

# ESTUDIO COMPARATIVO SOBRE LA VELOCIDAD DE DESCOMPOSICION DE LA MATERIA ORGANICA EN REGIONES TROPICALES Y TEMPLADAS.—

Por: Hans Jenny, S. P. Gessel  
y F. T. Bingham.

Este es el tercero de los trabajos sobre suelos tropicales, escritos por el Dr. Jenny y sus colaboradores.-

Fué traducido de la revista Soil Science 68: 419-432, 1949, por los Drs. M. Llano Buenaventura y P. B. Peterson, bajo la supervisión del autor.-

o

En comparación con los suelos de los Estados Unidos, los bien drenados de las tierras elevadas de las regiones ecuatoriales de Colombia son muy ricos en nitrógeno total y materia orgánica.- En localidades de idénticos valores para la temperatura y precipitación media anual, los niveles de nitrógeno y materia orgánica de los suelos colombianos son muchas veces más altos que los de los suelos de los Estados Unidos (7)<sup>o</sup>.-

La presente publicación demuestra que tanto los suelos centro-americanos como los colombianos contienen gran cantidad de materia orgánica.- Para facilitar comparaciones cuantitativas con latitudes medias se introducen los datos sobre el contenido de materia orgánica de algunos suelos californianos.- Además, se discute la medición de producción y descomposición de la materia orgánica en varios climas.-

## Cantidades de Nitrógeno y Materia Orgánica en los Suelos Centro-Americanos.-

A fines de 1946 el autor principal tomó muestras de suelos a varias alturas en el Este de Costa Rica<sup>o</sup>.- Los suelos fueron analizados

<sup>o</sup>Los números entre paréntesis se refieren a la bibliografía que se cita al final.-

<sup>o</sup>El autor principal agradece de especial manera a R.H. Allee, director del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas en Turrialba quien hizo posible que el autor se quedara en el Instituto como también a N.C. Ives y S. Bonilla por la ayuda en la colección de las muestras de suelo y terminación de los experimentos.-

en Berkeley, California de acuerdo con métodos dados en publicación pasada (7).- Los resultados analíticos se dan en términos de suelo seco a la estufa.-

En la figura 1 aparecen las funciones nitrógeno-profundidad de siete perfiles de suelos elevados costarricenses con buen drenaje.- Estos suelos se pueden reunir climatológicamente en el grupo calentano de "Turrialba" y en el grupo "Juan Viñas" de zona relativamente fría. Aunque todos los perfiles indican altos contenidos de nitrógeno, los del grupo "Juan Viñas" ostentan los valores más altos.- Los contenidos de materia orgánica son así mismo altos, como puede juzgarse por la alta relación carbono-nitrógeno.- Los rasgos de los perfiles de los suelos del grupo "Juan Viñas" son semejantes a los suelos pardo-amarillo húmferos de Colombia.-

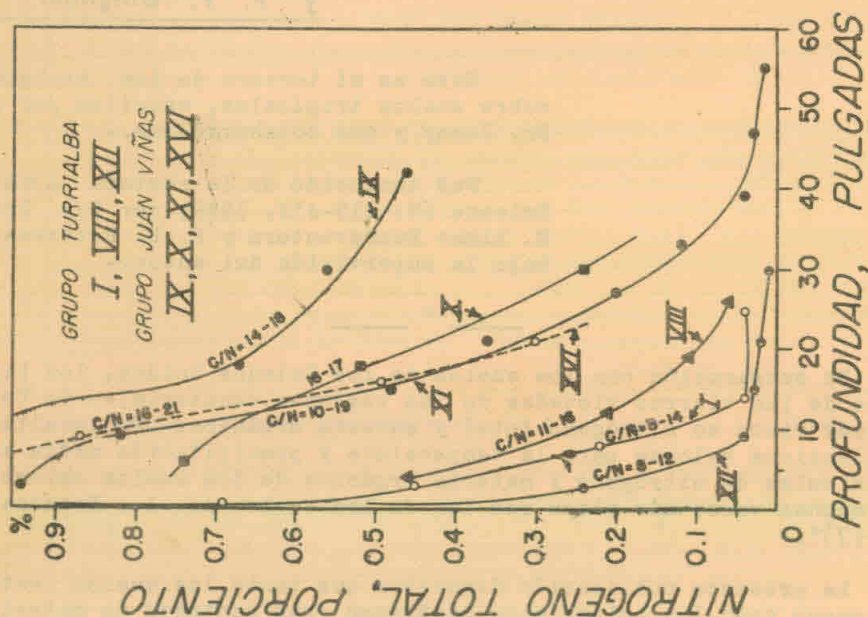


FIGURA 1

Funciones nitrógeno-profundidad de los suelos Costa Rica

En la tabla 1 se dan los valores para el nitrógeno, relación carbono-nitrógeno, pH. y texturas de 23 suelos bien drenados representados por muestras tomadas de 0 a 8 pulgadas, en sitios a alturas de 300 a 4200 pies sobre el nivel del mar.- En todas las localidades mencionadas, la precipitación media anual es alta, variando de 70 a 150 pulgadas, en tanto que la temperatura media anual varía desde más o menos 76° F en las tierras bajas y calientes hasta 65° F en la Meseta Central.-

Los contenidos de nitrógeno en la superficie de estos suelos costarricenses son muy altos; sobre la base de temperatura y precipitación media anual, los contenidos de nitrógeno y materia orgánica son comparables con los de los suelos colombianos.- Whetting (13) también ha informado sobre altos contenidos de nitrógeno en los suelos de Guatemala.-

TABLA 1

Datos analíticos de 23 suelos costarricenses bien drenados

Profundidad de 0 a 8 pulgadas

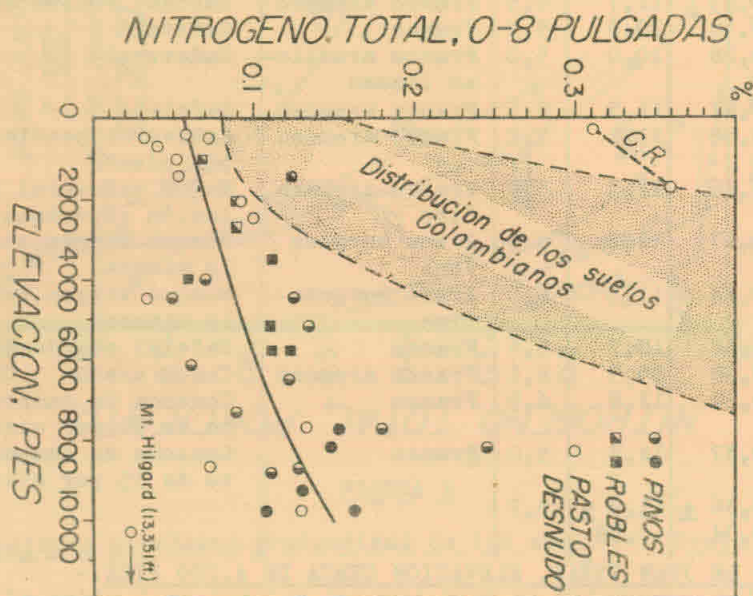
Número	N por ciento	C/N	pH°	Textura	Observaciones
<u>EL CAIRO, ELEVACION DE 300 PIES.-</u>					
21	0,26	10,2	5,1	Franco arenoso	Cauchal
22	0,35	11,0	5,5	Franco arenoso	Bosque virgen, sólo el sue lo mineral
23	0,32	9,6	5,1	Franco arenoso	Pasto
Prome- dio	0,31	10,3	5,2		
<u>VECINDAD DE TURRIALBA, ELEVACION DE 1.837 PIES.-</u>					
1	0,33	12,7	6,3	Franco arenoso	Cauchal recién establecido
2	0,38	10,3	5,2	Franco	Cafetal
3	0,28	10,0	5,0	Franco arcillo- so limoso	Cañaveral
4	0,61	11,3	6,6	Franco arenoso	Cafetal
7	0,50	11,1	5,7	Franco arenoso	Cañaveral, pendiente de 10 por ciento
8	0,46	12,3	5,8	Franco arenoso fino	Mejor cañaveral de la es- tación experimental
12	0,17	12,2	6,0	Arena margosa fina	Bosque virgen, solo el sue lo mineral
13	0,14	11,3	6,0	Arena margosa fina	Bosque virgen, solo el sue lo mineral
17	0,42	10,7	5,6	Franco	Cafetal abandonado
18	0,38	13,9	6,1	Franco arenoso	Campo arado
24	0,25	12,8	4,9	Franco	Cosecha de campo, pendien te de 30 por ciento
25	0,37	14,3	5,0	Franco	Cosecha de campo, pendien te de 15 por ciento
Prome- dio	0,36 ± 0,04	11,9 ± 0,39	5,7		
<u>VECINDAD DE JUAN VIÑAS, ELEVACION CERCA DE 4.200 PIES.-</u>					
9	1,23	13,4	5,6	Franco orgánico	Caña de azúcar, pendiente 30 por ciento
10	0,81	17,4	5,5	Franco arenoso orgánico	Pasto, pendiente de 30 por ciento
11	0,91	14,5	5,3	Arena margosa orgánica	Pasto, pendiente de 50 por ciento
14	0,99	14,8	5,3	Arena margosa orgánica	Pasto, pendiente de 10 por ciento
15	0,92	13,2	6,0	Franco arenoso orgánico	Caña de azúcar, pendiente 20 por ciento
16	1,05	18,1	5,4	Franco arenoso	Caña de azúcar, sitio lla- no en una loma
Prome- dio	0,99 ± 0,06	15,2 ± 0,84	5,5		

° Relación suelo - agua 1:2

## Contenidos de Nitrógeno en algunos Suelos de la Sierra Nevada de California.-

En la región de Friant Dam, Shaner Lake, Huntington Lake y Mt. Hilgard, se extiende un batolito granítico que comprende zonas elevadas de 500 a 13.000 pies.- Desde una altura de 2.000 pies hasta la línea superior del bosque a los 10.000 pies, los suelos pertenecen a los amarillo-rojizo podsolizados que poseen un horizonte A2 gris claro bien definido y un B amarillo o rojizo.-

En la Sierra Nevada se duplicaron los estudios del perfil y las medidas de producción y descomposición de materia orgánica llevadas a cabo simultáneamente en Costa Rica y Colombia.- En la figura 2 aparecen las variaciones del contenido de nitrógeno en el suelo (0-8 pulgadas, excluyendo el piso forestal), relacionadas con la elevación y el tipo de vegetación.- Todos los análisis se refieren a la fracción "tierra fina" (2mm.) del suelo.- No se hicieron correcciones por concepto de contenido de piedras.- Para comparación se incluyen en el gráfico las relaciones correspondientes entre nitrógeno del suelo y elevación en Colombia y Costa Rica.-



**FIGURA 2**

Relación entre el contenido de nitrógeno en el suelo (0 - 8 pulgadas) y la elevación en California.-

Se indican también la extensión de los suelos colombianos y los promedios costarricenses (C.R.)

Son grandes los contrastes en los contenidos de nitrógeno entre los suelos ecuatoriales (Colombia y Costa Rica) y los templados.- Los autores opinan que las muestras de suelo colectadas representan extensiones considerables.-

## Cálculo de la Producción de Materia Orgánica Suministrada por la Vegetación.-

En la literatura científica americana existe una escasez deplorable de información acerca de la producción de materia orgánica suministrada por la vegetación forestal.- Esta deficiencia es más marcada en las regiones tropicales.- Aunque, debido a la caída de hojas en octubre y noviembre, es relativamente fácil recoger el capote de hoja recién caída de los árboles deciduos en Norte América, la recolección del capote en las regiones ecuatoriales debe hacerse durante todo el año.-

Para los propósitos de acumulación de la hoja en el bosque virgen fueron colocados en Colombia (2) y California, colectores que consistían en marcos cuadrados de madera de 4 a 6 pulgadas de altura al fondo de las cuales se les adaptó un anejo metálico que reposaba directamente en el suelo.- Los colectores para Colombia eran de un metro cuadrado en área interna y los de California de medio metro cuadrado. Estos marcos se colocaron a 6 pies del tronco del árbol y las muestras (consistentes en hojas, agujas, frutas, tallos y cualquier otro material de planta que cayere en los marcos) designadas como "litter" (capote) fueron retiradas y pesadas a intervalos frecuentes.- También se tomaron muestras del piso forestal debajo de los colectores.-

La variación estacional de la producción de capote en los bosques tropicales aparece en la figura 3.- Los dos colectores que se pusieron en Chinchiná se encontraban a varios centenares de pies de distancia, quedando uno de ellos debajo de un mestizo (Guarco-Gigantea) y el otro debajo de árboles deciduos de hoja grande y de mediana estatura y arbustos.-

En la tabla 4 se dan los valores anuales de producción de capote (A) sobre base de sequedad a la estufa (105° C).- Los datos californianos fueron tomados durante 1947-48.- Obsérvese que las producciones anuales del capote de localidades tropicales exceden a las de California.- Si se calculan tomando el acre como medida de superficie, aparece que los bosques tropicales dejaron caer de 8.000 a 11.000 libras de hoja y tallo en un año mientras que los árboles de la Sierra Nevada sólo produjeron de 800 a 3.000 libras.-

### Rapidez de la Descomposición de la Alfalfa en Diferentes Climas.

La información cuantitativa sobre las velocidades de descomposición en varios climas se obtuvo (tabla 2), poniendo dentro del suelo tarros de metal que contenían hojas de alfalfa seca con un contenido de 3,5% de nitrógeno.-

Los recipientes de metal se construyeron con dos tipos de tarros obtenidos de la "Continental Can Co.", tipo L Plate, No. 211-301 (7 centímetros de altura, 6,7 centímetros en diámetro) y No. 211-400 (10 centímetros de altura, 6,7 centímetros en diámetro).- A los tarros se les quitó la parte de encima y el fondo, soldándose el cilindro corto

---

El primer autor tuvo la fortuna de encontrar la cooperación de L.O. Souffront de Chinchiná y de V.M. Patiño en Cali para el cálculo de la producción de hoja de los bosques lluviosos trópicos durante el año de 1947.-

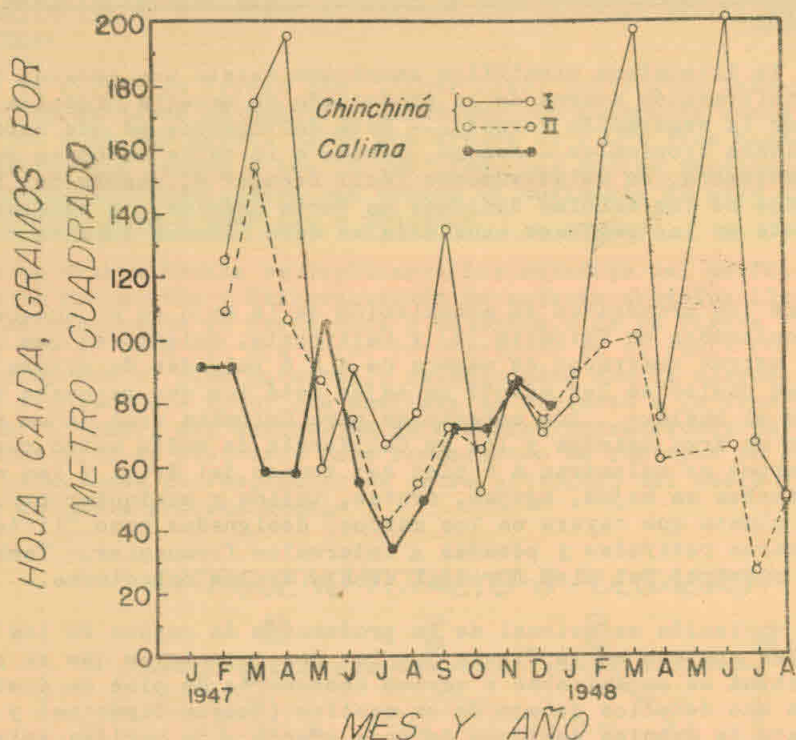


FIGURA 3

La variación en la hoja caída de los bosques lluviosos trópicos.-

Multiplicando gramos por metro cuadrado por 8,92, se obtienen libras por acre.- Los resultados se dan en la tabla 4

sobre el largo e insertándose una separación de anejo metálico.-El cilindro del fondo se dejó vacío, mientras que el de la parte superior se llenó con las siguientes capas (véase figura 4): seda de vidrio, hojas de alfalfa (10 ó 15 gramos), papel filtro, seda de vidrio.- El cilindro de encima se tapó con una red de alambre galvanizado que consistió en material de un limpiador comercial de marmitas.-

Estos receptáculos se colocaron verticalmente en el suelo de tal manera que sólo sobresalieran media pulgada.- Luego se inoculó la alfalfa con una suspensión de suelo.- En cada localidad se colocaron ocho recipientes, dentro de un área de un metro cuadrado.-

A intervalos de tres meses se retiraron dos recipientes y se secó el contenido para enviarlo por aéreo a Berkeley, en donde fueron pesados y analizados.- En Costa Rica (en 1946) y en Colombia (en 1946-47) se colocaron ciento doce recipientes entre 1946 y 1947, mientras que en California (1946-1948) se colocaron más de 600 en varios lugares.- Debido a interferencia humana y animal, la pérdida de los tarros fué relativamente alta, sobre todo en los trópicos, en donde aún se perdió la localización de varios sitios debido al exuberante crecimiento.

TABLA 2

Localidades, clima y nombres de los cooperadores en los estudios sobre la descomposición de alfalfa.

Las cifras en paréntesis denotan valores estimados

Número	Localidad	Elevación		Clima anual o clima durante el experimento			Fecha de la colocación de los tarros	Cooperadores	
		m.	pies	Temperatura	Precipitación	Pulgadas			
				Co	Fo	m.m.			
1°	Costa Rica (N.C. Ives,			Diez gramos de alfalfa expuestos					
2	Diamantes, césped	250	820	24,4	75,9	3.007	118,4	2 de oct. de 1946	H. Echeverri
3	" bajo árbol	250	820	24,4	75,9	3.007	118,4	" " 1946	H. "
4	Cairo, suelo yermo	91	300	24,2	75,5	3.747	147,5	" " 1946	H. "
5	Turrialba, matorral	500	1.640	(22,8)	(73)	(1.870)	(74)	" " 1946	G. Bonilla
6	" cauchal	500	1.640	(22,8)	(73)	(1.870)	(74)	" " 1946	G. "
	" Hulera								
7	Juan Viñas, suelo	560	1.837	22,5	72,5	1.872	73,7	" " 1946	A. Lizano
	" yermo	1.280	4.200	18,4	65,1	3.581	141,0	" " 1946	G. Bonilla y
8	" bajo árb.	1.311	4.300	(18,3)	(65)	(3.581)	(141)	" " 1946	E.A. Strauman
	Colombia (L.O. Souffront,			Quince gramos de alfalfa expuestos					
9	Calima, césped	30	98	26,6	79,9	9.123	359	15 de dic. de 1946	V.M. Patiño, C. Pon tón Ranjel
10	Palmira, césped	1.066	3.498	24,0	75,2	956	37,6	" " 1946	G. Ramirez
11	Villavicencio, césped	498	1.633	26,3	79,3	4.033	158,8	" ene. " 1947	Marston Bates
12	Chinchiná, césped	1.433	4.702	22,0	71,6	2.769	109,0	" dic. " 1946	L.O. Souffront
13	Chinchiná, matorral	1.630	5.350	(21)	(70)	(2.800)	(110)	" " 1946	L.O.
14	Bogotá, césped	2.640	8.659	(14,5)	(58,1)	(976)	(38,4)	" feb. " 1947	J. Ancizar-Sordo.

Se colocaron las muestras 1,2,3,6,7,9,10,11,12 a pocos pies de distancia de termógrafos y pluviógrafos.

to de la vegetación.-

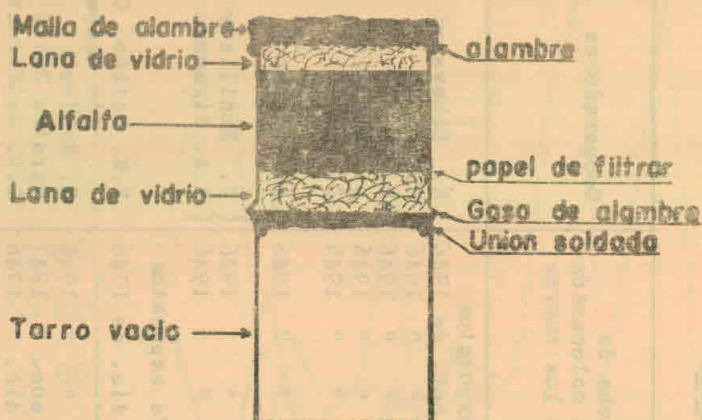


FIGURA 4

Tipo de tarro que se usa en los estudios sobre la descomposición en los suelos de alfalfa.

#### Resultados en Colombia.-

La figura 5 muestra las pérdidas acumulativas de alfalfa (porcentaje del peso seco a la estufa) en relación al tiempo de exposición; aparece que a un alto porcentaje inicial de pérdida siguen pérdidas menores.- En la región superhúmeda y tropical del Calima se perdió en un año casi el ciento por ciento de la alfalfa; así mismo, Chinchiná con un clima húmedo subtropical dió grandes pérdidas en materia orgánica. Palmira y Bogotá muestran porcentajes mas bajos de pérdidas, lo cual se atribuye, a que la cantidad relativamente baja de precipitación anual (38 pulgadas) para ambas localidades controló la rata de descomposición.-

Con fines de comparación se muestra en la figura 5 la curva de descomposición para la alfalfa a 25° C en el termostato del laboratorio en condiciones óptimas de humedad; esa curva se extiende por debajo de las curvas dadas para Calima (26° C) y Chinchiná (24° C).- Debido a que sólo las pérdidas gaseosas se midieron en los experimentos de laboratorio, las diferencias entre las curvas deben atribuirse a pérdidas por lixiviación.- Tanto en el campo como en el laboratorio las pérdidas de nitrógeno fueron casi proporcionales a los cambios de peso

#### Resultados en Costa Rica.-

Con el objeto de demostrar de manera más precisa la distribución diversa de las ocho curvas de descomposición costarricense, se ha ampliado la escala del eje vertical en la figura 6.- Todas las muestras de alfalfa exhiben pérdidas fuertes de material, especialmente las de la Estación experimental de Caucho de la Goodyear en la zona húmeda y caliente del Cairo.- Aún en el frío Juan Viñas las pérdidas se muestran altas debido posiblemente a la lixiviación abundante.- En todos los casos, las pérdidas iniciales exceden a las ratas iniciales de descomposición en laboratorio a 25° C.-



## PERIDAS DE ALFALFA, PORCIENTO

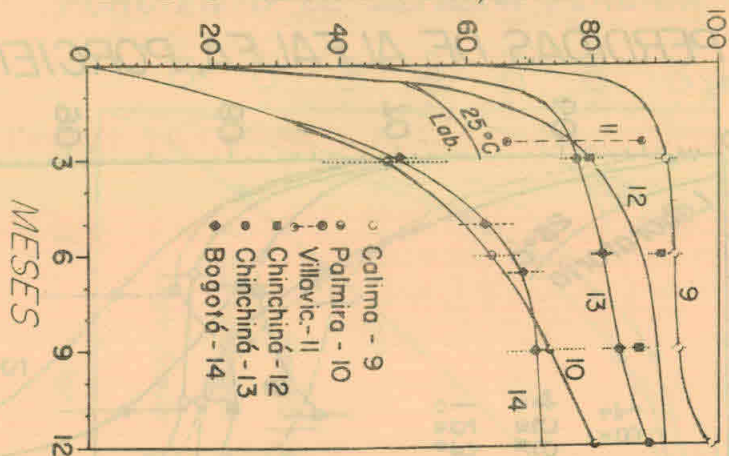


FIGURA 5

La descomposición estacional, acumulativa y las pérdidas de alfalfa en Colombia.- Las líneas en puntos muestran las variaciones entre los tarros duplicados.- Sólo una colección se obtuvo de Villavicencio

### Resultados Obtenidos en la Sierra Nevada de California.-

En contraste con los húmedos climas tropicales y subtropicales, las ratas de descomposición de la alfalfa en la Sierra Nevada son mucho menores (figura 7).- Los resultados de los experimentos de campo sugieren la explicación siguiente:

(a) A poca altura sobre el nivel del mar (Madera) la descomposición se presenta principalmente durante la estación lluviosa normalmente de septiembre a marzo.- Las altas temperaturas que se registran en el verano son poco efectivas debido a la ausencia de humedad.-

(b) A mayores alturas, la descomposición queda restringida al principio del otoño y a la última parte de la primavera.- Los meses de invierno son demasiado fríos y los de verano excesivamente secos como para tener influencia en la rata de descomposición.-

En la figura 8 se muestra la dependencia de las pérdidas anuales de alfalfa con la elevación, precipitación y temperatura anual.- La curva aparentemente errática de descomposición registra fielmente la variación en precipitación y temperatura anual con la elevación.- De los 300 a los 3.000 pies de altura la descomposición aumenta debido al aumento en precipitación.- Las temperaturas anuales varían muy poco.- Entre los 3.000 y los 7.000 pies, la precipitación permanece casi constante mientras que la temperatura disminuye notablemente.- De aquí que la rata de descomposición se reduzca de 74 por ciento a 59 por ciento. En la zona de 7.000 a 9.000 pies, la precipitación aumenta rápidamente produciéndose una correspondiente aceleración en la descomposición a pesar del descenso en la temperatura.- Entre los 9.000 y 10.000 pies

la precipitación permanece constante, mientras que la temperatura decrece y la rata de descomposición declina.-

## PERDIDAS DE ALFALFA, PORCIENTO

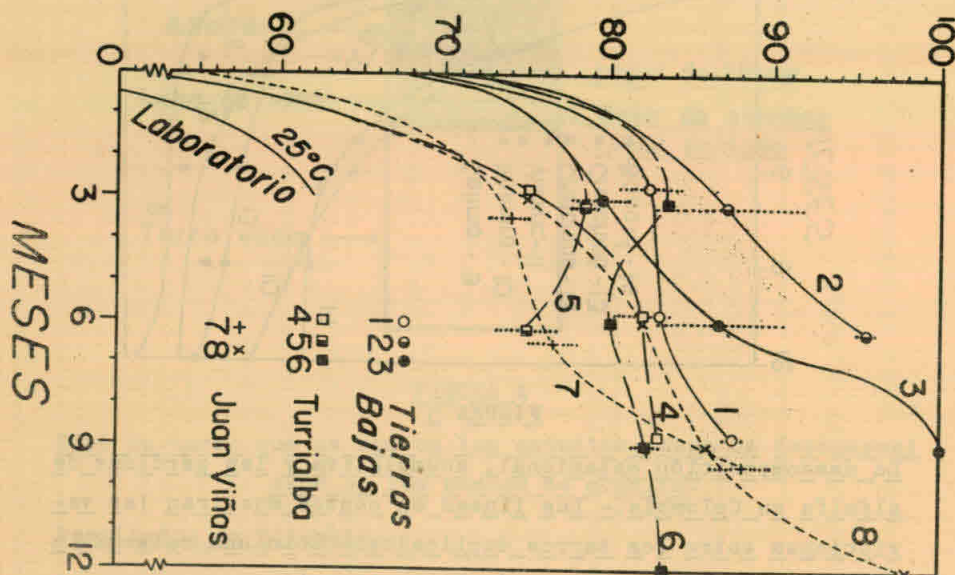


FIGURA 6

La descomposición estacional acumulativa y las pérdidas de alfalfa en Costa Rica.-

Nótese el cambio de ordenadas en comparación con la figura 5. Las líneas verticales en puntos indican la variación entre los tarros duplicados.- La ausencia de estas líneas denota una variabilidad demasiado pequeña para indicarse.

Resumen sobre las Ratas de Descomposición de la Alfalfa in situ.

Al sumarizar convenientemente los estudios de descomposición, hemos dibujado en el diagrama de temperatura-precipitación (figura 9) los residuos o porcentajes de peso de alfalfa que quedaron en los recipientes al final de un año de exposición.- La altura de cada barra indica el residuo de alfalfa.- El locus del centro de la base de cada barra representa la temperatura anual y la precipitación del sitio.- Mientras que el grupo tropical del centro corresponde a un año de estudios (1946-47), los valores para California son el resultado del promedio de dos experimentos (1946-47) y (1947-48).-

En sus aspectos más amplios, el diagrama reproduce el contenido de materia orgánica de los suelos bajo el control del clima.- De acuerdo con las funciones climáticas para Norte América y Colombia, los residuos son menores a alta temperatura y humedad y mayores a baja temperatura.- Evidentemente, en los húmedos trópicos la descomposición de la alfalfa es muy marcada; parece que la precipitación abundante fuera especialmente efectiva en reducir la cantidad de alfalfa que quedó

en los recipientes.-

## PORCIENTO DE ALFALFA PERDIDA

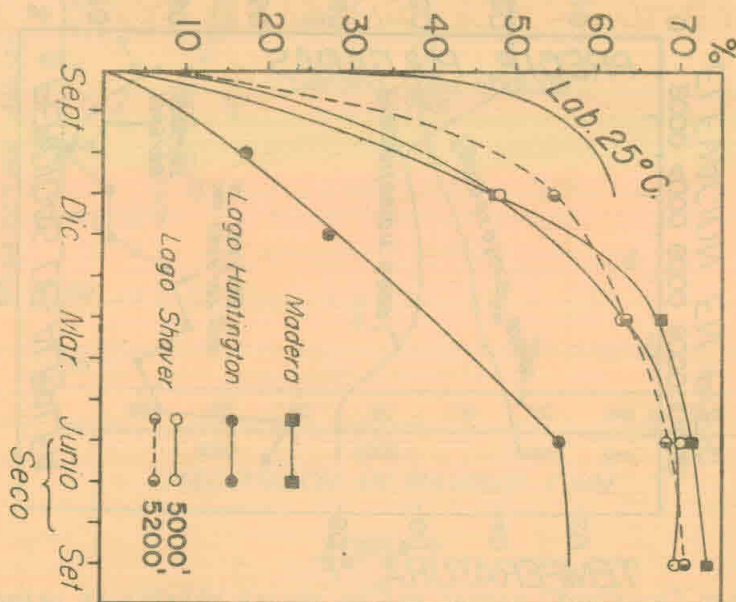


FIGURA 7

### La descomposición estacional, acumulativa y pérdidas de alfalfa en la Sierra Nevada de California

Los estudios con la alfalfa permiten analizar la aseveración hecha por Corbet (1) de que la insolación es el factor principal que interviene en la rata de descomposición de la materia orgánica en las regiones tropicales.- Por el contrario, y de acuerdo con las comparaciones dadas en la tabla 3, no aparece diferencia marcada ni consistente entre las pérdidas de alfalfa en la selva o bajo árboles aislados, en cespedes frecuentemente cortados o en el suelo yermo.- Si tales diferencias existieran, serían de importancia secundaria en comparación con los efectos producidos por la temperatura y la precipitación del macroclima.-

### Velocidades de Descomposición del Piso Forestal.-

Parece posible medir in situ la rata de descomposición del piso forestal, siempre y cuando se llenen ciertos requisitos<sup>o</sup>.-

En un bosque climax de vegetación caediza que haya alcanzado un estado de semi-equilibrio, y nos referimos al piso forestal, todo el material orgánico sobre el suelo mineral exhibe una variación rítmica. La menor cantidad de piso forestal (FE) se encuentra en el otoño inme-

<sup>o</sup>Estas ideas no son nuevas en principio (3, 5, 9, 10, 11), pero sí en sus aplicaciones específicas.- Rode (12) menciona el trabajo de Kostychev en 1885.-

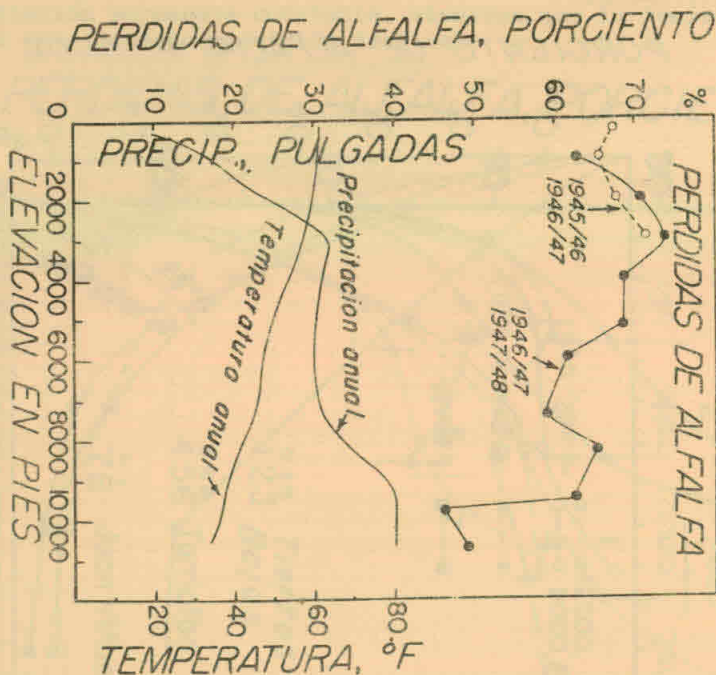


FIGURA 8

Pérdidas anuales de alfalfa en la Sierra Nevada con relación a la elevación, temperatura anual y precipitación.-

A elevaciones más altas, se obtuvieron los valores de precipitación por medio de indicadores de lluvia y datos del estudio sobre la nieve de la Compañía Edison de California

diatamente antes de la caída anual de hojas y la máxima (PE) inmediatamente después de la caída de la hoja.- En un bosque en equilibrio, la rata anual de adición de material orgánico es igual a la rata anual de pérdida.-

La rata de adición está dada por el promedio anual de caída de hoja, tallos y otras partes del árbol.- Para un área considerable dentro de un bosque climax se supone constante, digamos, A libras de materia orgánica por acre y por año.-

La rata de pérdida está dada por la cantidad promedio de capoteo piso forestal que desaparece en un año.- Las pérdidas consisten en producción de gas y en migración de sustancias humíferas disueltas y dispersas hacia el suelo mineral.- En un bosque en equilibrio, la rata promedio de pérdida también es constante, digamos, L libras de materia orgánica por acre y por año.-

En la figura 10 se ilustra esquemáticamente la variación rítmica. Con el objeto de simplificar el tratamiento cuantitativo se postula que la caída anual de hoja toma lugar muy rápidamente, en el intervalo relativamente corto dt.- Por consiguiente, en la figura 10, los va

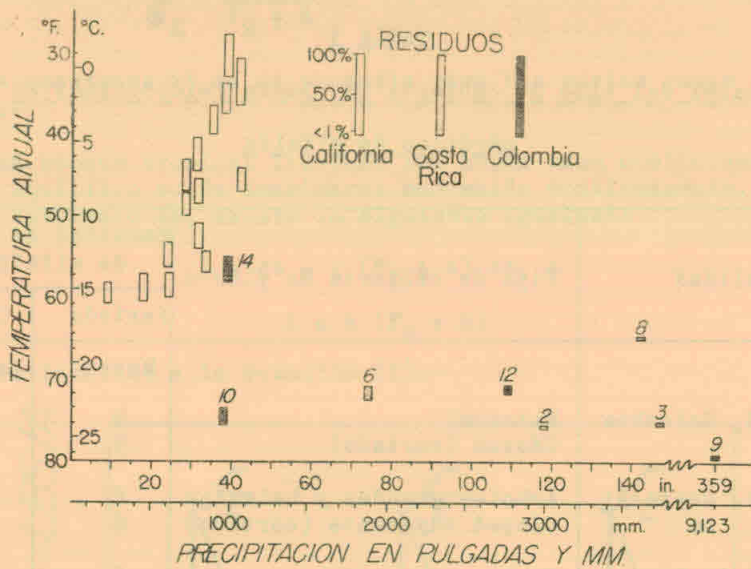


FIGURA 9

Fracción de alfalfa dejada en los tarros (Residuos) después de un año de exposición.-

La longitud de la barra indica el residuo en porcentaje de la cantidad original.- Las coordenadas corresponden al clima de los sitios.- Los números denotan el número del sitio

(Tabla 2)

lores máximos ( $\bar{E}$ ) y mínimo ( $F_E$ ) del piso forestal en equilibrio tienen prácticamente las mismas coordenadas  $-x, t, t + 1, t + 2, \text{etc.}$ -

Durante el intervalo de un año de  $t$  a  $(t + 1)$  una cierta fracción ( $k'$ ) del piso forestal se descompone.- En un sistema de equilibrio anual esta pérdida es balanceada por la adición  $A$ .- Podemos escribir:

$$A = k' \bar{E}, \text{ o}$$

$$A = k' (F_E + A) \quad (1)$$

O, de manera más precisa,

$$A_n = k' F_E; \text{ ya que } A_n = A - k'_a A,$$

obtenemos

$$A = k' F_E + k'_a A$$

Las constantes de pérdida  $k', k'_E, k'_a$ , son funciones de los factores formadores del suelo; en otras palabras:

Desafortunadamente, los autores no determinaron  $k'_a$  en el campo. Todos los cálculos en el presente escrito se fundamentan solamente en  $k'$ .-

TABLA 3

El papel del tipo de cubierta de planta (microclima) en las pérdidas de alfalfa

Localidad	Tipo de cubierta de planta	Cantidad de pérdida de alfalfa.	
		Periodo	Cantidad
		Meses	Por ciento
Chinchiná, Colombia	Matorral	9	85
	Césped (cortado)	9	90
Diamantes, Costa Rica	Arboles grandes y helechos	6	95
	Césped adyacente (cortado)	6	83
Cairo, Costa Rica	Suelo yermo	6	87
Turrialba, Costa Rica	Matorral	6	82
	Cauchal recién establecido	6	75
	Césped (cortada)	6	80
Berkeley, California	Pino canario (herbaje denso)	12	71
	Césped adyacente	12	70
Whittacker Forest, California	Abeto blanco, muy sombreado	12	74
	Abertura soleada adyacente	13	72
Mt. Guivens, California	Pino blanco occidental (herbaje denso)	12	43
	Suelo yermo adyacente, abierto	12	43
O' Neils, California	Bajo chaparral	12	73
	Hierba adyacente, soleada	12	69

$$k' = \frac{A}{F_E} = \frac{A}{F_E + A} = f(\text{cl, o, r, p, t}) \quad (2)$$

Esta constante  $k'$  es un promedio para las varias capas del piso forestal.-

En un bosque tropical lluvioso las hojas caen continuamente (fig 3), y el equilibrio puede imaginarse mantenido continuamente.- Durante el corto intervalo  $dt$ , existe la siguiente igualdad:

$$A dt = k (F_E + A) dt, \text{ o}$$

$$A = k (F_E + A)$$

la cual es idéntica a la ecuación (1).-

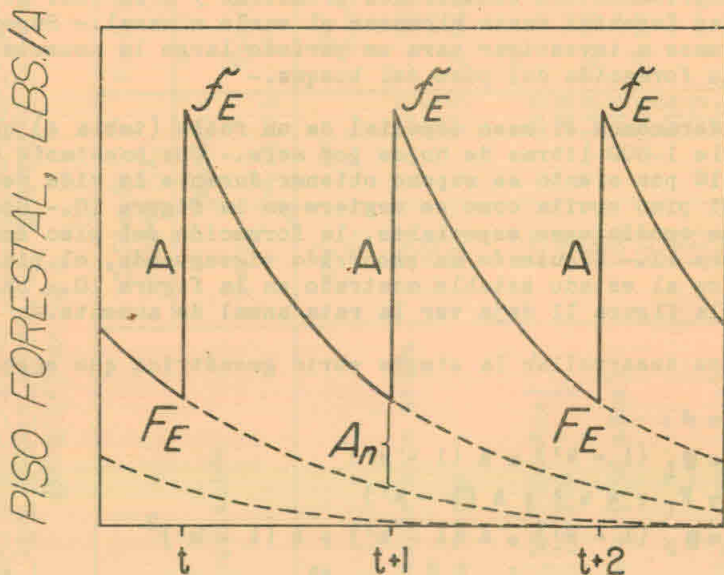


FIGURA 10

Ilustración esquemática de la variación rítmica del piso forestal en un bosque deciduo en equilibrio.

La magnitud de  $k'$  puede calcularse para cualquier localidad dada con tal que prevalezcan condiciones de semi-equilibrio en la caída del capote y piso forestal.-

Los valores experimentales de  $k'$  para materia volátil (pérdida - por ignición) se dan en la tabla 4.- Estos valores fueron calculados a partir de colectas de capote y piso forestal debajo de los recipientes, llevadas a cabo durante todo un año.- Se presume que existían condiciones de semi-equilibrio.- En la selva lluviosa tropical y perhúmeda del Calima, la constante de pérdida anual alcanza el alto valor de  $\frac{730}{730 + 432} = 63$  por ciento.- En la región húmeda-subtropical de Chiná el valor de  $k'$  es 39 por ciento.- En contraste con estos valores, los para California son mucho menores y van de 6 a 12

por ciento para el roble y de 1 a 3 por ciento para el pino.- Las variaciones de  $k'$  dentro de los grupos "roble" y "pino" están determinadas por la elevación, clima local, densidad de la vegetación y por otras variables.- Con la cuidadosa selección de árboles sin heridas, -causadas por el fuego, se esperaba reducir al mínimo los posibles disturbios del piso forestal debido al fuego en épocas anteriores.-

Funciones de Tiempo y la Acumulación del Piso en el Bosque.-

Los ingenieros forestales (4, 8) han calculado el tiempo que necesita el piso forestal para alcanzar su equilibrio, dividiendo la cantidad de hoja caída anualmente por la cantidad de piso formado.- En seguida propondremos un nuevo método de computación y se harán notar sus limitaciones.- Supongamos que se trata de un caso de bosque climax que ha adquirido un estado de semi-equilibrio, en el cual seleccionamos un área que represente las condiciones promedias y a la cual se le ha quitado el piso forestal hasta alcanzar el suelo mineral.- Supongamos también que vamos a investigar para un período largo la acumulación de capote y la formación del piso del bosque.-

Consideraremos el caso especial de un roble (tabla 4) que suministra al suelo 1.000 libras de hojas por acre.- Una constante descomposición de 10 por ciento se supone obtener durante la vida del piso forestal.- El piso oscila como se sugiere en la figura 10.- Sobre la base de estas condiciones especiales, la formación del piso se describe en la figura 11.- Siguiendo un recorrido zigzagueado, el piso finalmente se acerca al estado estable mostrado en la figura 10.- La intercalación en la figura 11 deja ver la rata anual de aumento.-

Podemos desarrollar la simple serie geométrica que sigue:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= A \\
 F_1 &= F_1 (1 - k') = A (1 - k') \\
 F_2 &= F_1 + A = A + A (1 - k') \\
 F_2 &= F_2 (1 - k') = A (1 - k') + A (1 - k')^2 \\
 F(t) &= \frac{A (1 - k') [1 - (1 - k')^t]}{k'} = F_E [1 - (1 - k')^t]
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

La ecuación que se acaba de dar, describe la secuencia de los valores  $F_1, F_2, F_3, \dots$  que aparecen en la figura 11 (pequeños círculos).-

En regiones como los trópicos húmedos, en donde la caída del capote sucede durante todo el año (fig. 3), los valores  $F$  forman una curva casi continua como se ilustra en la línea de puntos de la fig. 11. Para tales condiciones el aumento en el piso del bosque durante el tiempo  $dt$  es dado por

$$dF = A dt - k (F + A) dt = [A (1 - k) - k F] dt$$

Al integrar

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{A (1 - k)}{k} (1 - e^{-kt}) = F_E (1 - e^{-kt}) \\
 k &= -\ln (1 - k')
 \end{aligned}
 \tag{4}$$



TABLA 4

Caída de capote, pisos forestales y sus ratas de pérdida (R')  
 Para convertir gm./m.c. a libras/A., multiplíquese por 0,92  
 Secuencia de las localidades arreglada de acuerdo con valores  
 decrecientes de k'

Número	Localidad	Tipo de vegetación	Caída de capote (A)		Piso forestal (FE)		k'	Tiempo años
			Total	Materia volátil	Total	Materia volátil		
			gm./m.c.	gm./m.c.	gm./m.c.	gm./m.c.		
76	Colombia							
--	Calima	Bosque lluvioso de hoja ancha	852	730	504	432	62,8	3
--	Chinchiná I	Mestizo grande	1.205	1.115	---	---	---	--
73	Chinchiná	Bosque de hoja ancha	1.011	935	1.648	1.455	39,1	6
	California							
19	4.000 pies	Roble negro† (50-100 años)	128	122	---	924	11,7	24
41	6.000 "	" " (75-100 " )	92	88	---	724	10,8	26
23	5.000 "	" " "	155	149	4.381	2.517	5,59	52
18	4.000 "	Pino Ponderoso † (150 años)	160	143	---	4.741	2,93	101
22	5.000 "	" " "	314	305	18.837	12.635	2,36	126
24	7.300 "	" " "	249	246	---	12.351	1,95	152
43	6.000 "	" " "	133	129	---	8.705	1,46	203
36,37	9.800 "	Pino "Lodjepole"‡ (200 años)	116	101	---	11.081	0,90	332
--	5.000 pies	Coníferos mezclados (50 años)	454	435	---	14.453	2,92	102

o Pérdida a la ignición  
 † Quercus kelloggii

‡ Pinus ponderosa  
 § Pinus conorta

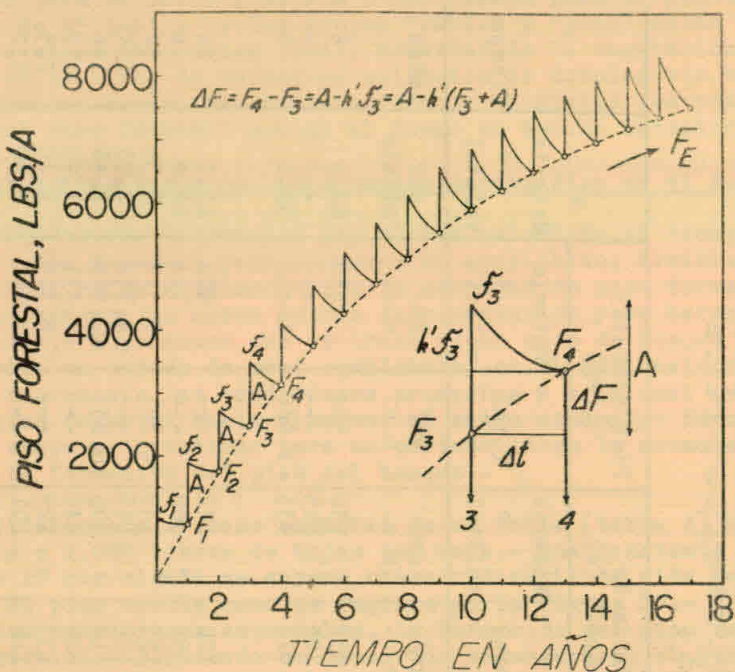


FIGURA 11

Formación de un piso forestal bajo condiciones de la invariante k.-

La figura 12 ilustra la ecuación (4) para perfiles tropicales y de la Sierra Nevada.- Otra manera de expresar la dirección de la línea de puntos en la figura 11 es así: la rata con que el piso forestal alcanza su equilibrio es proporcional a la diferencia entre la cantidad de piso en cualquier tiempo y su valor de equilibrio, o, en forma de ecuación diferencial,

$$\frac{dF}{dt} = k (F_E - F)$$

La integración de esta ecuación también da la ecuación (4).- Se entiende que k permanecerá constante por el tiempo que dure el piso orgánico.-

De acuerdo con la ecuación (4) el equilibrio final sólo se alcanzaría después de largo tiempo, pero para casos prácticos se puede calcular el tiempo necesario para alcanzar, digamos, 95 por ciento del valor del equilibrio, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\ln\left(\frac{F_E - F}{F_E}\right)}{k} = \frac{\ln\left(\frac{100 - 95}{100}\right)}{k} = \frac{3.0}{k} \quad (5)$$

Estos periodos de tiempo se dan en la tabla 4.- Asumiendo la validez de la ecuación (5), se podría concluir que en los dos suelos tro

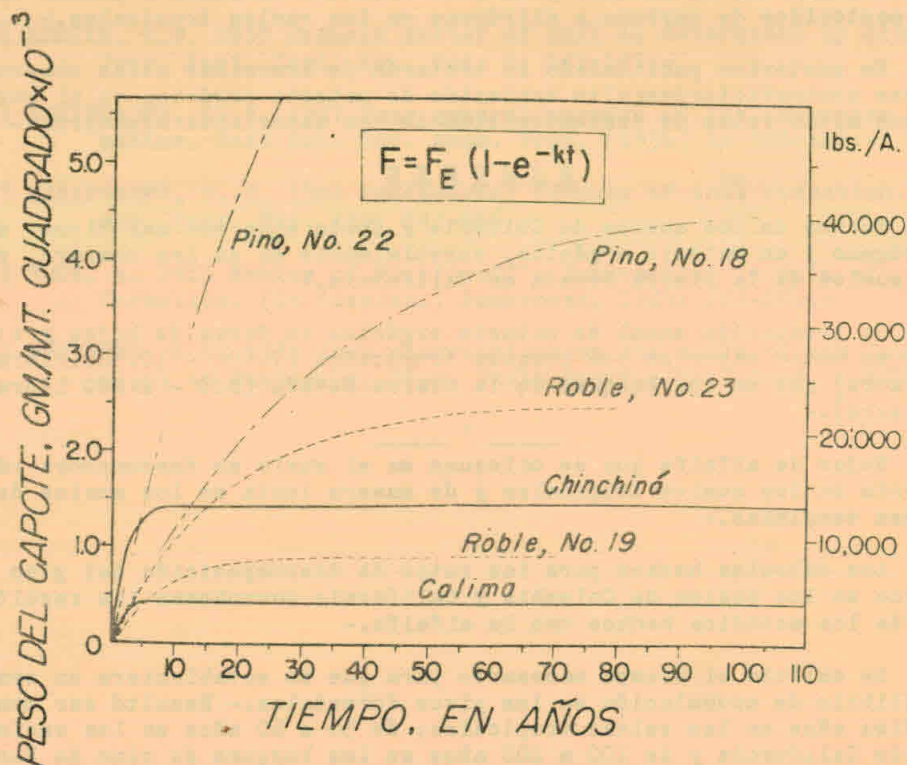


FIGURA 12

Funciones de tiempo en la formación de los pisos forestales  
(Materia volátil)

picales el semi-equilibrio del piso forestal se alcanzaría en el curso de unos pocos años.- En las montañas de la Sierra Nevada el piso de un encinar puede quedar establecido en unas pocas décadas.- En cambio el piso de un pinar requeriría uno o dos siglos para alcanzar su estado estable.-

D I S C U S I O N

Las constantes de pérdida de los pisos forestales, o cubiertas de vegetación muerta del bosque, determinadas in situ, corroboran las cantidades de pérdida anual de alfalfa.- Debido a que la alfalfa se descompone más rápidamente que la hoja de palma, que el roble o encina, y que las agujas del pino, los valores absolutos de las tasas de pérdida para la alfalfa son altos, pero para ambos conjuntos de observaciones los valores son mucho mayores en los trópicos que en California.-

Aunque estos estudios suministran información concluyente acerca del efecto del clima sobre la tasa de descomposición de los residuos orgánicos, empero no dan la razón directa sobre la causa de los altos contenidos de materia orgánica en los suelos tropicales.- En realidad

los estudios con la alfalfa y el piso forestal inclinan a pensar en bajos contenidos de carbono y nitrógeno en los suelos tropicales.-

En posterior publicación se tratarán de armonizar estas observaciones contradictorias: alto contenido de materia orgánica en el suelo versus altas ratas de descomposición de los materiales orgánicos.-

### R E S U M E N

Muchos de los suelos de Colombia y Costa Rica son muy ricos e n nitrógeno y en materia orgánica, especialmente si se les compara con los suelos de la Sierra Nevada en California.-

La producción anual de materia orgánica en forma de hojas y t allos es mucho mayor en los bosques tropicales (7.600 - 10.700 libras por acre) que en los bosques de la Sierra Nevada (820 - 2.800 libras por acre).-

Hojas de alfalfa que se coloquen en el suelo se descomponen rápi damente en los suelos tropicales y de manera lenta en los suelos de regiones templadas.-

Los cálculos hechos para las ratas de descomposición del piso or gánico en los suelos de Colombia y California corroboran los resulta dos de los estudios hechos con la alfalfa.-

Se calculó el tiempo necesario para que se estableciera un semi-equilibrio de acumulación en los pisos forestales.- Resultó ser menor de diez años en las selvas tropicales; de 30 a 60 años en los encinares de California y de 100 a 200 años en los bosques de pino de Ponderosa.-

### B I B L I O G R A F I A

- 1) CORBET, A.S. 1935 Biological Processes in Tropical Soils. W. Heffer and Sons, Cambridge.-
- 2) CUATRECASAS, J. 1946 Vistazo a la vegetación natural del Bajo Cali ma.- Presentación de Calima; Departamento del Valle del Cauca Secretaría de Agricultura y Fomento, Cali, Colombia.-
- 3) HENIN, S., and DUPUIS, M. 1945 Essai de bilan de la matiere organi que du sol. Ann. Agron. 15: 17-29.-
- 4) HEYWARD, F., and BARNETTE, R.M. 1936 Field characteristics and partial chemical analysis of the humus layers of long leaf pine forest soils. Fla. Agr. Exp. Sta. Bul. 302.-
- 5) JENNY, H. 1941 Factors of Soil Formation. New York.-
- 6) JENNY, H. 1948 Great soil groups in the equatorial regions of Colombia, S.A. Soil Sci. 66: 5-28.-
- 7) JENNY, H., BINGHAM, F., and PADILLA-SARAVIA, B. 1948 Nitrogen and organic matter contents of equatorial soils of Colombia, S.A. Soil Sci. 66: 173-186.-
- 8) KITTRIDGE, J. 1948 Forest Influences, New York.-

- 9) LEEPER, G.W. 1938 Organic matter of soil as determined by climate  
Jour. Aust. Inst. Agr. Sci. 4: 145-147.-
- 10) NIKIFOROFF, C. C. 1937 Some general aspects of the chernozem formation. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. (1936) 1: 333-342.-
- 11) NIKIFOROFF, C. C. 1942 Fundamental fórmula of soil formation. Amer. Jour. Sci. 240: 847-866.-
- 12) RODE, A. 1945 Review of Nikiforoff's fundamental formula of soil formation. (In Russian.) Pochvoved. 1945: 222-225.-
- 13) WHEETING, L.C. 1939 Some observations on the soils of the Pacific slope of Guatemala. Proc. Sixth Pacific Sci. Conf. 4:885-889

— ° —