-x20394 Ex: 1

4.2 Características deseables en los simuladores de lluvia.

Frecuentemente, cuando se conocen las características de la precipitación de un lugar determinado, el investigador no está en condiciones de elegir el tipo de simulador capaz de reproducir dichas características; por otro lado, dado que los simuladores existen no se ajustan en forma perfecta a la simulación requerida, aunque la elección debe basarse en los parámetros de lluvia a simular, es común que los usuarios tengan claramente establecida la importancia relativa de cada parámetro.

El primer paso en la elección y/o diseño de un simulador de lluvia, involucra el desarrollo de un listado de requerimientos o capacidades que deberá tener el aparato. Las características de la precipitación juegan un papel importante en este listado, por lo que se deberá atender especialmente las siguientes consideraciones:

- La distribución del tamaño de gota cercana a la real.
- Las velocidades de impacto cercanas a aquellas de las gotas de lluvia naturales.
- Intensidades en el rango de lluvia conocidas para la región de estudio.
- La parcela experimental de suficiente tamaño para que represente las condiciones a evaluar.
- Las características de gota y la intensidad de aplicación suficientemente uniforme sobre el área de estudio.
- La aplicación de gotas casi continua sobre el área.
- El ángulo de impacto no muy diferente de la vertical.
- Capacidad de reproducir la duración de la precipitación de interés a la intensidad deseada.
- Características satisfactorias cuando se usa en condiciones naturales tales como altas temperaturas y velocidades de viento moderadas.
- Portátil.

4.3 Tipos de simuladores de lluvia.

A partir de 1950, varios investigadores han combinado un amplio rango de técnicas y equipo para producir máquinas capaces de simular lluvia, las cuales varían desde aspersores simples hasta máquinas electrónicas que operan

en forma automática. Las mejores técnicas para producir lluvia artificial para estudios hidrológicos y de erosión, pueden ser agrupadas en dos grandes categorías:

- Aquellas que utilizan aspersores mediante los cuales se aplica el agua con cierta velocidad inducida mediante presión.
- Las que utilizan tubos pequeños en los cuales se forma la gota, y cuya velocidad inicial es cero (formadores de gota).

Simuladores tipo aspersor.

Los simuladores más sencillos del tipo aspersor son los que utilizan dispositivos como los de los sistemas de riego a presión, rehiletos y los de tipo cebolleta, estos en su mayoría de uso común y jardinería. La forma de asperjado de estos métodos es generalmente de gotas grandes a muy altas tasas de aplicación.

El diseño de simuladores de lluvia ha estado dirigido al objetivo de reproducir lo más fielmente posible las características de la precipitación natural, así, en los Estados Unidos de Norteamérica se han diseñado simuladores tipo aspersor en sus modalidades "D", "E" y "F"; este último el más comúnmente usado y se le conoce como infiltrómetro.

Las modalidades en que se presentan los infiltrómetros tipo "F" son el F' y FA; el F' utiliza una parcela de 2x4 m, la lluvia simulada es aplicada uniformemente sobre el lote y áreas vecinas mediante dos hileras de aspersores con boquillas tipo "F" montadas a lo largo de cada lado de la parcela (Figura 1); estas boquillas dirigen su flujo hacia arriba y ligeramente hacia el interior de la parcela, con intensidades de 4.5, 9.0 y 13.5 cm h⁻¹, dependiendo de cuántos juegos de boquillas sean utilizados.

Las gotas normalmente alcanzan una altura de 2 a 2.5 m sobre la superficie del lote y, por consiguiente, no alcanzan gran velocidad, pero aún así el impacto es suficiente para producir erosión a semejanza de la lluvia natural.

Los infiltrómetros tipo FA utilizan el mismo tipo de rociadores que el tipo "F", pero trabajan a presiones menores y, como consecuencia, las gotas no se elevan tan alto y la caída es menor, el tamaño del lote es de 30x75 cm; un

bordo de 45 cm rodea a este lote. La intensidad de aplicación se puede variar en múltiplos de 3.8 cm h^{-1} cerrando o abriendo los aspersores.

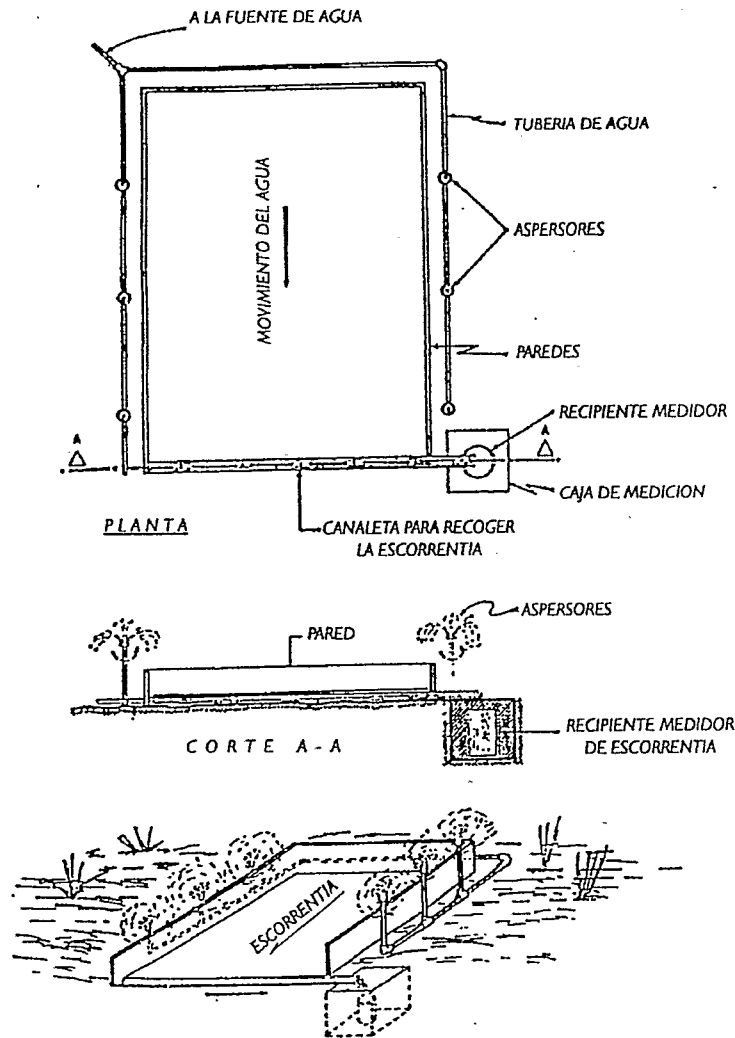


Figura 4.1. Simulador de lluvia tipo "F" (infiltrómetro).

Otro simulador de lluvia del tipo aspersor comúnmente usado en estudios de erosión es el tipo Utah, el cual trabaja a bajas presiones y utiliza un sistema de elevadores sobre la parcela, tratando de imprimir energía cinética similar a la de las condiciones naturales, el diámetro de gota promedio de este aparato es de 1.75 mm (Figura 4.2).

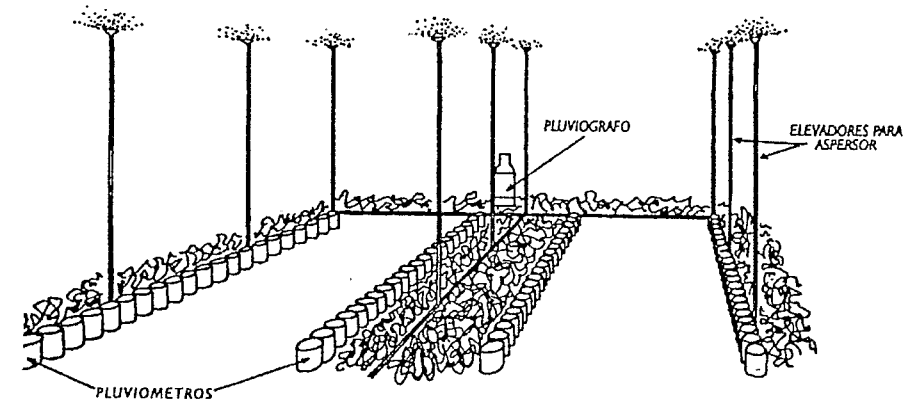


Figura 4.2. Simulador de lluvia tipo Utah.

Asseline propuso en 1977 un infiltrómetro tipo aspersor, que se distingue de la mayoría de los existentes porque la intensidad de lluvia se puede operar en el rango de $10-140 \text{ mm h}^{-1}$, con variaciones continuas (no discretas); esto se logra haciendo variar el ángulo de balanceo del aspersor, cuya variación se incrementa o disminuye el área asperjada, permaneciendo constante el agua utilizada. Esta relación se ilustra con los datos de la Tabla 4.1.

El aspersor que utiliza este aparato es del tipo TEE JET 5560, que está montado sobre una pequeña biela que imprime el balanceo; este dispositivo es el que comúnmente utilizan los parabrisas de algunos automóviles; la presión con que trabaja es de 0.4 bars, (Figura 4.3).

Tabla 4.1. Relación entre intensidades de precipitación, ángulo de balanceo del aspersor y superficie mojada.

Intensidad (mm h ⁻¹)	Angulo de Balanceo del Aspersor	Superficie Mojada (m ²)
37	150	14.0
45	126	11.5
60	96	10.0
90	64	7.0
120	50	5.0
140	42	3.5

Este tipo de simulador se usa comúnmente para estudios de infiltración y de escurrimiento; la parcela sobre la cual se induce la precipitación es de un metro cuadrado.

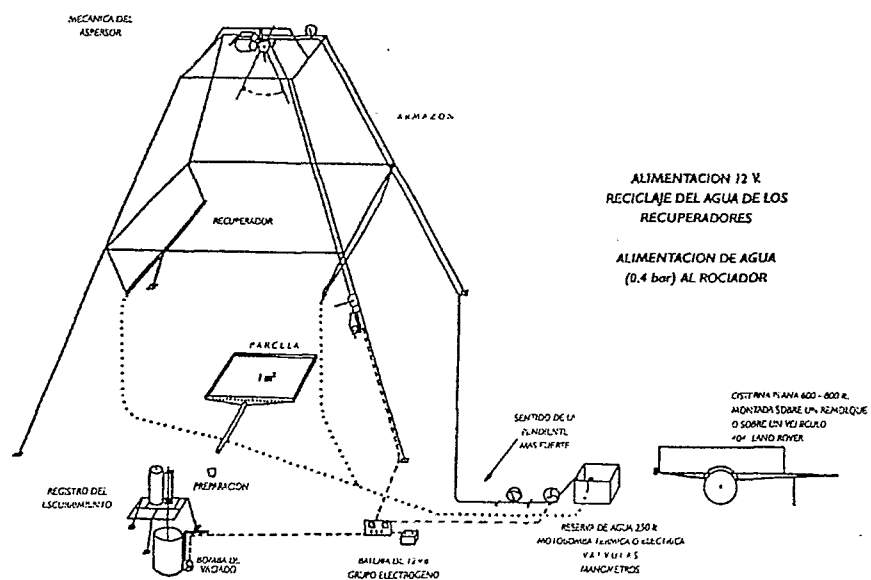


Figura 4.3. Infiltrómetro tipo aspersor, según Asseline.

En años recientes se ha venido sustituyendo el aspersor de los simuladores por dispositivos más funcionales y precisos en cuanto al objetivo de reproducir lo más fielmente posible las intensidades y diámetros de gota reales; así, se ha dado paso a las boquillas que sustituyen a los aspersores. Para esto, los simuladores que trabajan con boquillas a presión deben ser lo suficientemente capaces de transformar un patrón de aplicación tipo "chorro" a un patrón "atomizado", y que esto produzca características de gota comparables a las de la precipitación natural.

Las boquillas que se utilizan comúnmente en la agricultura para la aplicación de insecticidas u otros agroquímicos también se utilizan en sistemas de riego, y las más comunes son las tipo "A"; después de que el agua sale por el orificio, choca con una superficie deflectora, la cual hace que cambie la dirección del flujo asperjado el agua en forma de abanico; existe otra boquilla también comúnmente usada tipo "R"; ésta incorpora una cámara vértice y produce gotas más finas que las que proporciona la boquilla tipo "F", (Figura 4. 4).

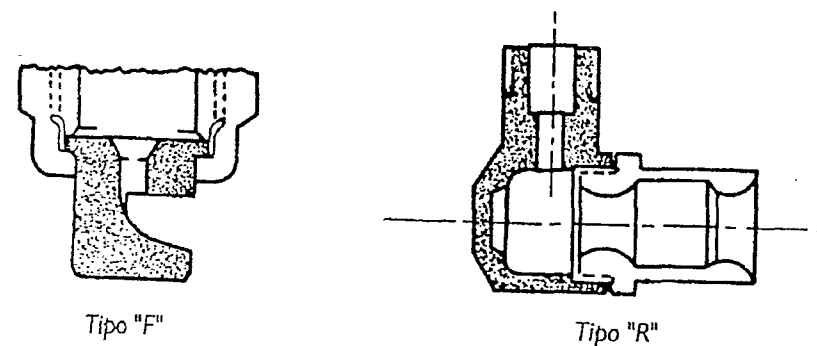


Figura 4. 4. Boquilla tipo "F" y "R"

Otro tipo de boquilla usada regularmente es el tipo "FP" (plato liso); cuando el agua sale por el orificio choca con el plato, que puede ser convexo, cóncavo o liso, dependiendo del tipo de gota deseada, (Figura 4.5).

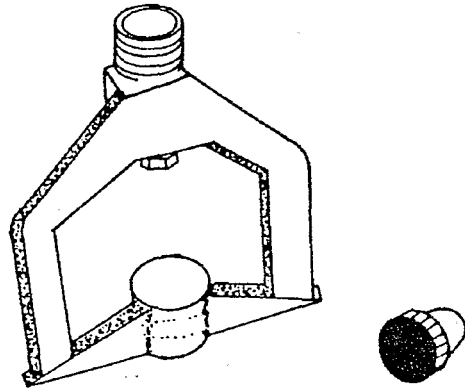


Figura 4.5. Boquilla "FP".

En la siguiente tabla se puede apreciar la variación del tamaño de gota en función de la presión y el diámetro de boquilla, además, que una boquilla "grande" operando a baja presión puede producir bajas intensidades de lluvia formando gotas demasiado grandes; incrementando la presión se reduce el tamaño de la gota pero se incrementa la tasa de aplicación; si se reduce el tamaño de la boquilla se reduce la tasa de aplicación y, por ende, el tamaño de la gota.

Tabla 4.2. Diámetro medio de gota (mm) en función de la presión y el diámetro de boquilla.

Presión (PSI)	Diámetro Nominal (mm)								
	0.8	1.9	2.6	3.8	4.6	5.3	6.1	6.5	
5	0.71	0.94	1.11	1.31	1.46	1.61	1.75	1.89	
10	0.63	0.86	1.03	1.22	1.37	1.52	1.66	1.79	
15	0.57	0.80	0.96	1.16	1.90	1.45	1.59	1.71	
20	0.52	0.75	0.91	1.10	1.24	1.35	1.53	1.63	
25	0.48	0.70	0.86	1.09	1.19	1.33	1.47	1.57	
30	0.49	0.65	0.81	1.00	1.14	1.27	1.42	1.52	
35	0.40	0.61	0.77	0.95	1.09	1.23	1.37	1.46	
40	0.37	0.57	0.73	0.91	1.05	1.18	1.32	1.42	
45	0.33	0.59	0.69	0.88	1.02	1.14	1.27	1.37	
50	0.30	0.50	0.66	0.84	0.98	1.10	1.23	1.32	
55	0.27	0.47	0.62	0.81	0.94	1.06	1.18	1.28	
60	0.23	0.43	0.59	0.78	0.91	1.02	1.14	1.24	

Otro simulador que utiliza boquillas en su sistema de rociado es el "simulador de disco rotatorio", el cual puede simular tormentas de hasta 220 mm h⁻¹.

Este dispositivo consiste de un disco de 400 mm de diámetro fabricado de aluminio de 13 mm de espesor, laminado de tal manera que forma un cono truncado con pendientes laterales de 9 por ciento aproximadamente; en el disco se cortó una sección de forma anular y alrededor de ésta se colocan dos pequeños seguros con los que se selecciona el ángulo deseado. La boquilla usada opera a 8.8 libras por pulgada cuadrada de presión, y es del tipo 1.5H30 y la descarga choca con el disco (Figura 4.6); la precipitación máxima que simula este aparato es de 220 mm h⁻¹; la altura de caída de las gotas es de 2 m y cubren un área de 30x67 cm.

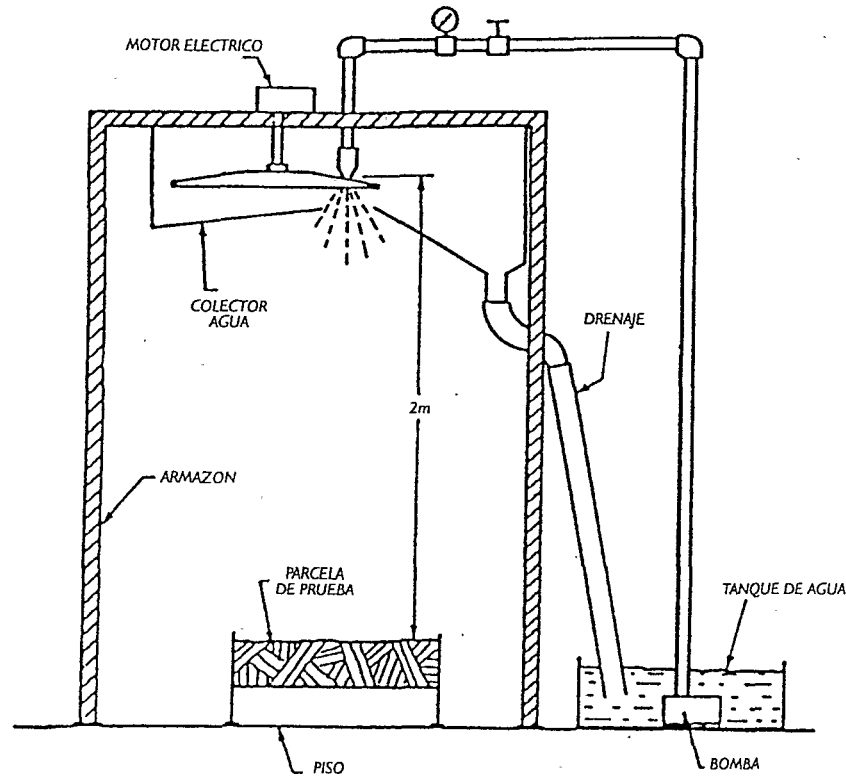


Figura 4.6. Simulador de lluvia de China *et al.*

Otro simulador de lluvia de disco rotatorio es el tipo Palouse, que se caracteriza por trabajar con bajas intensidades, duraciones largas y producir gotas pequeñas, las cuales son similares a las de tormentas naturales de intensidad de 2.5 a 10 mm h⁻¹. En este aparato se pueden variar intensidades de 6-46 mm h⁻¹ mediante el uso de un disco rotatorio ranurado, cuya rotación no tiene un gran efecto en la distribución del tamaño de gota. El tamaño medio

de gota que provee este aparato es de 1.7 mm con D₁₀ de 0.8 (el 10 por ciento del volumen total de lluvia consiste en gotas de menos de 0.8 mm de diámetro) y D₉₀ de 2.6 mm; la boquilla con que funciona este simulador es la "HH14WSQ Full Jet", (Figura 4.7).

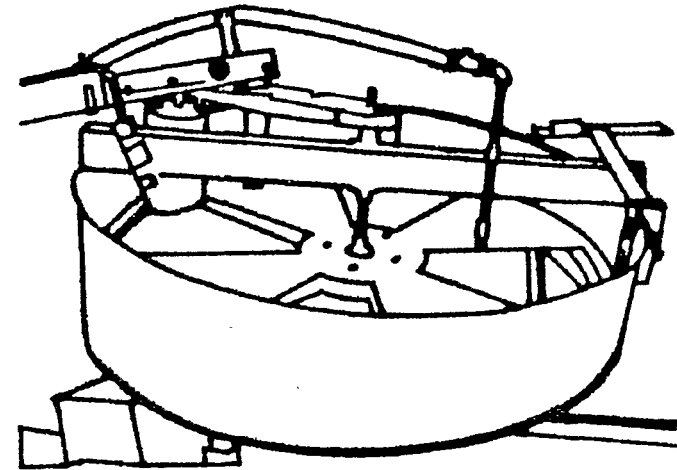


Figura 4.7. Módulo del simulador de lluvia tipo Palouse.

Los módulos del simulador son básicamente los mismos que otros de tipo rotatorio, y sólo se hicieron modificaciones como abertura más grande del colector y obturadores de abertura movable para que no interfiera con la aspersión producida.

Numerosos estudios indican que existe una relación inversa entre las tasas de aplicación y el diámetro de gota, por lo que es complicado el mantener un diámetro de gota deseado sin afectar las características de la tasa de aplicación; con fundamento en lo anterior, se han hecho modificaciones a los simuladores que utilizan boquillas inyectando aire dentro del conducto de agua para reducir las tasas de aplicación mientras se mantiene constante el diámetro de gota.

De esta manera se ha concebido la idea de inyectar aire al conducto de agua para compensar la presión de la boquilla para controlar el tamaño de gota mientras se varía la intensidad; el flujo que se genera con la selección apropiada de la boquilla y la presión de operación, provee de precipitación no intermitente teniendo tamaño de gota e intensidades deseables, (Figura 4.8). Este simulador ofrece resultados confiables en intensidades del rango de 50-150 mm h⁻¹, con un diámetro medio de gota de 2.6 mm.

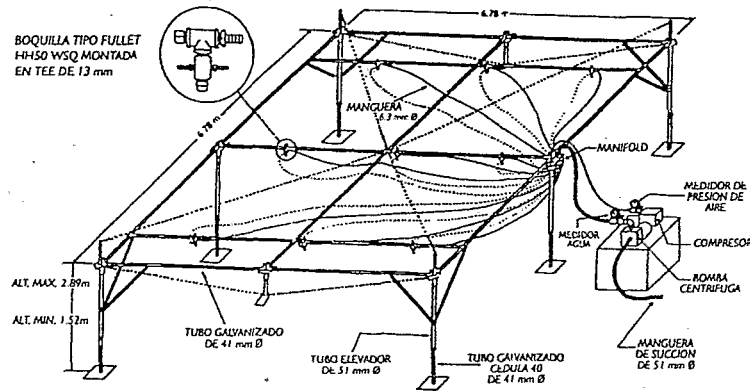


Figura 4.8. Simulador de lluvia de flujo continuo.

Simuladores tipo formadores de gota.

Otro tipo de simuladores que comúnmente se utiliza es el que permite que se formen gotas en la punta de los materiales empleados para tal efecto hasta que su peso supera la tensión superficial y la gota cae. Los primeros simuladores de este tipo usaban tubos cortos que colgaban del fondo de un recipiente que contenía agua; más recientemente se han estado utilizado tubos de vidrio y de plástico, agujas hipodérmicas, entre otros. En estos aparatos la tasa de formación de gota se controla por la longitud del tubo o aguja, y el flujo o presión se controla por medio del diámetro o bien, por medio de módulos herméticos. El diámetro de gota que se puede esperar oscila entre 2 y 5 mm.

Puesto que las gotas de agua inician su caída con velocidad cero, los formadores de gota deberán estar localizados a una altura suficiente del suelo para que el impacto sea similar al de la velocidad real; asimismo, los tubos o agujas no deberán estar muy espaciados uno del otro para obtener distribuciones de intensidad satisfactorias; esto pone de manifiesto que los simuladores de lluvia tipo formadores de gota se utilizan en parcelas pequeñas.

Un simulador comúnmente usado, perteneciente a esta categoría, es el infiltrómetro tipo modular diseñado para estudios hidrológicos como sedimentación y erosión hídrica; un ejemplo de este simulador se muestra en la Figura 4.9.

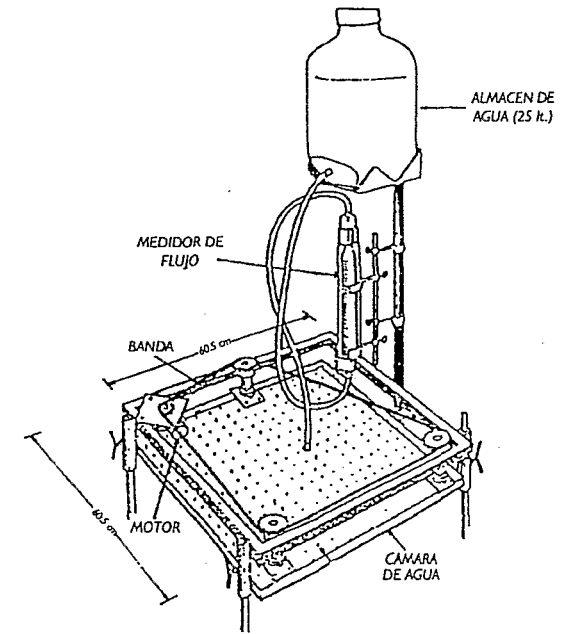


Figura 4.9. Simulador infiltrómetro modular.

Este infiltrómetro provee de intensidades de precipitación que varían de 3 a 25 cm h⁻¹ sobre una parcela de 0.34 m². El tamaño de gota es de 2.5 mm aproximadamente; en relación a la energía cinética de las gotas de lluvia naturales, este aparato las simula en un 28 por ciento. La cámara de agua (donde están insertadas 517 agujas hipodérmicas) es rotatoria en posición horizontal para asegurar igual presión en las agujas, las cuales son de acero inoxidable, con diámetro interior de 0.476 y 0.635 mm de diámetro exterior.

La parcela no está delimitada por un arazón, por lo que las tasas de infiltración resultan un tanto alteradas por el movimiento lateral del agua en el suelo; el aparato es portátil y se puede utilizar principalmente en pendientes pronunciadas y en suelos rocosos; además, sólo requieren de 25 litros de agua para ofrecer una intensidad de lluvia de 7.5 cm h⁻¹ por 30 minutos.

Blackburn propuso un simulador de lluvia tipo infiltrómetro (el cual lleva su nombre), para medir producción de sedimentos y tasas de infiltración; este aparato es de la categoría de los formadores de gota, y su funcionamiento básico es el siguiente: el agua utilizada para la simulación de lluvia se bombea de un tanque de mil litros a un tanque elevado de 200 litros de capacidad, del cual el líquido pasa a unos filtros y medidores de flujo por acción de la gravedad antes de llegar a los módulos en los que se encuentran los formadores de gota. Estos módulos pueden alcanzar una altura sobre el suelo de 2.15 m (véase Figura 4.10).

Para tener una distribución uniforme del tamaño de gota, los módulos deberán ser nivelados; estos módulos consisten de dos láminas de plexiglass de 1.2 m por 1.2 m y de 0.6 cm de espesor, espaciadas 1.27 cm. Cada uno de estos módulos tiene 2,209 formadores de gota de acero inoxidable, con diámetro interior de 0.04 cm. Las intensidades de lluvia que pueden ser simuladas con este aparato son del orden de 5 a 83 mm h⁻¹.

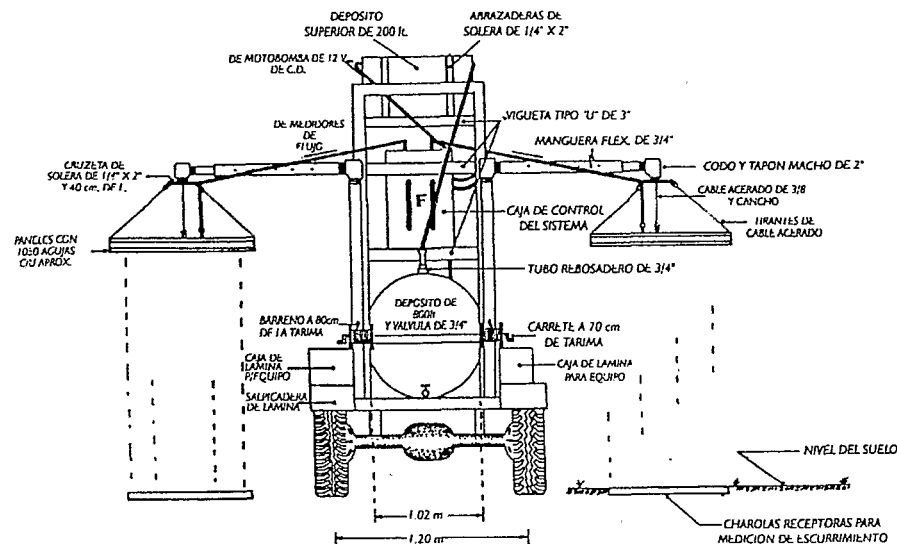


Figura 4.10. Vista frontal general del infiltrómetro Blackburn.

Existen simuladores de lluvia apropiados para terrenos irregulares (hasta pendientes del 60 por ciento), y para estudios de erosión e infiltración; estos aparatos pertenecen a la categoría de los formadores de gota, y se les denomina "tipo Tahoe"; su sistema de abasto es de 827 tubos de polietileno (Figura 4.11). El diámetro de gota que produce este simulador es de 3.2 mm, con caída máxima de 2.5 m; la parcela de estudio tiene dimensiones de 0.61 x 0.61 m, el tanque de abasto es de 20 litros. Una característica importante de este simulador es que se puede variar la altura de caída así como también la inclinación del aparato mediante el ajuste de sus soportes inferiores.

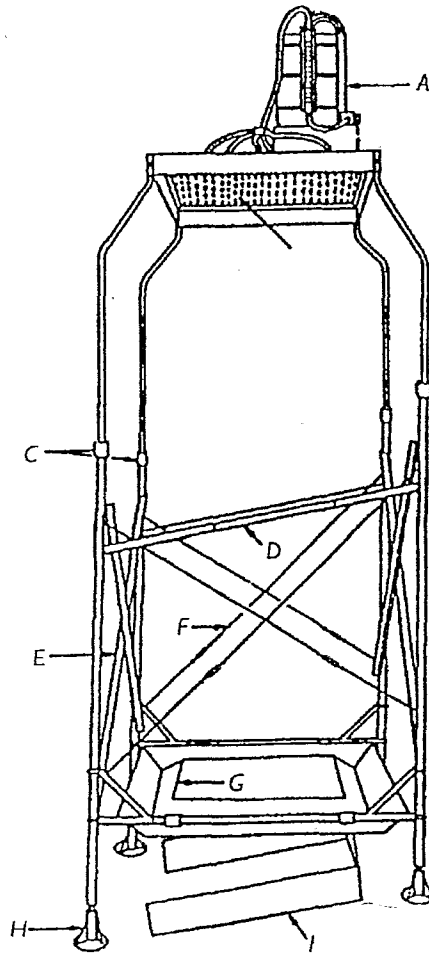


Figura 4.11. Esquema del simulador de lluvia tipo Tahoe: a) Tanque de almacenamiento, b) Panel de agujas, c) Brazos ajustables, d) Brazos laterales e) Soportes, f) Alambres ajustables, g) Placa contenedora, h) Soportes ajustables, i) Charola perimetral.

4.4 Comentarios Finales.

Debido a que los problemas severos de erosión se han asociado con precipitaciones pluviales de alta intensidad, la mayoría de los simuladores de lluvia han sido diseñados para cumplir esta condición sin considerar la variabilidad de este parámetro en la región de estudio; esto es de suma importancia antes de aceptar el concepto universal de simuladores de lluvia, ya que la mayor parte de la pérdida de un suelo por erosión hídrica puede estar relacionada a precipitaciones de baja intensidad y larga duración.

La velocidad de impacto, el tamaño de gota y la intensidad son características interdependientes de una manera muy compleja. La revisión de literatura indica que esta interacción es muy variable en y entre tormentas así como en el espacio. Los simuladores de lluvia existentes no consideran la naturaleza dinámica de los procesos de la precipitación o sus interacciones; por ejemplo, la reducción de la intensidad en la mayoría de los simuladores se controla mediante la reducción del tiempo promedio de asperjado o por la reducción del número de dosificadores (aspersores, boquillas, agujas, etc.). La intensidad es, por lo tanto, reducida a través de la intermitencia o por la reducción de la aplicación, por lo que sólo se reduce la velocidad de impacto y no la distribución del tamaño de gota.

En los simuladores de lluvia (en cualquier modalidad) es de primordial importancia el considerar la altura o velocidad de caída de la gota de agua, ya que esto constituye un parámetro básico en los estudios de erosión y de hidrología, por lo que la distancia de caída requerida para que ésta se aproxime al impacto real de una gota sobre el suelo depende del tamaño de la gota (Tabla 4.5).

Tabla 4.5. Velocidad de caída de las gotas de agua.

Diámetro De gota (mm)	Altura de Caída (m)							
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	20.0 terminal
	Velocidad de Caída (m seg ⁻¹)							
1.5	3.64	4.50	4.99	5.25	5.39	5.47	5.51	5.51
2.0	3.83	4.92	5.55	5.91	6.15	6.30	6.35	6.58
2.5	3.98	5.19	5.89	6.39	6.67	6.92	7.22	7.91
3.0	4.09	5.37	6.14	6.68	7.08	7.37	7.75	8.06
3.5	4.15	5.52	6.35	6.95	7.90	7.73	8.15	8.52
4.0	4.21	5.63	6.52	7.17	7.65	8.00	8.46	8.86
4.5	4.24	5.72	6.66	7.36	7.85	8.21	8.70	9.10
5.0	4.27	5.79	6.77	7.50	8.00	8.36	8.86	9.25
5.5	4.29	5.85	6.86	7.61	8.11	8.47	8.97	9.30
6.0	9.31	5.90	6.94	7.69	8.30	8.55	9.01	9.30

En la tabla anterior se puede apreciar que existe una relación directa entre el diámetro de gota y la altura requerida para que la velocidad de caída se aproxime a la real, así, mientras más pequeña sea la gota requiere de una altura de caída mayor para que su velocidad se aproxime a la velocidad real; como ya se estableció, este parámetro es importante de considerar en la elección y/o diseño de simuladores de lluvia.

Los simuladores tipo aspersor ofrecen altas tasas de aplicación con gotas grandes (características de las precipitaciones torrenciales de zonas áridas); mientras que las boquillas simulan de manera más acertada la precipitación debido a que asperjan hacia arriba u horizontalmente para reducir la intensidad de aplicación; su velocidad de impacto es más baja que la normal, el diámetro de gota es directamente proporcional al diámetro del orificio e inversamente proporcional a la presión.

Los simuladores tipo aspersor dejan mucho que desear desde el punto de vista de la velocidad de caída, ángulo de impacto y distribución del tamaño de gota, así como la distribución de la intensidad, inferencia del viento, presentando también la desventaja de la intermitencia prolongada, siendo acuerdo su uso para áreas grandes.

Los simuladores que operan bajo el principio de formación de gota presentan mayores tasas de uniformidad en tamaño, dado que ésta se controla con la longitud del tubo, el cual es de sección hidráulica constante; la distribución de la intensidad también es más alta que la de simuladores tipo aspersor, siendo controlada por la separación entre tubos y por la carga hidráulica seleccionada; en general, su uso se restringe a parcelas de dimensiones pequeñas (1.5 m²) y para estudios de erosión y escurrimiento.

En las Tablas 4.6 y 4.7 aparece un listado en el que se señalan los diversos tipos de simuladores existentes y sus características principales de funcionamiento; esta información es de suma utilidad en aquellos casos en que se desea seleccionar un tipo de simulador en función del objetivo de la investigación.

Tabla 4.6. Simuladores de lluvia que utilizan boquillas en un sistema de asperjado.

Simuladores de Lluvia (localidad)	Boquilla	Presión (PSI)	Mov., de boquilla y Patrón de Asperjado	Diámetro de gota			Intensidad (mm hr ⁻¹)	Tamaño Parcela (m X m)
				D ₁₀	(mm) D ₅₀	D ₉₀		
USDA-SEA-AR, LA FAYETE INDIANA	80100 VEEJET	6.08	LATERAL INTERMITENTE	1.0	2.1	3.0	64-127	4 X 11.5
USDA-SEA-AR, WATKISVILLES GEORGIA.	80100 VEEJET	6.08	LATERAL INTERMITENTE	1.0	2.1	3.0	64-127	4 X 11.5
USDA-SEA-AR, MORRIS, MINNESOTA	80100 VEEJET	6.08	LATERAL INTERMITENTE	1.0	2.1	3.0	64-127	4 X 11.5
UNIVERSIDAD DE ILLINOIS, URBANA, ILLINOIS	80100 VEEJET	6.08	LATERAL INTERMITENTE	1.0	2.1	3.0	64-127	4 X 11.5
DEPT. DE PRIM. IND. TOOWOOPA QUEENSLAND, AUSTRALIA	80100 VEEJET	6.08	LATERAL INTERMITENTE	1.0	2.2	3.2	30-230	4 X 22.5
SIMULADOR MODIFICADO UNIV. ESTATAL NVO. MEXICO, LAS CRUCES, NVO. MEXICO NUEVO	80100 VEEJET	6.08	LATERAL INTERMITENTE	1.0	2.1	3.0	101-203	5.0 X 6.5
SIMULADOR USDA-SEA-AR, LAFAYETTE, INDIANA	80100 VEEJET 80150 VEEJET	6.08	LATERAL OSCILATORIO	1.0 1.1	2.1 2.5	3.2 4.2	2-127	4 X 11.5

46

Simuladores

...continuación

Simulador de Lluvia (localidad)	Boquilla	Presión (PSI)	Mov., de Boquilla y Patrón de asperjado	Diámetro de gota			Intensidad (mm hr ⁻¹)	Tamaño Parcela (m X m)
				D ₁₀	(mm) D ₅₀	D ₉₀		
BOMBA ROTATORIA USDA-SEA-AR LINCOLN, NEBRASKA	80100 VEEJET	6.08	ROTATORIO INTERMITENTE	1.0	2.1	3.0	64-127	4 X 11.0
BOMBA ROTATORIA USDA-SEA-AR, ARNES, IOWA	80100 VEEJET	6.08	ROTATORIO INTERMITENTE	1.0	2.1	3.0	64-127	4 X 11.0
LABORATORIO SIMULADOR, UNIVERSIDAD WISCONSIN, MADINSON, WISCONSIN	80100 VEEJET	6.08	OSCILATORIO INTERMITENTE	1.0	2.1	3.0	38	1 X 5
LABORATORIO SIMULADOR, USDA-SEA-AR LAFAYETTE, INDIANA	80100 VEEJET	6.08	OSCILATORIO INTERMITENTE	1.0	2.1	3.0	38	0.7 X 3.3
INTER-RILL USDA-SEA-AR, OXFORD, MISSISSIPPI	80100 VEEJET 80150 VEEJET	6.08	OSCILATORIO INTERMITENTE	0.7 1.1	1.6 2.5	3.2 4.2	10-127	0.7 X 0.9
INTER-RILL MICHIGAN TECH UNIV. HOUGHTON HONCOK, MICHIGAN	80100 VEEJET 80150 VEEJET	6.08	OSCILATORIO INTERMITENTE	0.7 1.1	1.6 2.5	3.2 4.2	10-127	0.7 X 0.9
AUSTRALIA	8070 VEEJET	6.08	LATERAL INTERMITENTE					4.6 X 4.6

47

Simuladores

...continuación

Simulador de Lluvia (localidad)	Boquilla	Presión (PSI)	Mov., de boquilla y Patrón de Asperjado	Diámetro de gota			Intensidad (mm hr ⁻¹)	Tamaño Parcela (m X m)
				D ₁₀	(mm) D ₅₀	D ₉₀		
ESTACION PALOUSE USDA-SEA-AR PULLMAN, WASHINGTON INFILTROME-TRO PALOUSE	14W59		ESTACIONARIO CONTINUO				2.2000	2.6 X 13.1
UNIV. DE IDAHO MOSCOW, IDAHO ASPERSOR PARDUE	FULLJET	6.08	ESTACIONARIO INTERMITENTE	0.8	1.7	2.6	1.50	2 X 2
PARDUE UNIV., LAFAYETTE, INDIANA PARDUE MODI- FICADO, UNIV. DE WISCONSIN MADISON, WISCONSIN	7 LA 5 B 5 D	6.08	ESTACIONARIO CONTINUO	0.1 0.1	1.2 0.8	2.4 1.5	119 64	1.2 X 1.2
PARQUE MO- DIFICADO, USDA- SEA-AR TUCSON, ARIZONA PARDUE MODIFICADO, UNIV. DE MISSOURI, COLUMBIA, MISSOURI	7 LA	6.08	ESTACIONARIO INTERMITENTE	0.1	1.2	2.4	2.111	-
PARDUE MODIFICADO USDA- SEA-AR COLUMBIA, MISSOURI	7 LA	6.08	ESTACIONARIO CONTINUO	0.1	1.2	2.4	119	1.0 X 1.0
	7 LA	6.08	ESTACIONARIO INTERMITENTE	0.1	1.2	2.4	2.111	-
	7 LA	6.08	ESTACIONARIO INTERMITENTE	0.1	1.2	2.4	2.111	-

...continuación

Simulador de Lluvia (localidad)	Boquilla	Presión (PSI)	Mov., de boquilla y Patrón de Asperjado	Diámetro de gota			Intensidad (mm hr ⁻¹)	Tamaño Parcela (m X m)
				D ₁₀	(mm) D ₅₀	D ₉₀		
INFILTROME-TRO DE INTENSIDAD VARIA-BLE. UNIV. HE-BREA REHO-VOT. ISRAEL REFER, UNIVER- SIDAD ESTA -TAL DE COLORADO. FORT COLLINS, COLORADO.	7 LA	6.08	ESTACIONARIO INTERMITENTE	0.1	1.2	2.4	2.111	1.2 X 1.2
UNIVERSIDAD DE DAKOTA DEL NORTE. MANDAN, DAKOTA DEL NORTE	RAIN JET 78 C	27.2	ESTACIONARIO INTERMITENTE	0.5	1.2	3.0	12-100	-
USGS, LAKEWOOD, COLORADO	RAIN JET 78 C	27.2	ESTACIONARIO CONTINUO	0.7	1.4	2.8	36-58	13 X 26
USGS, DENVER COLORADO	RAIN JET 78 C	27.2	ESTACIONARIO CONTINUO	0.6	1.4	2.8	50	-
USGS, USDA - SEA AR. TUCSON, ARIZONA	RAIN JET 78 C	27.2	ESTACIONARIO CONTINUO	0.6	1.4	2.8	50	-
USGS USDA - SEA-AR. SIDNEY, MONTANA	RAIN JET 78 C	28.98	ESTACIONARIO CONTINUO	0.7	1.5	2.4	64	-
SIMULADOR DE DISCO ROTATORIO ESTACION DE INVESTIGACION PARA LA EROSION DEL SUELO EMEK, ISRAEL	SPRAYING SYSTEMS 1HH12 FULL JET 1.5H30	8.4	ESTACIONARIO INTERMITENTE	-	-	-	9-74 15-143	1.0 X 1.5

50

...continuación

Simulador de Lluvia (localidad)	Boquilla	Presión (PSI)	Mov., de boquilla y Patrón de Asperjado	Diámetro de gota			Intensidad (mm hr ⁻¹)	Tamaño Parcela (m X m)
				D ₁₀	(mm) D ₅₀	D ₉₀		
SIMULADOR DE DISCO ROTA -TORIO UNIVER SIDAD DE ARIZONA, TUCSON ARIZONA. TIPO MORIN Y GOLD BERG.	SPRAYING SYSTEMS 1.5H30 FULL JET	8.4	ESTACIONARIO INTERMITENTE	-	-	-	17-20	1.5 X 1.5
CENTRO DE INVESTIGACION PAR A LA CONSERVA CION DEL SUELO. GUNNEDAH, AUSTRALIA	SPRAYING SYSTEMS 1.5H30 FULL JET	9.8	ESTACIONARIO INTERMITENTE	1.9	2.6	4.3	58-115	1.0 X 1.5
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS, WAITE, SOUTH, AUSTRALIA	SPRAYING SYSTEMS 1.5H30 FULL JET	9.66	ESTACIONARIO INTERMITENTE	-	2.4	-	10-150	1.0 X 1.0
UNIVERSIDAD DE CORNELL, ITHACA, N. Y.	7309 FLAT TEE JET 8015 FLAT TEE JET	19.18-38.5	ROTATORIO INTERMITENTE	-	-	-	17-282	-
SIMULADOR PORTATIL, COMMON WEALTH ATHERTON, AUSTRALIA	ROSE SPRAY HEAD	-	LATERAL INTERMITENTE	-	1.3	-	80	2.0 X 3.3

51

...continuación

Simulador de Lluvia (localidad)	Boquilla	Presión (PSI)	Mov., de boquilla y Patrón de Asperjado	Diámetro de gota			Intensidad (mm hr ⁻¹)	Tamaño Parcela (m X m)
				D ₁₀	(mm) D ₅₀	D ₉₀		
RAINTOWER USDA -SEA -AR MANHATTAN, KANSAS	SPRAYING SYSTEMS 14WSQ Y 35WSQ	-	ESTACIONARIO CONTINUO	1.0	2.1	3.9	18	1.5 X 3.1
SIMULADOR LABORATORIO UNIVERSIDAD DE SALFORD, LANCASHIRE, U.K	CHILDS (PVC)	45	ESTACIONARIO	-	-	-	0-300	6.2 X 4.1
OAK RIDGE NATIONAL LABORATORIO, OAK RIDGE, TENNESSE.	BETA FOG SRN303	-	ESTACIONARIO CONTINUO	.04	-	1.2	5-27	1.0 X 1.0
INFILTROME - TRO TIPO F, USDA -SEA -AR ; BELTS VILLE, MARYLAND.	TIPO F	27.02-34.72	ESTACIONARIO CONTINUO	-	-	-	46-64	2.0 X 3.9
INFILTROME - TRO ROCKY MOUNTAIN USDA -FOREST SERVICE, Ft. COLORADO	TIPO F	19.32-28.84	ESTACIONARIO CONTINUO	-	-	-	127	0.3 X 0.8
INFILTROME - TRO INTER MOUNTAIN USDA -FOREST SERVICE, OGDEN, UTAH	TIPO F	33.74	ESTACIONARIO CONTINUO	-	-	-	25-152	0.6 X 1.8

Simuladores

Simuladores

52

...continuación

Simulador de Lluvia (localidad)	Formador de Gota	Distancia de Caída (m)	Tamaño de gota (mm)	Intensidad (mm h ⁻¹)	Tamaño Parcela (m X m) O (m ²)
INFILTROMETRO MOVIL UNIV. DE WYOMING LARAMIE WYOMING	HILOS	2.6	-	25-152	0.6 X 0.6
INFILTROMETRO PORTATIL. UNIV. ESTATAL IOWA, AMES, IOWA	TUBOS CAPILA - RES DE VIDRIO	1.0	5.6	101	CIRCULAR 0.017
LABORATORIO SIMULADOR, UNIV. DE MAINE, ORONO MAINE.	TUBOS DE ACERO	7.2	3.2 5.1	38-50	CIRCULAR 1.33
LABORATORIO SIMULADOR UNIV. ILLINOIS, URBANA. ILLINOIS	TUBOS DE POLIETILENO	2.7	3.2	19-33	12.0 X 12.0
SIMULADOR DE BAJA INTENSIDAD, UNIV. INST. DE AGRONOMIA REHOVET, ISRAEL	TUBOS DE ACERO	-	2.8	6	0.5 X 0.5
SIMULADOR DE GOTA UNIV. DE ILLINOIS, URBANA., ILLINOIS	AGUJAS HIPODERMICAS, TUBOS DE POLIETILENO, TUBOS DE ACERO	8.9	2.2 3.4 4.9	10-70 45-350 100-525	1.3 X 1.3
INFILTROMETRO MOVIL UNIV. TEXAS EST. EXP. TEXAS.	TUBOS DE ACERO	2.3	2.5	5-250	1.0 X 1.0

53

...continuación

Simulador de Lluvia (Localidad)	Formador de Gota	Distancia de Caída (m)	Tamaño de gota (mm)	Intensidad (mm hr ⁻¹)	Tamaño Parcela (m X m) O (m ²)
LABORATORIO SIMULADOR UNIV. DE PURDUE, LAFAYETTE, INDIANA	TUBOS DE POLIETILENO	2.6	2.7	13-200	4.6 X 4.6
LABORATORIO SIMULADOR, USDA-SEA - AR. OXFORD MISSISSIPPI	AGUJAS HIPODERMICAS	6.7	VARIABLE	1-250	CIRCULAR 0.45
SIMULADOR TIPO TAHOE UNIV. DE CALIFORNIA DAVIS, CALIF.	TUBOS DE POLIETILENO	2.5	3.2	76-250	0.6 X 0.6
LABORATORIO SIMULADOR CSIRO DIV. DE SUELOS CAMBERRA, AUSTRALIA	AGUJAS HIPODERMICAS	12.3	2.5 5.1	20-250	0.6 X 3.0
LABORATORIO SIMULADOR UNIV. ESTATAL DE UTAH LOGAN, UTAH	TUBOS DE LATON	5.0	4.5	25-787	9.8 X 9.8
SIMULADOR POR-TATIL UNIV. ESTATAL DE UTAH LOGAN, UTAH	AGUJAS HIPODERMICAS	1.6	2.5	38-250	0.6 X 0.6
INFILTROMETRO DE GOTA USDA - SEA -AR, COSHOC-TON, OHIO	AGUJAS HIPODERMICAS	2.6	VARIABLE	5-102	1.0 X 2.0
LABORATORIO SIMULADOR UNIV. NEBRASKA LINCOLN, NEBRASKA	VARAS DE PLASTICO	11.3	5.1	20-120	CIRCULAR 0.005

CONTINUACIÓN

... continuación					
Simulador de Lluvia (localidad)	Formador de Gota	Distancia de Caída (m)	Tamaño de gota (mm)	Intensidad (mm hr ⁻¹)	Tamaño Parcela (m X m) O (m ²)
LABORATORIO SIMULADOR USDA - SEA -AR, FORT COLLINS, COLORADO LABORATORIO	TUBOS DE TEFLON	3.0	3.6	76-203	1.2 X 1.2
SIMULADOR UNIV. ESTATAL FOREST-TAL SYRACUSE, N. Y. LABORATORIO	TUBOS DE POLIETILENO	1.0	3.2	19-33	0.7 X 0.7
SIMULADOR, UNIV. ESTATAL FOREST-TAL SYRACUSE, N. Y. LABORATORIO	TUBOS DE POLIETILENO	1.0	3.2	19-33	2.0 X 2.0
SIMULADOR UNIV. ESTATAL DE GHENT, BELGICA LABORATORIO	TUBOS DE COBRE	2.8	VARIABLE	4.7-64.5	-
SIMULADOR CSIRO, CAMBERRA, AUSTRALIA LABORATORIO	AGUIAS HIPODERMICAS, TUBOS DE PLASTICO	11.2	3.8 5.1	0-300	1.0X1.0
LABORATORIO SIMULADOR UGANDA	-	6.0	3.2 6.2	50-152	-
SIMULADOR PORTATIL, NUEVA ZELANDA	ALAMBRES	-	-	200-300	CIRCULAR 0.015

54

Referencias Bibliográficas

- Asenave, C. et al. 1979. Simulation de pluie sur bassins versants représentatifs. Cah. Orstom Ser. Hydrol, Vol. XIX N° 4.
- Asseline, J. y C. Valentin. 1977. Construction et mise au point d'un infiltrometre a aspersion. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. Centre D'Adiopoboune-Côte D'Ivoire. France.
- Blackburn, R.O. y C.M. Skaw. 1974. A mobile infiltrometer for use on Rangeland. Journal of Range Management Technical. Notes 27 (4).
- Brock, J.H. et al. 1982. Infiltration and sediment production on a deep hardland range site in North Central Texas. Journal of Range Management. 35 (2) March.
- Bubbenzer, G.D. et al. 1985. Low intensity rainfall with a rotating disk simulator. Transaction of American Society of Agricultural Engineers. Vol. 28(9): July-August.
- China, S.S. et al. 1985. The Effect of Soil Air Entrapment on Soil Erosion during simulated rainfall. Transaction of American Society of Agricultural Engineers. Vol. 28(5): September-October.
- Collinette, J. y C. Valentin. 1979. Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Cah. Orstom. Sér. Péd. Vol. XII. N° 4, France.
- Department of agriculture, U. S. A. 1979. Proceedings of The rainfall simulator workshop, Tucson, Arizona.
- Hart, G. E. 1984. Erosion from simulated rainfall on mountain rangeland in Utah. Journal of Soil and Water Conservation. Vol. 39 (5): September-October.
- Kenneth, H.S. 1985. Drop Size Distributions for Irrigation Spray Nozzles. Transaction of American Society of Agricultural Engineers. Vol. 28(6): November-December.
- Meewing, R.O. 1969. Infiltration and Soil Erosion as Influenced by Vegetation and Soil in Northern Utah. Technical Notes of Intermountain Forest and range Experiment Station Forest Service USDA. Ogden, Utah.
- Munn, J.R. y G.L. Huntington. 1976. A portable rainfall simulator for erodibility and infiltration measurements on rugged terrain. Soil Science. AN. J., Vol. 40.

55

Simuladores

- Rauzi, F. y F.M. Smith. 1973. Infiltration rates: three soils with three grazing levels in Northeasten Colorado. Journal of range management. 26(2). March.
- Rojas, M. 1977. Simuladores de lluvia . Centro Interamericano para el Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT). Mérida, Venezuela.
- Sánchez C., I. 1896. Cosecha de agua de lluvia "in situ" una alternativa para zonas de escaso y errático régimen pluvial. Tema didáctico N° 7 de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Delegación Laguna, Gómez Palacio, Dgo.
- Sánchez B., C. 1984. Effects of livestock grazing and exclusión on infiltration and sediment yields for different range sites on El plateado watershed, Zacatecas, México. Distertation for the Ph.D. New México State University. Las Cruces, New México.
- Schults, A.R. et al 1985. Detachment and splash of a cohesive soil by rainfall. Trasaction of American Society of Agricultural Engineers, Vol. 28 (6): November-December.
- Shelton, C.H. et al 1985. A continuos-application raifall simulator. Transaction of American Society of Agricultural Engineers, Vol. 28(4): July-August.
- Velazco H., A. 1983. Uso y manejo del suelo. Ed. Limus pp. 124-125.
- Velázquez M., A. 1985. Influencia del pastoreo sobre la infiltración y producción de sedimentos en diferentes comunidades vegetales en el cañon de Juchipila. Informe técnico de actividades SARH-INIA. CIANOC.

USO DE LLUVIA ARTIFICIAL PARA PARAMETRIZAR MODELOS DE PROCESOS HIDROLOGICOS



Editores:
Dr. Ignacio Sánchez Cohen
Dr. Jeffrey Stone
Dr. Rodolfo Jasso Ibarra



CENID-RASPA
Libro Científico No. 1