

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**IMPORTANCIA HIDROLOGICA DE LA INTERCEPCION HORIZONTAL
EN UN BOSQUE MUY HUMEDO PREMONTANO
EN BALALAICA, TURRIALBA, COSTA RICA**

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa Conjunto de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar el grado de

Magister Scientiae

por

Gerardo Cáceres Moreno

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Programa de Recursos Naturales Renovables
Turrialba, Costa Rica

1981

DEDICATORIA

A mi madre

A mi esposa y mis hijos

A mis hermanos

AGRADECIMIENTO

Este trabajo es el resultado del esfuerzo personal del autor y de la colaboración de muchas personas a las cuales el mismo desea expresarles su agradecimiento.

El autor agradece en forma especial la colaboración de Frank Zadroga, M.S., Gerardo Budowski, Ph.D., Craig MacFarland, M.A., y Paul Dulin, M.S., Consejero Principal y Miembros del Comité respectivamente, por su valiosa colaboración y el estímulo brindado.

Al Gobierno Británico y a la Universidad de Panamá, pues gracias a su apoyo fué posible realizar sus estudios de Posgrado.

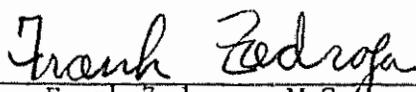
A la Universidad de Costa Rica y al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), por las facilidades brindadas durante su estadía en Turrialba.

A los compañeros y amigos que colaboraron en la realización de este trabajo, de manera especial al compañero Cecilio Estribí y al Ing. John Beer.

Esta tesis ha sido aceptada en su forma por la
Comisión de Estudios de Posgrado del Programa Conjunto
UCR/CATIE como requisito parcial para optar el grado de

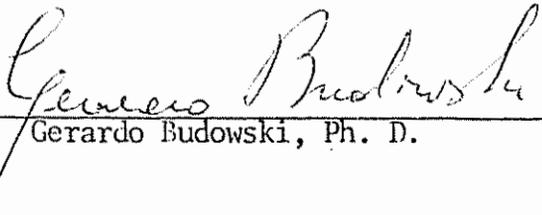
Magister Scientiae

JURADO:



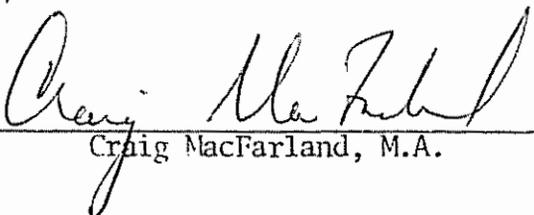
Frank Zadroga, M.S.

Profesor Consejero



Gerardo Budowski, Ph. D.

Miembro del Comité



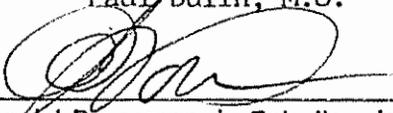
Craig MacFarland, M.A.

Miembro del Comité

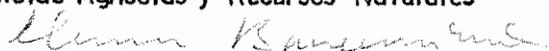


Paul Dulin, M.S.

Miembro del Comité



Coordinador del Programa de Estudios de Posgrado en
Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales



Coordinador del Sistema de Estudios de
Posgrado de la Universidad de Costa Rica



Gerardo Cáceres Moreno
Candidato

BIOGRAFIA

El autor nació en la Ciudad de David, Provincia de Chiriquí, República de Panamá, el 3 de octubre de 1944; realizó sus estudios primarios en la Ciudad de Panamá y los secundarios en el Instituto Fermin Nandea de la misma Ciudad, obteniendo el título de Bachiller en Ciencias en 1964.

Desde 1966 trabajó como Profesor de Biología y Química en el Instituto Nacional, al mismo tiempo que realizaba estudios en la Universidad de Panamá, en la cual obtuvo el título de Licenciado en Biología con especialización en Botánica, en 1973.

A partir de esta fecha prestó sus servicios como Profesor Asistente en las Cátedras de Fisiología y Morfología Vegetal de la misma Universidad, hasta el 4 de marzo de 1979 cuando ingresó al Programa Conjunto de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, de donde egresó en mayo de 1981.

CONTENIDO

| | Página |
|---|--------|
| 1. INTRODUCCION | 1 |
| 2. REVISION DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. Humedad atmosférica | 4 |
| 2.1.1 Condensación | 4 |
| 2.1.2 Núcleos de condensación | 4 |
| 2.1.3 Formación de las gotitas de agua | 5 |
| 2.1.4 La neblina | 5 |
| 2.1.5 Formación y tipos de neblina | 7 |
| 2.1.5.1 Neblinas debidas a evaporación | 8 |
| 2.1.5.1.1 Neblinas frontales y stratus | 8 |
| 2.1.5.1.2 Neblinas de saturación o de evaporación | 8 |
| 2.1.5.2 Neblinas debidas a enfriamiento | 8 |
| 2.1.5.2.1 Neblinas de advección | 8 |
| 2.1.5.2.2 Neblinas de radiación | 9 |
| 2.1.5.2.3 Neblinas de inversión | 9 |
| 2.1.5.2.4 Neblinas ascendentes | 9 |
| 2.1.6 Contenido de agua de las neblinas | 9 |
| 2.1.7 Las nubes. Tipos y procesos de formación | 9 |
| 2.1.8 Procesos de formación de las nubes | 10 |
| 2.1.9 Clasificación de las nubes | 10 |
| 2.1.10 La llovizna | 11 |
| 2.2 Terminología relacionada con el proceso de intercepción | 12 |
| 2.2.1 Proceso de intercepción | 13 |
| 2.3 Aspectos cuantitativos | 15 |
| 2.4 Factores que afectan la intercepción | 17 |
| 2.5 Medición de la intercepción horizontal | 17 |
| 2.5.1 Medición del goteo del dosel | 18 |
| 2.5.2 Interceptores mecánicos | 18 |
| 2.6 Factores que afectan a la intercepción horizontal | 19 |
| 2.7 La escorrentía de los tallos | 21 |
| 2.7.1 Factores que afectan la escorrentía de los tallos | 22 |
| 2.8 La intercepción horizontal como factor ecológico | 23 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.8.1 | Identificación de las asociaciones | 23 |
| 2.8.2 | Efecto de la intercepción horizontal sobre la distribución de los bosques..... | 23 |
| 2.8.3 | Efecto de la neblina sobre las plantas | 25 |
| 2.8.4 | Efecto de la intercepción horizontal sobre el suelo | 27 |
| 2.9. | Experiencias anteriores en cuantificación de la inter- cepción horizontal | 28 |
| 2.10. | Importancia de la intercepción horizontal a nivel de cuencas | 30 |
| 3. | MATERIALES Y METODOS | 32 |
| 3.1. | Ubicación del área de estudio | 32 |
| 3.2. | Clima | 32 |
| 3.3. | Geología y suelos..... | 34 |
| 3.4. | Fisiografía | 34 |
| 3.5. | Historia y uso actual de la tierra | 34 |
| 3.6. | Parcelas experimentales | 34 |
| 3.6.1 | Dimensiones y características | 35 |
| 3.6.2 | Medición del agua del dosel | 35 |
| 3.6.3 | Medición de la escorrentía de los tallos | 36 |
| 3.6.4 | Instalación de las arpas | 36 |
| 3.6.5 | Estimación del índice relativo de eficiencia de captación de la vegetación y las arpas: "E"..... | 36 |
| 3.7. | Medición de las variables climáticas | 38 |
| 3.7.1 | Precipitación | 38 |
| 3.7.2 | Humedad relativa y temperatura | 38 |
| 3.7.3 | Vientos | 38 |
| 3.8. | Estudio de la cobertura vegetal | 38 |
| 3.8.1 | Inventario de especies forestales | 39 |
| 3.8.2 | Estructura | 39 |
| 3.9 | Análisis de los datos | 39 |
| 3.9.1 | Procesamiento de los datos | 39 |
| 3.9.2 | Pruebas estadísticas | 40 |
| 4. | RESULTADOS Y DISCUSION | 41 |
| 4.1. | Descripción general del bosque..... | 41 |
| 4.1.1 | Estructura del bosque | 42 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1.2 | Fisionomía..... | 42 |
| 4.1.3 | Composición florística..... | 45 |
| 4.2 | Clima..... | 49 |
| 4.2.1 | Precipitación..... | 49 |
| 4.2.2 | Temperatura..... | 51 |
| 4.2.3 | Humedad relativa..... | 54 |
| 4.2.4 | Vientos..... | 55 |
| 4.2.5 | Neblinas..... | 55 |
| 4.3 | Agua del dosel..... | 56 |
| 4.4 | Escorrentía de los tallos..... | 59 |
| 4.5 | Intercepción de la lluvia..... | 62 |
| 4.6 | Aporte de agua por intercepción horizontal..... | 63 |
| 4.7 | Intercepción normal vs intercepción horizontal..... | 65 |
| 4.8 | Estimación del índice de eficiencia relativa de captación de la vegetación y de las arpas..... | 66 |
| 5. | CONCLUSIONES..... | 69 |
| 6. | BIBLIOGRAFIA CITADA..... | 72 |
| | APENDICE A..... | 81 |
| | APENDICE B..... | 88 |
| | APENDICE C..... | 97 |

RESUMEN

Con el objeto de estimar el aporte neto de agua por intercepción horizontal en bosque y la eficiencia relativa de captación de agua por intercepción horizontal de la vegetación y de un interceptor mecánico artificial (arpa), se llevó a cabo un estudio en Balalaica, Turrialba, Costa Rica, en un bosque Muy Húmedo Premontano afectado por neblinas. Durante el período de estudio que abarcó desde el 19 de julio de 1980 hasta el 17 de enero de 1981, se midieron las siguientes variables: precipitación, agua del dosel, escorrentía de los tallos, agua interceptada por las arpas, vientos, temperatura y humedad relativa, y se estudió la cobertura vegetal.

El grado de asociación entre las variables se llevó a cabo mediante análisis de correlación y regresión, y para la comparación de las medias se usó el criterio de la prueba de t.

Se encontró que durante los meses menos lluviosos ocurrieron pérdidas por intercepción de la lluvia que en promedio representaron 9.88 por ciento en base semanal. La relación entre el agua interceptada y la cantidad de lluvia fué logarítmica:

$$y = 7,886 X^{0,43}$$

con un coeficiente de correlación de 0,6.

La relación entre el agua del dosel y la lluvia fue lineal de la forma

$$y = 1,045 X - 196,109$$

el coeficiente de correlación para esta expresión fué 0,96

Los análisis de correlación y regresión mostraron que la escorrentía de los tallos esta relacionada con la cantidad de lluvia mediante la función

$$y = 0,004 X + 0,018$$

y con el diámetro de los árboles según la expresión

$$y = 7,674 X - 28,987$$

Los coeficientes de correlación para estas ecuaciones fueron 0.90 y 0.92 respectivamente.

El aporte de agua por escorrentía de los tallos fue mayor durante períodos nublados acompañados de abundantes lluvias pero, en general, este aporte representó una fracción pequeña de la precipitación total del sitio (0,42 por ciento).

Durante los períodos afectados por abundantes neblinas, la interceptación horizontal aportó 15,31% del agua que llegó al suelo forestal. La heterogeneidad en cuanto a las especies que formaban la cobertura vegetal de las parcelas, no produjo diferencias significativas sobre el aporte neto de agua.

En las condiciones de este estudio, se encontró que la vegetación fue ligeramente más eficiente que las arpas para interceptar las neblinas, ya que el índice de eficiencia relativa de captación de agua por interceptación horizontal de las arpas y la vegetación (E), fué de 1.6.

SUMMARY

In order to estimate the net water input to a forest from horizontal interception and the relative efficiency of moisture capture by vegetation and by an artificial mechanical interceptor (wire harp), a study was carried out in a premontane rain forest influenced by clouds, situated in Balalaica, Turrialba, Costa Rica. During the study period which lasted from July 19, 1980 until January 17, 1981, the following variables were measured: precipitation, throughfall, stem flow, moisture intercepted by wire harps, winds, temperature, relative humidity and vegetation cover.

The degree of association between the variables was investigated by means of correlation and regression analyses. To compare means 't' tests were employed.

Water losses through interception varied from 6.22% to 13.34% of precipitation with a mean of 9.88% on a weekly basis during the least rainy months. The logarithmic relationship between the quantities of intercepted water and total rainfall was $y = 7.886 X^{0.43}$ with a correlation coefficient of 0.6.

The relationship between throughfall and rainfall was linear:
 $y = 1.045 X - 196.109$, with a correlation coefficient of 0.96

Correlation and regression analyses showed that stem flow can be related with total rainfall by the equation

$$y = 0.004 X + 0.018$$

and with tree diameter by the equation

$$y = 7.674 X - 28.987$$

The corresponding correlation coefficients were 0.90 and 0.92 respectively.

The contribution of water by stem flow was greater during cloudy periods at times of heavy rainfall but in general this source represented a small fraction of the total water input to the site (0.42%).

Horizontal interception supplied 15.31% of the water that reached the forest soil during the cloudiest periods. The heterogeneity of the plots, resulting from the different species which formed the vegetation cover, did not produce significant differences in the net supply of water.

The vegetation was slightly more efficient than the wire harps for cloud interception under the conditions of this study. The index of relative efficiency of water capture through horizontal interception by the wire harps and by the vegetation (E) was 1.6.

LISTA DE CUADROS

| Cuadro No. | | Página |
|------------|---|--------|
| 1 | Géneros y especies frecuentes en los estratos A, B y C del bosque | 44 |
| 2 | Distribución de las clases de hojas según Raunkiaer... | 45 |
| 3 | Inventario de especies forestales en Balalaica..... | 48 |
| 4 | Precipitación mensual en Balalaica para el período de estudio (19 de julio de 1980 al 17 de enero de 1981). | 50 |
| 5 | Promedios de temperaturas máximas y mínimas mensuales y media mensual en Balalaica | 51 |
| 6 | Promedios mensuales de humedad relativa máxima y mínima en Balalaica..... | 54 |
| 7 | Indices de eficiencia relativas de la vegetación y las arpas en Balalaica por estación y por eventos con condiciones de tiempo observadas directamente en el campo..... | 67 |

APENDICE A

| | | |
|------|---|----|
| 1.A. | Precipitación y agua del dosel en un bosque Muy Húmedo Premontano en Balalaica, por parcela, según resumen semanal: del 19 de julio de 1980 al 17 de enero 1981 | 82 |
| 2.A. | Precipitación y escorrentía de tallos en un bosque Muy Húmedo Premontano en Balalaica, por parcela, según resumen semanal: del 19 de julio de 1980 al 17 de enero de 1981 | 83 |
| 3.A. | Agua de la neblina captada por las arpas, en Balalaica, por estación, según resumen semanal: del 19 de julio de 1980 al 17 de enero de 1981. | 84 |
| 4.A. | Semanas durante las cuales se produjo pérdida por intercepción normal en las tres parcelas A, B y C. | 85 |
| 5.A. | Semanas durante las cuales se produjo aporte neto de agua por intercepción horizontal en las tres parcelas A, B y C. | 86 |
| 6.A. | Semanas durante las cuales los procesos de intercepción normal y horizontal variaron entre las parcelas. | 87 |

LISTA DE FIGURAS

| Figura No. | | Página |
|------------|---|--------|
| 1 | Relación entre el tamaño de los núcleos de condensación y la supersaturación | 6 |
| 2 | Crecimiento de las gotitas por condensación..... | 6 |
| 3 | Ubicación del área de estudio | 33 |
| 4 | Ubicación de las parcelas experimentales en el bosque de estudio | 37 |
| 5 | Diagrama del perfil de un bosque Muy Húmedo Pre-montano en Balalaica, Costa Rica | 43 |
| 6 | Límites de los tamaños de hojas según Raunkiaer.. | 46 |
| 7 | Comparación de la cantidad de lluvia mensual en Balalaica y en La Suiza para el período de estudio. | 52 |
| 8 | Distribución de las precipitaciones en Balalaica... | 53 |
| 9 | Agua del dosel en función de la precipitación | 58 |
| 10 | Escorrentía de los tallos en función de la precipitación | 60 |
| 11 | Escorrentía total de los tallos en función del diámetro de los árboles | 61 |
| 12 | Agua interceptada en función de la precipitación... | 64 |
| APENDICE C | | |
| Ic | Arpa de alambre para estudio de intercepción horizontal según diseño de Cáceres | 98 |

1. INTRODUCCION

Desde los tiempos bíblicos, mucho se ha especulado acerca de la posible relación entre el bosque y el clima. En particular se dice a menudo que la deforestación de grandes extensiones de bosques naturales, puede producir un cambio en el clima.

Aunque no parece probable que la vegetación pueda influenciar directamente en las lluvias de un sitio en un grado apreciable, es probable que la precipitación (en el sentido de agua que llega al suelo), pueda ser influenciada, principalmente en regiones afectadas por alta incidencia de neblinas, debido a sistemas orográficos y/o fuentes marinas de advección.

Bajo estas condiciones, cuando las nubes, neblinas y lloviznas son interceptadas por la vegetación, las diminutas gotas que las forman se depositan sobre la superficie de las plantas produciéndose acumulación de agua la cual finalmente puede llegar a suelo por goteo del dosel y escorrentía de tallo. Este aporte adicional de agua, representa ganancia neta para el ecosistema, aunque no se haya medido precipitación alguna en los terrenos limpios adyacentes.

Según Geiger (39), este fenómeno ha sido llamado "precipitación horizontal" por Suring, "precipitación oculta", por Descombes y "precipitación de la neblina" por Rubner. Kittredge (66), ha preferido llamarle "goteo de la neblina", Tosi (108), "lluvia del bosque" y Wiersum (126), "intercepción horizontal". El último término ha sido empleado en la preparación de este trabajo.

En los últimos 75 años se han llevado a cabo varias investigaciones que ponen de relieve la importancia hidrológica de la intercepción horizontal. Sin embargo, aunque las condiciones en donde capas de nubes y neblinas envuelven laderas de montañas ocurren casi universalmente, las asociaciones vegetativas superhúmedas - atmosféricas* resultantes de estas condiciones,

*Definición adoptada de Holdridge (53).

alcanzan su máxima extensión y complejidad en las zonas de vida húmedas a pluviales de las fajas altitudinales Montano Bajo y Montano, según la clasificación de zonas de vida propuesta por Holdridge (53).

Igualmente, es en los trópicos húmedos en donde cantidades máximas de agua en forma de nubes y neblina alcanza la superficie de las plantas y consecuentemente, es aquí en donde los aportes de agua por interceptación horizontal podrían llegar a expresar sus máximos valores.

Areas con las características señaladas, llamadas frecuentemente bosques nublados, abarcan en América Tropical entre 7 000 y 15 000 km². Son ecosistemas en gran peligro de desaparición debido a la presión de una población creciente y a la intensificación en la deforestación con respecto al uso de la tierra.

Si se puede demostrar que la vegetación sirve como un medio importante para la captación de agua en estas áreas, entonces existe una justificación para conservar y recuperar áreas que por sus características, pueden recibir este uso como alternativa de manejo.

Teniendo presente estas consideraciones se llevó a cabo un estudio sobre interceptación horizontal en un Bosque Muy Húmedo Premontano, bajo el supuesto de la siguiente hipótesis:

"En este bosque afectado por alta incidencia de neblinas y nubes, el aporte neto de agua por interceptación horizontal representa una fracción importante de la cantidad de agua total que llega al suelo forestal"

Los objetivos específicos de la investigación fueron:

1. Estimar el aporte neto de agua por interceptación horizontal
2. Determinar que proporción representa la interceptación horizontal, de la lluvia total del sitio.

3. Estimar el índice E^* de relación entre la eficiencia de captación de la vegetación y un dispositivo mecánico artificial (arpa).

*El índice de eficiencia relativa de captación de las arpas y la vegetación, es un número que sirve como base de comparación en cuanto a la eficiencia de captación de agua por intercepción horizontal, por la vegetación y las arpas.

2. REVISION DE LITERATURA

La intercepción de la lluvia así como la intercepción horizontal, han sido objeto de estudio en varias partes del mundo pero muy pocas veces en el trópico húmedo. La presente revisión de literatura presenta los resultados de los estudios más relevantes definiendo en primera instancia los conceptos fundamentales relacionados con tales procesos.

2.1. La Humedad Atmosférica

Según Foster (37), el agua de la atmósfera puede clasificarse en dos clases con base en la visibilidad. Esta puede estar presente como gas o vapor verdadero, en cuyo caso es invisible y se le llama humedad. En la segunda clase se incluyen gotas de agua pequeñas formadas por condensación, las cuales pueden constituir neblinas, nubes y lluvias.

2.1.1. Condensación

El proceso de conversión del estado de vapor invisible al estado de agua líquida se llama condensación. Cuando por un proceso de enfriamiento a temperatura positiva una masa de aire húmedo disminuye su capacidad de absorción de vapor de agua, el exceso de vapor se condensa bajo la forma de gotitas de agua y hay una liberación de alrededor de 600 calorías por gramo de agua condensada (95).

Según Barry y Chorley (3), la condensación se produce con mucha dificultad en el aire limpio; por regla general, debe encontrar una superficie adecuada sobre la cual puede condensarse. Esta superficie la proveen núcleos de condensación o núcleos higroscópicos.

2.1.2. Núcleos de Condensación

La necesidad de la existencia de los núcleos de condensación durante la formación de neblinas y nubes fue demostrado por Wilson en su "cámara de nubes". Wilson además pudo probar que en ausencia de núcleos

de condensación se necesitaba una sobresaturación de 400% para que se produjera condensación (95).

Los núcleos de condensación pueden ser polvo, humo, anhídrido sulfuroso (SO_2), óxido nítrico (NO), sales (NaCl y MgCl_2), cuyas superficies tienen propiedades higroscópicas (3, 8). Según Byers (12), la teoría y la experiencia han demostrado que para una determinada clase de partículas que sirven como núcleos, la condensación ocurrirá primero en aquellas que son más grandes. En los núcleos más pequeños se requieren sobresaturaciones muy altas para que ocurra condensación. De acuerdo con Barry y Chorley (3), el diámetro de los núcleos de condensación puede variar entre 0,001 y 10 micras. La figura 1 muestra la relación entre el tamaño de los núcleos y la supersaturación.

Blair (8), ha considerado como principales fuentes de núcleos de condensación las partículas originadas por las actividades de los fuegos, los volcanes activos, los meteoros encendidos, las espumas y salpicaduras de mar. Perrin (90), además, incluye a las partículas provenientes de ciudades industriales (por ejemplo humo).

2.1.3. Formación de las gotitas de agua

La condensación empieza sobre las partículas higroscópicas o núcleos de condensación antes de que el aire este saturado (78% de humedad relativa). En las primeras fases, las gotas pequeñas crecen mucho más rápidamente que las mayores, pero a medida que aumenta el tamaño de la gota, disminuye su velocidad de crecimiento ya que, a cada incremento del radio la superficie es cada vez mayor. Según Perrin (90), en las nubes las gotitas pueden llegar a alcanzar hasta 200 micras de diámetro.

La figura 2 no solamente muestra el lento crecimiento de las gotitas, sino también la inmensa diferencia de tamaño entre ellas en la neblina o nube.

2.1.4. La Neblina

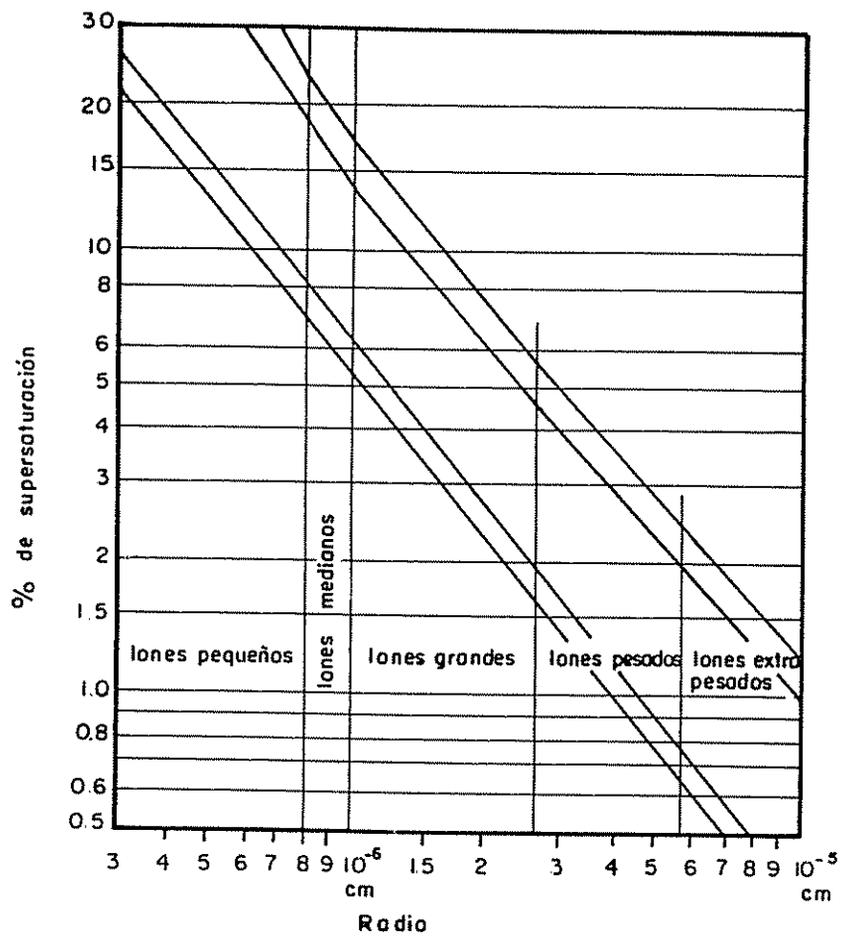


FIGURA 1: Relación entre el tamaño de los núcleos de condensación v la supersaturación. Tomado de Byers (12).

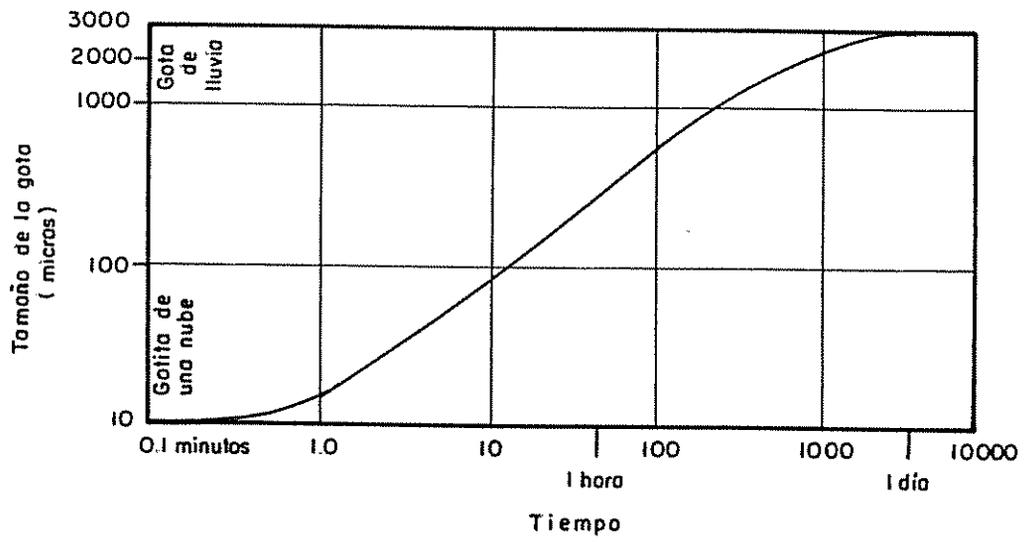


FIGURA 2: Crecimiento de las gotitas por condensación (nótese la escala logarítmica). Tomado de Barry y Chorley (3).

Varios autores (8, 37, 75, 81) han definido la neblina como la condensación de la humedad contenida en el aire cercano a la superficie terrestre y Byers (12), la ha definido como una nube tipo stratus que se forma sobre el suelo o muy cerca de él y que afecta seriamente la visibilidad; sin embargo, considera que en las cumbres de las montañas cualquier clase de nube puede existir sobre la superficie del suelo y por lo tanto se le llama también neblina.

Para efecto de uniformidad en los sistemas de información, la neblina es definida como una nube que cubre al observador y reduce su visibilidad horizontal a un kilómetro. Si en condiciones similares la visibilidad excede de un kilómetro, entonces se le llama llovizna (92).

Según Blair (8), una neblina dada tiene gotas de diferentes tamaños; sin embargo, un tamaño usualmente prevalece y este tamaño, a su vez, varía de una neblina a otra.

El Weather Bureau, citado según Blair (8), clasifica las neblinas en cuatro densidades, en función de su efecto sobre la visibilidad de la siguiente manera:

Neblina leve: visibilidad a un kilómetro o más
 Neblina moderada: visibilidad entre 500 m y un kilómetro
 Neblina espesa: visibilidad entre 320 y 500 metros
 Neblina densa: visibilidad a menos de 320 metros

2.1.5. Formación y tipos de neblinas

Según O'Connor (88), los procesos físicos principales que provocan la saturación necesaria para la formación de las neblinas son la evaporación y el descenso de la temperatura y los tipos de neblina más comunes que resultan de tales procesos son:

Neblinas de evaporación

- neblinas frontales
- neblinas de saturación o evaporación (steam fogs)

Neblinas de enfriamiento

- neblinas de advección
- neblinas de radiación
- neblinas de inversión (stratus)
- neblinas ascendentes

2.1.5.1 Neblinas debidas a evaporación

2.1.5.1.1 Neblinas frontales y stratus. Ocurren cuando una lluvia tibia cae a través de una masa de aire frío. Se produce sobresaturación en la superficie frontal debido a la evaporación de la lluvia caliente en el aire frío.

2.1.5.1.2 Neblinas de saturación o de evaporación (steam fogs). Se producen debido a una evaporación intensa a partir de una superficie de agua en aire relativamente frío.

2.1.5.2 Neblinas debidas al enfriamiento

2.1.5.2.1 Neblinas de advección: se forman cuando el aire húmedo se desplaza por encima de una superficie más fría que él. El enfriamiento del aire baja del punto de condensación; esta condensación se produce en forma de neblina. El enfriamiento depende del gradiente de temperatura entre el aire en movimiento y la superficie subyacente y puede llegar a ser hasta de 1°C por hora aunque generalmente es de 0,5°C por hora.

Según Petterssen (92) las neblinas de advección son particularmente frecuentes en los océanos y el mismo autor (91), considera que las condiciones más favorables para la formación de este tipo de neblina son:

- una gran diferencia de temperatura entre el aire en movimiento y la superficie subyacente.
- baja velocidad del viento
- alta humedad relativa inicial del aire
- estratificación estable inicial

- 2.1.5.2.2 Neblinas de radiación: se les llama también neblinas de tierra y se forman cuando el aire húmedo está en contacto con la tierra, progresivamente más fría durante la noche. Ocurre inversión de temperaturas cerca del suelo, saturación del aire húmedo y formación de neblina. Miller (81), describe la formación de este tipo de neblina como enfriamiento in situ del aire húmedo bien sea por pérdida de calor por radiación, o porque desciende el aire frío en el fondo de los valles, enfriando el aire húmedo que se encuentra especialmente cerca de los ríos.
- 2.1.5.2.3 Neblinas de inversión: son neblinas que se desarrollan inicialmente en la cima de una capa húmeda debajo de una inversión de subsidencia. El enfriamiento, la turbulencia y la radiación en la parte superior de la capa húmeda, y la subsidencia encima de la inversión producen stratus que pueden alcanzar el suelo.
- 2.1.5.2.4 Neblinas ascendentes: las neblinas ascendentes resultan de un ascenso orográfico gradual. El aire se enfría adiabáticamente y la neblina se empieza a formar cuando se alcanza una elevación donde el aire se ha enfriado hasta alcanzar el punto de saturación.

2.1.6 Contenido de agua de las neblinas

La cantidad de agua líquida en la neblina puede variar dentro de un rango muy amplio. Una neblina muy densa, con una visibilidad horizontal de menos de 30 m puede contener hasta 3,0 gramos de agua por metro cúbico de aire; sin embargo, una neblina tenue, con visibilidad de 900 m puede tener un contenido de agua de 0,02 gramos por metro cúbico de aire (92).

2.1.7 Las Nubes. Tipos y procesos de formación

Schmauss citado por O'Connors (88), define las nubes como sistemas

coloidales o más particularmente aerosoles, debido a que están compuestas por un gran número de partículas líquidas y sólidas finamente divididas, suspendidas en el aire. Según Perrin (90), como todo sol coloidal, tienen tendencia a la autodestrucción porque las fuerzas que actúan tienen tendencia a provocar coalescencia de las gotas (inestabilidad coloidal), para formar gotas más grandes que no resisten la fuerza de gravedad. El mismo autor ha estimado el contenido de agua de las nubes en 2 ó 3 gramos de agua sólida ó líquida por metro cúbico.

2.1.8. Procesos de formación de las nubes

En contraste con las neblinas que resultan del enfriamiento por conducción o radiación, las nubes son principalmente el resultado del enfriamiento dinámico resultante del movimiento ascendente del aire. Según Blair (8), la naturaleza provee las condiciones necesarias para el movimiento ascendente del aire en alguna de las siguientes formas:

- Penetración conveccional: las masas de aire en contacto con la superficie terrestre se calientan de modo que son capaces de ascender penetrando las capas de aire superiores más frías.
- Ascenso orográfico: el aire es forzado a ascender empujado por más aire desde atrás, por las laderas de las montañas.
- Convergencia y remolinos: vientos fuertes provenientes de diferentes direcciones convergen hacia un centro (anticiclón); parte del aire es forzado a subir, resultando con frecuencia en formación de nubes.

2.1.9. Clasificación de las nubes

Aunque el número de formas que las nubes pueden tomar es casi ilimitado, también es cierto que el número de tipos de nubes es limitado (91).

Las neblinas y nubes, como formas visibles de la humedad atmos-

férica, se clasifican en forma diferente. Así, las neblinas se clasifican por su origen, mientras que las nubes se clasifican con base en su forma, estructura y extensión vertical y con base en su altura (3).

La clasificación internacional de las nubes, según Garbel (38), consiste de diez tipos que, por conveniencia han sido arreglados de acuerdo con su altura sobre la tierra en la siguiente manera:

| NOMBRE | ABREVIACION | ALTURA |
|----------------|-------------|--------|
| Cirros | Ci | nubes |
| Cirro-stratus | Cs | altas |
| Cirro-Cumulus | Cc | |
| Alto-stratus | As | nubes |
| Alto-culumus | Ac | medias |
| Strato-cumulus | Sc | nubes |
| Nimbo-stratus | Ns | bajas |
| Cumulus | Cu | |
| Cumulu-nimbos | Cb | |
| Stratus | St | |

2.1.10. La llovizna

Es frecuente encontrar en la literatura relacionada con intercepción horizontal el término llovizna (mist), además de los usuales, neblinas y nubes.

Según Petterssen (92), cuando la humedad relativa alcanza un 70%, la condensación se inicia sobre los núcleos de condensación más grandes y activos formándose una bruma tenue; si el aire se enfría aún más, de modo que la humedad relativa aumenta, la bruma se transforma en llovizna. Cuando el aire se enfría aún más alcanzando 90% de humedad relativa, la llovizna se transforma en neblina.

La llovizna puede estar formada por gotas de agua microscópicas o de partículas altamente higroscópicas suspendidas en el aire. Estas gotas son más pequeñas y están más esparcidas que las que forman las neblinas y por lo tanto, la visibilidad horizontal puede ser superior a un kilómetro (91).

2.2. Terminología relacionada con el proceso de intercepción

Según Penman (89), aunque la principal acción de la vegetación es proveer una barrera o un canal para la transferencia vertical de energía y agua, también tiene un efecto en el movimiento horizontal, que puede ser de importancia local. En el primer caso, de gran interés hidrológico es la intercepción de la lluvia por la cubierta boscosa y en el segundo caso, la intercepción horizontal.

La intercepción ha sido definida por Horton, citado por Zinke (130), como la capacidad de almacenaje de las hojas más la pérdida por evaporación durante la lluvia. Dabral y Subba (23), han definido la intercepción como el proceso mediante el cual la lluvia es retenida por la cubierta vegetal y redistribuida como agua que atraviesa el follaje y alcanza el suelo, agua que escurre por los tallos, agua absorbida y agua evaporada por la vegetación.

La intercepción horizontal por su parte, ha sido definida por Kittredge (66), como el proceso por el cual las pequeñas gotas de humedad atmosférica en movimiento horizontal, entran en contacto con la superficie del follaje de las plantas donde con el tiempo se combinan para formar gotas más grandes que pueden escurrir y caer al suelo.

En relación con el proceso de intercepción, Hamilton, citado por Zinke (130), ha definido otros términos relacionados con este proceso de la siguiente manera:

- Agua del dosel. Es la porción de lluvia que alcanza el suelo directamente a través de la cubierta vegetal y en lugares claros

- dentro del bosque, más la que gotea de las hojas, tallos y ramas.
- Escorrentía de tallos. Es la porción de la lluvia que ha sido interceptada por el dosel y que alcanza el suelo escurriendo por los troncos o tallos.
 - Lluvia total. Es la lluvia medida en un lugar abierto o sobre la cubierta vegetal.
 - Lluvia neta. Es la cantidad de agua que alcanza el suelo y equivale a la suma del agua del dosel más la escorrentía de los tallos.
 - Área de almacenaje. El área superficial de las hojas, ramas y tallos que pueden retener agua contra la gravedad. En este grupo debe incluirse las áreas de las plantas epífitas y parásitas que se ubican en las ramas y tallos de los árboles en algunas formaciones vegetales.
 - Pérdida por intercepción. Porción de agua retenida por las partes aéreas de las plantas y que puede ser absorbida o retornar a la atmósfera por evaporación.

Grah y Wilson (41), como resultados de sus estudios de intercepción en plantas aisladas definieron los siguientes términos:

- Superficie de detención: agua retenida sobre la superficie de hojas y tallos.
- Máxima superficie de detención: ocurre cuando durante la lluvia, la superficie de las plantas no es capaz de retener agua.
- Superficie de detención después del goteo: es el agua que permanece sobre la vegetación cuando la lluvia ha cesado y el exceso de agua ha sido drenado de la planta.

El término "goteo" usado frecuentemente en investigaciones sobre intercepción horizontal, está relacionado con el goteo que Grah y Wilson (41), usaron para definir el "almacenamiento transitorio" o sea, el agua que puede ser drenada de la planta bajo condiciones de aire tranquilo.

2.2.1. Proceso de la Intercepción

Rutter (98), al referirse al agua que cae sobre un bosque, divide ésta en dos partes: una de ellas es la que pasa sin tocar el follaje y alcanza el piso del bosque; la otra porción es interceptada al chocar las gotas de lluvia con la vegetación. Harper (48), se refiere a esta última como la primera influencia del bosque sobre la lluvia y sobre el ciclo hidrológico.

Según Leonard (72) y Rutter *et al.* (99) el follaje tiene una capacidad de almacenamiento en su superficie, la cual es llenada por la lluvia y vaciada por evaporación y drenaje. Por tanto, hay una mínima cantidad de agua requerida para humedecer toda la superficie del follaje, la cual corresponde a la capacidad de almacenaje descrita por Zinke (130), o valor de saturación de Leyton *et al.* (73), que es comparable con la capacidad de campo del suelo.

Leonard (72), al referirse al proceso de intercepción en un evento particular, considera que hay un período inicial durante el cual la vegetación es humedecida hasta llenar su capacidad de almacenamiento, posteriormente, el exceso de agua gotea del follaje o escurre por los tallos; en este instante, la lluvia que se registra en el interior del bosque tiende a presentar valores similares a los medidos en el exterior.

Sin embargo, en aquellas áreas del mundo, donde lloviznas, neblinas y nubes están en contacto frecuente con la vegetación, la intercepción horizontal satisface la capacidad de almacenamiento de la vegetación, produciéndose como consecuencia goteo del dosel y escorrentía de tallos, aunque no se haya producido lluvia alguna; tal es el caso de los estudios Ekern (32), en Hawaii, Oberlander (87), en la Península de San Francisco, Ceballos y Ortuño (18), en las Islas Canarias, Kummerow (69), en Chile, Santos y Abrantes (100), en Portugal y Grunow (44) en Alemania y Walter, citado por Tricart (109), entre otros.

La intercepción de la lluvia por la vegetación, ha estado en estudio por casi un siglo (72). En 1944, Grah y Wilson (41), demostraron que el almacenaje de agua en las hojas de las plantas podía describirse por una relación exponencial inversa. Kaygier, citado por Merriam (80), en 1971, demostró mediante análisis no lineal de mínimos cuadrados, una

relación que se ajusta a las mediciones de campo de la intercepción de la lluvia. La forma básica de la ecuación es:

$$S = S_e \left[1 - e^{-(P/S_e)} \right]$$

En la cual:

S = almacenamiento para una precipitación dada P.

S_e = máxima capacidad de almacenaje

e = base de los logaritmos naturales

El desarrollo de una expresión igual, aplicable a la intercepción horizontal, requiere la evaluación de un factor comparable a la precipitación en la ecuación.

Según Merriam (80), la cantidad de neblina F que puede incidir sobre la vegetación por unidad de área se puede determinar a partir de la expresión:

$$F = WtE$$

En la cual:

W = contenido de agua de la neblina, por unidad de volumen

V = velocidad de la neblina

t = tiempo de interacción

E = factor complejo de eficiencia de captación de la superficie captadora

$$E = E(f) \times E(s)$$

DONDE: E(f) = función del tamaño y distribución y velocidad de las gotitas de agua de la neblina

E(s) = función del área, tamaño y distribución espacial de la superficie captadora.

2.3. Aspectos cuantitativos

La medición del agua interceptada por la cobertura vegetal se realiza de una manera indirecta. Los valores se obtienen de la diferencia

entre la lluvia medida sobre el bosque o junto a él (en un área sin bosque), y el agua que escurre por los tallos más la que atraviesa el dosel (49); su expresión es:

$$I = P - P_t - P_s - E$$

donde:

I = intercepción

P = precipitación total

P_t = agua del dosel

P_s = escorrentía de los tallos

E = evaporación del agua interceptada

Debido a que la pérdida por evaporación (durante el aguacero) es poca, el término E frecuentemente se omite en esta relación.

Rutter (98), asumiendo que toda el agua interceptada se evapora, da la siguiente expresión:

$$I = E = (I - P) R - T$$

donde:

I = intercepción

E = evaporación

P = probabilidad de que el agua caiga directamente al suelo

R = precipitación

T = agua que toca el follaje y alcanza el piso del bosque

La cantidad de agua interceptada se puede expresar como una lámina en milímetros; sin embargo Horton y Kittredge, citados por Zinke (130), opinan que para propósitos prácticos, la intercepción se puede expresar como una fracción de la precipitación para cada evento, pero usualmente se expresa como un porcentaje de la lluvia fuera del bosque.

Helvey y Patric (49), han presentado curvas de regresión lineal del agua que atraviesa el dosel en función de la precipitación en cada evento; todas estas ecuaciones son de la forma:

$$T = b X P - a$$

donde:

T = agua que atraviesa el dosel

P = precipitación total

b = coeficiente de regresión

a = constante

2.4. Factores que afectan la Intercepción

Clegg (20), hizo análisis de regresión en bosques de segundo crecimiento y encontró que la intercepción varió directamente con la cantidad de lluvia; además encontró que el porcentaje de intercepción varió curvilíneal e inversamente con la lluvia.

Hopkins (54), midió la intercepción durante siete semanas en un bosque de Pseudospondias microcarpa y Erythrina excelsa en Uganda, Africa y encontró valores de 35% entre el nivel del suelo y el último estrato. Manokaran (74), en un bosque húmedo tropical y Dabral y Subba (23), encontraron una relación negativa entre la intensidad de la lluvia y la intercepción. El primero reportó resultados mensuales que varían entre 5,04 y 34,31% de intercepción mientras que Dabral y Subba reportaron 24,3% de agua interceptada en una plantación de pino y 20,8% para Tectona grandis.

Manokaran (74), además pudo notar que los valores de la intercepción de la lluvia dependen del agua del dosel, la cual según Odum et. al. citado por el mismo autor, depende de la densidad del dosel. Clegg (20), también encontró que el porcentaje de intercepción varía directamente con la densidad de la copa y Delfs (26), reportó valores de intercepción que varían desde 42% para árboles de 80 años de edad, hasta nada en los árboles más jóvenes.

2.5. Medición de la intercepción horizontal

Según Juvik y Ekern (59), existen dos procedimientos básicos para medir la intercepción horizontal: colectando el goteo que se produce

bajo el dosel del bosque o utilizando dispositivos mecánicos artificiales para interceptar la neblina directamente.

2.5.1. Medición del goteo del dosel

Wicht (125), considera que aún no se ha desarrollado una técnica satisfactoria para medir el goteo que se produce debido a la condensación de las neblinas y lloviznas sobre la vegetación; sin embargo, varios autores han medido este goteo colocando pluviómetros bajo la copa de los árboles. Tales son los trabajos de Kummerow en Chile (69), Rossl citado por Hóldridge en Perú (53), Ekern en Hawaii (32), Oberlander en la península de San Francisco (87), Santos y Abrantes en Portugal (100), Grunow en Alemania (44) y Klinev en Rusia (67). En estos casos se obtuvo el aporte de agua por intercepción horizontal, como la diferencia entre el volumen captado por los pluviómetros dentro y fuera del bosque. Ekern (32), también en Hawaii, utilizó una plataforma de material galvanizado para recoger todo el goteo bajo la copa de un árbol de Araucaria excelsa; sin embargo, en este caso, el gran volumen de agua colectada fue un obstáculo para mediciones precisas.

2.5.2. Interceptores mecánicos

Marloth citado por Geiger (39), en 1906 publicó una experiencia llevada a cabo en Table Mountain, Ciudad del Cabo, Africa del Sur. En esta montaña afectada por neblinas o sotavento, Marloth colocó dos pluviómetros: uno en posición normal, y otro cubierto con un manojo de ramas; después de dos meses, el segundo pluviómetro había colectado 16 veces más agua que el primero. Desde entonces se han ensayado varios tipos de interceptores como mallas de alambre arregladas en forma de cilindro (4, 33, 44, 113), mallas de alambre planas (32, 69, 111), arpas de alambre (32), celosías (59). Estos interceptores, frecuentemente van colocados sobre un pluviómetro convencional para cuantificar el goteo de la neblina.

En cuanto a la cuantificación de la intercepción horizontal, Lamb (70), considera que el enfoque más realista consiste en diseñar instrumentos de captación eficientes y colocar cierto número de ellos dentro y a sotavento del bosque. Sin embargo, aunque los resultados obtenidos así no

pueden extrapolarse a las superficies naturales, son un medio útil para comparar la probable importancia de la intercepción horizontal en diferentes localidades (33). Según Juvik y Ekern (59), la medición del goteo del dosel puede proveer datos precisos del aporte de agua por intercepción horizontal en un lugar específico; no obstante, debido a la heterogeneidad normal de los bosques, se necesita un número excesivamente grande de colectores del goteo para obtener resultados de precisión razonable; este problema es particularmente molesto en estudios comparativos (64).

2.6. Factores que afectan la intercepción horizontal

De acuerdo con Azevedo y Morgan (2), la intercepción horizontal es función de las regiones geográficas, de la distribución espacial y temporal de la neblina dentro del bosque y de la eficiencia de los diferentes tipos de plantas para interceptarla; por otra parte Merriam (80), considera que la altura y el arreglo de la copa de los árboles, la velocidad del viento y su turbulencia, el contenido de agua de las neblinas determina la cantidad de agua que entra y pasa a través del dosel; la superficie total de hojas, su forma, arreglo y distribución espacial así como las características de sus superficies, afecta la cantidad de agua que es interceptada por el follaje y últimamente gotea hacia el suelo.

Ekern (32), considera que la forma de los árboles es de primera importancia durante la intercepción horizontal en tanto que Kammer (60), considera que lo más importante para la intercepción horizontal es la exposición de las plantas al viento y las neblinas, y que su estructura desempeña una función insignificante.

Oura citado por Penman (89), estudiando la intercepción de neblinas que inciden en forma horizontal y vertical sobre la vegetación, pudo notar que la superficie frontal de los árboles era tres veces más eficiente para interceptar la neblina que igual área de la parte superior de la copa de los árboles.

Phillips citado por Kerfoot (62), observó que la vegetación más alta

podía interceptar grandes cantidades de la humedad de las neblinas; observaciones similares han sido hechas por Means (78), White citado por McIntosh (77) y Oberlander (87).

Según Merriam (80), poco se sabe sobre el efecto de la forma y tamaño de las hojas sobre eficiencia en interceptación horizontal. Went (124), Ellis (33), Vogelmann (114) y Vogelmann et al. (115), consideran que las coníferas son más eficientes que las latifoliadas durante la interceptación horizontal; estas consideraciones están de acuerdo con los estudios realizados por Oura citado según Penman (89).

Kerfoot y McCulloch (63), consideran que el dosel del bosque puede interceptar más humedad atmosférica que la cobertura herbácea, ya que la cobertura forestal produce un aumento en la turbulencia. Esta afirmación está de acuerdo con las investigaciones de Zyungo, Yosida, Daisirke y Kuroiwa en Japón, citados por Miller (82).

Estos investigadores midieron la resistencia que oponen el bosque y el pasto, al paso de viento, encontrando que es tres veces mayor en el bosque; concluyeron que como la resistencia al paso del viento aumenta la turbulencia, el depósito de neblina sobre la vegetación es mayor en el bosque. También en Japón, Hori (55), encontró que el bosque extrae 0,5 litros de agua por hora/m² de área de bosque cuando neblinas con contenido de agua de 800 mg/m³ son movidas a una velocidad de 4 m/seg. mientras que el pasto extrae, entre 1/16 y 1/10 de esta cantidad.

Costin y Wimbush (22), midieron la interceptación horizontal bajo rodales de Eucalyptus sp. en Koscinsko, Alpes Australianos y pudieron concluir que durante períodos sin vientos la precipitación fue igual bajo el bosque y en los claros adyacentes; sin embargo durante períodos con vientos, la cantidad de agua colectada bajo la copa de los árboles excedió en un 30% a la precipitación, especialmente a mayores elevaciones. Resultados similares en cuanto al efecto de la altura y el viento sobre la tasa de interceptación horizontal han sido reportados por Vogelmann (114), Vogelmann et al. (115), Ekern (32), Carlson (16) y Kammer (60).

El efecto de la turbulencia del viento sobre la intercepción horizontal, ha dado resultados conflictivos; según Weaver (121), esto se debe probablemente a los tipos de vegetación y lo que la rodea. El mismo autor citado a Nagel quien encontró que la turbulencia afecta adversamente la captación de la humedad atmosférica por la vegetación. Sin embargo de acuerdo con los estudios de Katsumi, citado por Miller (82), la turbulencia del viento es responsable de que la neblina se deposite sobre el suelo y la vegetación; este resultado concuerda con los estudios de Zyungo et al. citados por el mismo autor, con los estudios de Kashiyama, Takawashi y Kitamura (61), y con las consideraciones de Corby (21) y Merriam (80).

Según Geiger (39) y Wiersum (126), la intercepción horizontal es un efecto de borde y un verdadero fenómeno de transición y por lo tanto decrece considerablemente cuando nos movemos hacia adentro del bosque. Grunow (45), de sus estudios en Alemania ha concluido que por lo menos en lugar de su investigación, la intercepción de la neblina es más efectiva en el margen de los rodales que bajo la copa de los árboles. En Hohensphssenberg, Bavaria, la intercepción horizontal aportó un 20% de la precipitación bajo la copa de los árboles mientras que en el margen del bosque esta cantidad aumentó a un 57%.

No obstante Lamb (70), considera que si es cierto que el bosque aumenta la turbulencia y por lo tanto la intercepción horizontal (63), entonces es de esperar que exista solamente una disminución muy gradual del goteo a medida que el observador se mueve hacia adentro del bosque.

Zotov citado por Kerfoot (62), sostiene que neblinas formadas por gotas más grandes resultan en rápida deposición del agua sobre la vegetación y Grunow citado por Vogelmann (114) ha encontrado que neblinas compuestas por gotas entre 8 - 14 micras son de tamaño ideal para la intercepción horizontal.

2.7. La escorrentía de los tallos

La escorrentía de tallo ha sido definida por Manokaran (74), como la parte de la precipitación que es interceptada por la copa de los árboles, concentrada por el follaje y las ramas, y encausada por el tallo de

los árboles hacia el suelo forestal. Varios investigadores han demostrado que la escorrentía de tallo es solamente una pequeña proporción de la precipitación (23, 74, 129).

Heth y Karschon (50), encontraron valores de 3,3 por ciento de la precipitación para la escorrentía de los tallos en rodales de Eucalyptus camaldulensis, en tanto que Dabral y Subba (23), obtuvieron valores de 3,6 por ciento para una plantación de Tectona grandis y Manokaran (74), en un bosque húmedo tropical en Malasia obtuvo 0,64 por ciento.

2.7.1. Factores que afectan la escorrentía de los tallos

Según Dabral y Subba (23), la escorrentía de tallo está relacionada con:

- el estado de humedad del área de almacenaje
- el tiempo que transcurre entre dos aguaceros sucesivos
- las condiciones de temperatura y humedad prevalecientes durante el período de observación.

Además, Manokaran (74), considera que la escorrentía de los tallos es afectada por la posición sociológica de los árboles dentro del bosque y por la estructura de la copa. Voth (117), como resultado de sus estudios sobre éste fenómeno en un bosque húmedo en Panamá concluyó que la presencia de formas de vida asociadas como epífitas y parásitos influyen determinante-mente en la cantidad de agua que alcanza el suelo a través de los troncos.

Dabral y Subba (23), demostraron que la escorrentía de tallo amenta al aumentar el diámetro de los árboles en tanto que Pressland (93), encontró una relación positiva entre la escorrentía de tallo y el área basal.

Según Willis, Bourdo y Crowther (127), la escorrentía de tallo es insignificante al comienzo pero, aumenta geométricamente durante la lluvia, en tanto que Manokaran (74), ha encontrado una alta correlación entre la escorrentía de tallo, la cantidad y la intensidad de la lluvia.

2.8. La intercepción horizontal como factor ecológico

2.8.1. Identificación de las asociaciones

Todas las áreas afectadas por un exceso de nubes, neblinas y rocío se pueden reconocer por la presencia de plantas epífitas sobre la vegetación y principalmente sobre los árboles más grandes y más viejos (17, 52, 101, 120); la existencia de estas plantas sobre árboles de gran altura se debe a que las formas de humedad señaladas proveen agua directamente a la vegetación del bosque, de modo que las epífitas pueden absorberla directamente de la atmósfera (25, 103).

Así mismo, la diferencia cuantitativa entre los diferentes tipos de epífitas (musgos, líquenes, cactus, bromeliáceas, orquidiáceas, helechos), está correlacionada con la biotemperatura y con la intensidad y duración de la humedad acumulada por la neblina durante todo el año (106, 108).

Según Carr (17), en estas asociaciones la dominancia de las epífitas es particularmente obvia y estimó para la Montaña Llorona en Honduras, que tres toneladas de hojas soportan cinco toneladas de epífitas de modo que, bajo estas condiciones, los árboles hacen un esfuerzo insuperable para sobrevivir.

2.8.2. Efecto de la intercepción horizontal sobre la distribución de los bosques

La interrelación entre la humedad atmosférica y la vegetación ha sido objeto de mucha especulación. La neblina puede ser de gran importancia para el crecimiento de las plantas y la distribución de los bosques pero, la importancia de este mecanismo es difícil de demostrar mediante la experimentación y por lo tanto no se ha podido dar una explicación a esta correlación (24, 43).

Según Richards (96), la intercepción horizontal debido a las lloviznas y vientos húmedos es de importancia local en la modificación de los efectos de la lluvia y la temperatura, y por lo tanto en la deter-

minación de los límites biológicos. Grubb (43), ha encontrado que los límites altitudinales de los tipos de bosques varían con la altitud dependiendo del tipo de montaña (efecto massenerhebung), así como también están relacionados con la cantidad y cobertura de neblinas.(68).

En muchas partes del mundo existe una buena correlación entre la distribución de ciertas especies de árboles y las fajas de neblinas. Según Spurr (104), quizás el ejemplo más espectacular ocurre a lo largo de la Costa del Pacífico de los Estados Unidos en donde densas neblinas de verano coinciden con el crecimiento de rodales del pino gigantesco de California (Costa de California) y de abetos (Costa de Oregón). Sin embargo, esto puede deberse a un efecto indirecto de la neblina al reducir las horas de sol y la temperatura durante el verano (12).

Investigaciones llevadas a cabo han demostrado que en varias partes del mundo afectadas por neblinas frecuentes, la vegetación difiere notablemente de aquella que es de esperar en función del régimen de lluvias.

Al referirse a estas áreas afectadas por neblinas Lauer (71), considera que: "la alta capacidad de compensación de las precipitaciones en forma de neblinas, actúa en los bosques de las laderas prolongando el período húmedo con desviaciones negativas del monto de precipitaciones con respecto al número de meses húmedos. Este fenómeno es corroborado por las formas ecológicas adaptadas a los bosques de niebla.

En el Parque Nacional de Fray San Jorge, en Chile, la cantidad extra de agua aportada por la interceptación horizontal ha permitido el mantenimiento del bosque relicto, cuya composición florística tiene su representación típica en la pluviselva costera de Valdivia (36).

Wiersum (126), encontró que en las colinas de Slumba, en la faja costera nubosa de Kenya, donde la precipitación anual es de aproximadamente 1000 mm, la vegetación tiene características ecológicas de área con precipitaciones entre 2000 y 3000 mm. Observaciones similares han sido hechas por Ceballos y Ortuño (18), y Kammer (60), en Tenerife y Went (124) en San Diego, Estados Unidos.

Baumgartner (5), de sus estudios en Bavaria ha concluido que, aunque el aporte de agua por intercepción horizontal es pequeño al considerar el régimen hidrológico de las montañas como un todo, es un importante factor de sitio. Por su parte, Moral y Muller (85), al encontrar que por intercepción horizontal se pudieron lavar las fitotoxinas p-coumarilquímico y ácido gentísico de las hojas de rodales de Eucalyptus globulus, fitotoxinas que inhiben el desarrollo de algunas especies herbáceas. Concluyeron que la intercepción horizontal es de gran importancia para la estructura y diversidad de las comunidades vegetales.

2.8.3. Efecto de la neblina sobre las plantas

Según Grubb y Whitmore (42), todo el ambiente aéreo es alterado por la presencia de la neblina y por lo tanto los procesos básicos de las plantas estan sujetos a ser afectados.

Según Hursh y Pereira (56), durante las horas de intercepción horizontal intensa, la transpiración es reducida a un mínimo; este mismo resultado ha sido reportado por Weaver (123), quien en bosques nublados en Puerto Rico encontró tasas de transpiración de $11,4 \times 10^{-4}$ gm de agua/cm²/hr, así como también una reducción de la radiación solar en un 60% debido a la nubosidad.

Weaver, Byer y Bruck (122), consideran que las causas de las bajas tasas de transpiración en estos ecosistemas son:

- la baja proporción de energía radiante del sol que llega a la vegetación debido a la nubosidad, la carga de epífitas y a la naturaleza del dosel.
- bajo déficit de saturación por lo que la transpiración sólo ocurre cuando la humedad baja de 100%.
- la resistencia a la difusión del vapor de agua del mesófilo debido al agua que se acumula sobre las hojas.

Zotov citado por Kerfoot (62), ha estimado que la reducción en la radiación que alcanza la superficie vegetativa de las plantas en ambientes nublados puede reducir los procesos asimilativos de los mismos a un

quinto de la tasa normal.

La absorción de la humedad atmosférica por las plantas ha sido estudiada por varios autores quienes han encontrado lo siguiente:

Meidner (79), ha encontrado la presencia de células especializadas para la absorción de humedad atmosférica en estado líquido en plantas de Chaetacone.

Waisel (119), a base de sus estudios con Tamarix aphylla encontró que la absorción de agua por las hojas de las plantas sólo ocurre bajo condiciones de muy alto déficit de saturación y largos períodos de exposición a la humedad atmosférica.

Stone y Fowells (105), observaron que plántulas de Pinus ponderosa pudieron sobrevivir una vez alcanzado el punto de marchitez permanente, cuando fueron sometidos a neblina artificial; iguales resultados fueron obtenidos por Edward et. al. (30, 31), quienes llamaron a este fenómeno "transpiración negativa".

Haines (47), ha demostrado que es indudable que las plantas pueden absorber agua a través de las hojas para su propia turgencia cuando se encuentran en una atmósfera nublada; pero en este caso la absorción no es activa.

Breazeale y McGeorge (10), han podido comprobar la absorción de agua atmosférica por cambios en el peso de plantas de tomate al pasarlas de una atmósfera con poca humedad, a otra con alta humedad y Breazeale et. al. (11), además pudieron observar que el traspaso de las plantas de tomate a una atmósfera con alta humedad, se tradujo en un crecimiento más acelerado del sistema radical.

Según Went (124), en muchas regiones secas las plantas han desarrollado pequeñas superficies foliar en forma de hojas aciculares; estas adaptaciones no son para reducir la transpiración como se ha sugerido frecuentemente, sino que son para condensar la humedad de las neblinas ocasionales.

Los análisis químicos de las lloviznas llevadas a cabo por Gindel (40), y de neblinas por Azevêdo y Morgan (2), demuestran la presencia en éstas, de iones que son importantes en la nutrición de las plantas. Además, el aumento de bosque esclerofilico con la altura y la disminución del bosque de hoja ancha, está relacionado con la disminución en la disponibilidad de fósforo y nitrógeno debido a la disminución de la temperatura y las frecuentes neblinas (42).

En los bioclimas más lluviosos, el aporte adicional de agua por intercepción horizontal causa problemas debido a la excesiva humedad del suelo y a través de un efecto sobre la vegetación, puede ser conducente a daño causado por hongos patógenos, una de las principales enfermedades de la raíz, hoja y frutos de las plantas cultivadas (108).

2.8.4 Efecto de la intercepción horizontal sobre el suelo

Twomey (111), en Tasmania, ha encontrado que muchas veces los tipos de suelos estudiados son típicos de una precipitación más alta que la registrada localmente. Muchas de estas localidades se encuentran cubiertas por neblinas y por lo tanto atribuye este efecto a la intercepción horizontal.

Según Hursh y Pereira (56), durante las horas de intercepción horizontal intensa, la evaporación y la transpiración son reducidas a un mínimo y el resultado neto es la conservación de la humedad del suelo; en efecto Means (78), en las colinas de Berkely, California, un lugar con veranos muy secos pero afectado por neblinas, pudo notar que el suelo bajo los árboles siempre estaba húmedo debido al goteo de la neblina y que esta humedad se conservaba hasta 22,5 centímetros.

Existe un intenso reciclaje de nitrógeno en los bosques húmedos tropicales de bajura (96); según Grubb (43) si esto es cierto para el bosque Montano, el nitrógeno y el fósforo disponible para las plantas debe ser provisto por la mineralización de la materia orgánica y es razonable suponer que estos elementos serán provistos en menor proporción y disminuirá la aireación del suelo al aumentar las frecuencias de las neblinas ya que

éstas aumenta el contenido de agua del suelo lo que a su vez disminuye la tasa de mineralización de la materia orgánica. Por su parte Jenny et. al. (58), ha encontrado que el aumento en el contenido de materia orgánica al aumentar la altura se debe a la disminución de la temperatura o al aumento en el contenido de agua de los suelos; por lo tanto la baja disponibilidad de cobre y zinc, debido a su retención en un suelo altamente orgánico puede ser importante en bosques afectados por neblinas (43).

Según Walter (120), el suelo cambia con la altura: "las arcillas pardo-rojizas de los niveles inferiores dejan paso a otros más amarillentos y disminuye al mismo tiempo en contenido de arcilla. Más arriba, se observa una ligera formación de podsol y finalmente aparecen verdaderos podsoles con humus bruto; en el nivel muy húmedo de las nubes se puede encontrar también suelos "gley".

2.9. Experiencias anteriores en cuantificación de la intercepción horizontal

Desde la experiencia llevada a cabo por Marloth en 1906 en Table Mountain, Ciudad del Cabo y citado por Geiger (39), varias investigaciones se han llevado a cabo con el objetivo de evaluar los aportes de agua por intercepción horizontal en varios ecosistemas del mundo. A continuación se presentan las investigaciones más importantes en orden cronológico.

En 1942, Isaac (57), pudo notar en la faja nubosa de Oregón, que pluviómetros colectados bajo la copa de las coníferas, colectaron 25% más agua que aquellos colocados en los claros del bosque. En Lomas de Lachay, Perú, Hans Ross1 citado por Holdridge (53), midió la precipitación por 18 años bajo la copa de los árboles obteniendo un promedio de 491 mm mientras que la precipitación al descubierto fue de solamente 201 mm. Observaciones similares han sido hechas por Ceballos y Ortuño (18), en las Islas Canarias, en una estación ubicada a 966 metros encontrando que a este nivel, durante el año 1951 las lluvias normales aportaron 955,5 mm en tanto que la intercepción horizontal fue de 3038,0 mm.

Twomey (111), con base en sus investigaciones en Sydney, Australia,

ha concluido que una malla de alambre de un metro cuadrado colocada en un lugar afectado frecuentemente por neblinas, puede coleccionar cien veces más agua que un pluviómetro convencional colocado aislado y en las cercanías de ésta.

Oberlander (87), en la Península de San Francisco midió la precipitación bajo árboles expuestos a las neblinas de verano; sus medidas variaron entre 4,5 y 145,25 mm, esta última bajo la copa de árboles de 5,3 m.

Kashiyama, Taawashi y Kitamura (61), en Japón encontraron que una neblina cuyo contenido de agua era de 0,3 g por metro cúbico, y que se movía a velocidad de 3,4 m/seg fue capaz de aportar una cantidad de agua equivalente a una lluvia de un milímetro por hora y Walter citado por Tricart (109), en el desierto de Namib, durante un año midió 14 mm de lluvias en tanto que la intercepción horizontal aportó entre 40 y 50 mm.

Grunow (45), en Bavaria encontró que durante un año, la intercepción horizontal aportó en el interior de un rodal de abetos 20%, y en el margen 50% de la humedad que alcanzó el piso del bosque, en tanto que Milthorpe (83) en Table Mountains, Ciudad del Cabo midió la intercepción horizontal que fue de 250 mm por mes, excediendo a las lluvias y Santos y Abrantes (100), en la isla de San Miguel, Portugal, encontraron que la precipitación medida dentro de rodales de Cryptomeria japónica excedió en un 24,8% a la precipitación medida 30 metros afuera de los rodales.

Kummerow (69), en el Parque Nacional de Fray Jorge, durante un período de tres meses de mediciones obtuvo 0,9 mm de lluvias en tanto que la intercepción horizontal medida bajo la copa de los árboles fue de 50,2 mm y los pluviómetros equipados con mallas de alambre y colocados en lugares abiertos en tierras altas registraron 32,5 mm. Igualmente Ekern (32), en Hawaii observó que durante un período de mediciones de 3 años, un pluviómetro colocado bajo la copa de un árbol de Araucaria excelsa promedió 9775 mm en tanto que un pluviómetro colocado en un claro del bosque promedió 3725 mm; el mismo investigador usó un arpa de alambre para interceptar las neblinas y encontró que ésta colectó tres veces más agua que la aportada por las lluvias.

Ved' (113), en las montañas de Crimea, Rusia, un lugar con pocas lluvias, estimó que la interceptación horizontal es del orden de 200 mm anuales o sea, un 20% de las precipitaciones verticales normales; resultados similares han sido obtenidos por Klincov (67).

Varios autores consideran en que la interceptación horizontal puede exceder en un 100% a las lluvias normales (90, 95, 108, 116).

Según Remieras (95) en la estación de Coshocton, Ohio, la evaporación anual de suelo alcanza 1145 mm y se pudo detectar que cerca del 25% de las precipitaciones se debió a la interceptación horizontal.

En investigaciones más recientes llevadas a cabo en áreas nubladas de Hawaii, Weaver (123) ha estimado que la humedad atmosférica en forma de nubes y neblinas causa que el agua que llega al suelo mediante goteo del dosel y escorrentía de tallo varíe entre 99 y 106% de la precipitación en tanto que Juvik y Ekern (59), encontraron que la interceptación horizontal puede aportar hasta un 50% de la tasa total de las precipitaciones.

2.10. Importancia de la interceptación horizontal a nivel de cuencas

Tradicionalmente los hidrólogos han pensado que la eliminación del bosque de una cuenca, se traduce en un aumento de la descarga; sin embargo, a la luz de los conocimientos actuales se puede comprender que, la deforestación de sistemas superhúmedos (definición adaptada de Holdridge (53)), llamados frecuentemente bosques nublados, dará lugar irreversiblemente a una disminución marcada en los caudales derivados de sus cuencas medias y bajas (108, 111), así como también a una disminución en la capacidad de recarga de los acuíferos subterráneos (13).

Estudios realizados por Zadroga (128), en Costa Rica demostraron que el análisis comparativo de los datos de precipitación y escorrentía de las cuencas de las vertientes Atlántica y Pacífica, las primeras afectadas por alta incidencia de nubosidad, mostraron diferencias notables con respecto a la producción hídrica total y a régimen hídrico, siendo la relación precipitación/escorrentía de 102% para la vertiente Atlántica y 34,5% para la del Pacífico.

Según Witcht (125), desestimar el aporte de agua por intercepción horizontal introduce un gran error en la determinación volumétrica de la precipitación de un área de captación y en estas condiciones, la estimación del balance hidrológico de la cuenca es inexacto (2).

Por otra parte, cualquier cantidad de agua que las neblinas depositen sobre la vegetación, puede considerarse cuantitativamente como una ganancia neta ya que la energía que es usada para su evaporación desde la superficie de las hojas durante los períodos libres de nubosidad, podría haber sido usada en transpiración de igual cantidad de agua del suelo (76).

Finalmente, Bleasdale (9), en 1957 propuso que como quiera que la intercepción horizontal compensa las pérdidas por evaporación e intercepción normal, su importancia es grande y por lo tanto, es apropiado incluirla en el balance hidrológico total de las cuencas.

Varios autores están de acuerdo en que en el futuro, cuencas deforestadas y afectadas por alta incidencia de neblinas y nubes, podrán aumentar su capacidad de captación de agua mediante la reforestación de las mismas con especies eficientes para interceptar las neblinas ó mediante la instalación de dispositivos mecánicos de un alto índice de eficiencia de captación del agua de este tipo de humedad atmosférica.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación del área de estudio

El presente estudio se realizó en un bosque, propiedad privada del señor Ruperto Fuentes, ubicado en Balalaica, un lugar a 30 km. de recorrido por caminos desde el CATIE, tomando la carretera que va hacia Limón y desviándose luego hacia La Suiza para ascender desde allí por la carretera que conduce a Pacayitas (Figura 3). Geográficamente está situado a $9^{\circ}57'$ de latitud norte, $83^{\circ}35'$ longitud oeste y 1300 m.s.n.m.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación de Zonas de Vida de Holdridge (53) el área pertenece a la formación bosque muy húmedo Tropical Premon-tano. En el área no existe estación meteorológica pero la precipitación medida en La Suiza (situada a 22 km. de Balalaica y a solamente 650 m.s.n.m.), por un período de 23 años arroja un promedio de 2511,9 mm de acuerdo con el Instituto Costarricense de Electricidad.

En general se puede decir que el tiempo reinante sobre la región es el resultado del macrotiempo determinado por la posición del sistema de circulación intertropical, el cual determina la dirección y la velocidad del flujo de las masas de aire y su estructura vertical.

Por su parte, el ciclo solar diario establece los movimientos en la capa inferior de la tropósfera; estos movimientos son los llamados circulaciones locales. Estas circulaciones son comunmente conocidas en todas las zonas montañosas del mundo como vientos del valle y montaña (110); en el área de estudio estos vientos provienen del noreste (valle del río Pacuare), según se aprecia en la figura 3. Sobre las zonas de ascenso el enfriamiento del volumen aire provocado por la expansión termodinámica, causa la condensación y por consiguiente la formación de nubosidad local en las partes altas, la cual con desarrollo vertical suficiente precipita el agua condensada (86). Debido a estas condiciones el área de estudio presenta un régimen de alta humedad que debe reflejarse en las tasas de

precipitaciones e intercepción horizontal.

3.3. Geología y Suelos

Según Monsen (84), el origen del área de estudio posiblemente se remonta al Plioceno y pertenece a la formación Aguacate que está formada por tobas volcánicas transportadas por el viento en forma de cenizas, junto con lavas y sustentadas por sedimentos marinos.

Los suelos se han desarrollado sobre lahares pertenecientes a la formación Pacayitas I (28, 29) localizados sobre una cresta y presentan un relieve escarpado. Son más o menos excesivamente drenados y están cubiertos por bosque ó pasto (84). Estos suelos han sido clasificados por Estribí (34), como Typic Tropohumult.

3.4. Fisiografía

El área de estudio presenta topografía accidentada con pendientes que fluctúan entre 10 y 60% generalmente cóncavas y expuestas hacia el noreste. La longitud de las pendientes es variable y se observa microtopografía irregular.

3.5. Historia y uso actual de la tierra

El área de estudio consiste de unas 60 has. de bosque representativo de la zona de vida del área que según testimonio de los habitantes de la región no ha sido utilizado; no obstante existe la posibilidad de que haya sido explotado aunque esto no fue comprobado en el presente estudio.

Los alrededores de esta propiedad han sido talados y la tierra se ha dedicado a la siembra de pasto y cría de ganado así como también a la plantación de cultivos agrícolas mientras que algunos sectores se mantienen en estado de charral.

3.6. Parcelas experimentales

3.6.1. Dimensiones y características

Después de haber realizado un transecto por el bosque para su reconocimiento, se seleccionaron tres sitios en cada uno de los cuales se instaló una parcela de 10 X 10 m a sotavento evitando en lo posible en cada caso, la heterogeneidad en cuanto a pendiente, exposición, altura s.n.m., cobertura vegetal, uso de la tierra (muestreo de juicio, según Kish (65)), y se les denominó parcelas A, B y C. La ubicación de las parcelas en el bosque puede apreciarse en la figura 4.

Las parcelas tenían en promedio, una pendiente de 25% y cada una contenía por lo menos un árbol emergente típico de la asociación boscosa. Este tipo de muestreo pretende demostrar la importancia local (no espacial) de la intercepción horizontal.

3.6.2. Medición del agua del dosel

El agua que gotea del dosel más la que atravesaba el dosel fue medida mediante colectores de lámina galvanizada de forma rectangular y de una superficie de captación de 1,29 m², colocados al azar, cuatro dentro de cada parcela. Colectores de grandes dimensiones son recomendables por reducir el efecto de la heterogeneidad de las copas de los árboles (46), y por ser aerodinámicamente más estables (94).

También, con el objetivo de reducir la variabilidad introducida por la heterogeneidad de las copas los colectores del goteo se mantuvieron fijos (116) y para minimizar las pérdidas por salpicadura y evaporación se colocaron a una altura promedio de 1,5 m sobre el suelo (125) y con una pendiente de 30% (64, 94).

El agua captada por los colectores escurría rápidamente hacia tanques ("estañones"), de 0,57 m de diámetro, 0,85 m de altura y una capacidad de 200 litros, donde era almacenada.

Los tanques fueron cubiertos con material plástico para evitar la entrada de agua adicional y para efecto de los cálculos, la altura del

agua dentro de los tanques se midió con una regla milimetrada.

3.6.3. Medición de la escorrentía de los tallos

Para medir el agua que escurría por los troncos de los árboles se usaron bandas de caucho colocadas en espiral alrededor de los troncos. Para evitar las pérdidas por escape del agua se colocó sellador entre las bandas y el tronco de los árboles.

El agua que escurría por las bandas era recogida en el extremo inferior de la misma por un colector de lámina en forma de embudo y enviada a recipientes de lata en el caso de los árboles pequeños y a tanques de plástico en el caso de los árboles mayores. El volumen de agua colectada se midió con una probeta graduada de 1 litro de capacidad.

Los datos se tomaron los miércoles y sábados de cada semana en horas de la mañana. Se llevó registro semanal de la cantidad de agua colectada por cada árbol durante el período de estudio, así como también del volumen total colectado bajo la copa de los árboles en cada parcela.

3.6.4. Instalación de las arpas

Adyacente a cada una de las parcelas A, B y C se instaló una estación para medir la interceptación horizontal en las arpas (figura 4); estas estaciones estuvieron constituidas por una torre de madera aserrada de 6,0 m de altura, un arpa de alambre colocada en la parte superior sobre soporte giratorio según diseño de Cáceres (14), el cual puede apreciarse en la figura 1c del apéndice; en cada caso, el agua de interceptación colectada por el arpa, era enviada mediante mangueras a un pluviógrafo Lambrecht Tipo Hellamm 1507/H/a/aH con banda de 10 mm de registro semanal.

3.6.5. Estimación del índice relativo de eficiencia de captación de la vegetación y las arpas: 'E'

La estimación de E se llevó a cabo con base en la cantidad de agua del dosel, la precipitación y la cantidad de agua colectada por las arpas

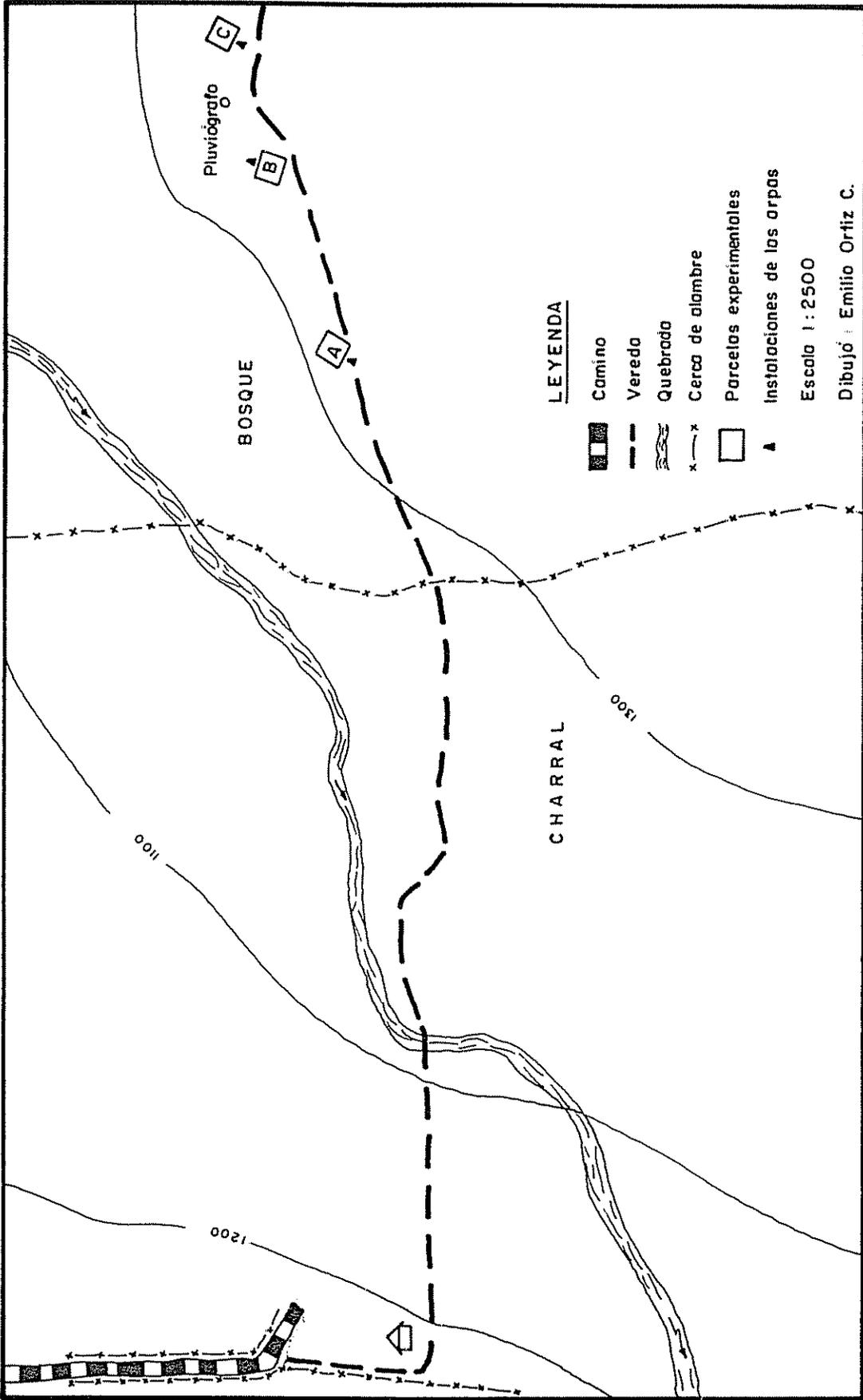


Figura No. 4. Ubicación de las parcelas experimentales en el bosque de estudio (para ubicación del área ver Figura 3).

para un evento dado, según la metodología usada por Baynton (6), en Puerto Rico.

3.7. Medición de las variables climáticas

Las variables climáticas que se midieron fueron: precipitación, humedad relativa, temperatura, vientos.

3.7.1. Precipitación

Para medir la precipitación se hizo un claro en el bosque y sobre una plataforma de madera cuadrada se instaló un pluviógrafo del mismo diseño usado para medir la intercepción horizontal. La colocación del pluviógrafo era tal que la proyección horizontal del área de captación del mismo formaba un ángulo máximo de 45° con la copa de los árboles más cercanos (51).

3.7.2. Humedad relativa y temperatura

La humedad relativa y la temperatura se midieron con un higrotermógrafo de la Bendix Corporation modelo 594 con banda de registro semanal, colocado en un abrigo meteorológico "standard" dentro del bosque (adyacente a parcela B), a una altura de 3,0 metros.

3.7.3. Vientos

También se colocó en el claro practicado en el bosque, un anemómetro marca Cahlsico, modelo 075975, ubicado a 3,0 m de altura y se obtuvo la velocidad media del viento al dividir el recorrido semanal del viento en km. entre el número de horas.

La dirección de los vientos prevalentes se observó periódicamente a partir de la posición de las arpas, ya que éstas estaban colocadas sobre soportes móviles y equipados con veleta.

3.8. Estudio de la cobertura vegetal

En cuanto a la cobertura vegetal del bosque, se llevaron a cabo estudios de composición florística y estructura.

3.8.1. Inventario de especies forestales

Se realizó un inventario de especies mediante el método de parcelas múltiples (15). Se establecieron ocho parcelas de 10 X 10 m y se identificaron todos los árboles con altura mayor de 6,0 m. Se midió el diámetro a la altura del pecho (d.a.p.) de todos los árboles con diámetros de 10,0 cm y más; además se estudió la fisionomía de las formas de vida según metodología propuesta por Richards, Tansley y Watt (97).

3.8.2. Estructura

Para estudiar la distribución espacial de los elementos del bosque, se estableció una franja de 10 x 80 m marcada con estacas e hilo. Se levantó la topografía mediante nivel Abney; se mapeo la posición de los árboles con altura mayor a 6,0 m., se midió el diámetro, altura total, profundidad y anchura de las copas y se dibujó el perfil según el método de Davis y Richards (25).

3.9. Análisis de los datos

3.9.1. Procesamiento de los datos

Para transformar el volumen de agua del dosel colectado bajo la copa de los árboles a $1/100 \text{ m}^2$ (tamaño de la parcela), para un período o evento dado, se hizo uso de la siguiente relación:

$$1/100 \text{ m}^2 = \frac{0,255 (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)}{4 \times 1,29} \times 10^3$$

Donde: 0,255 = sección transversal del tanque en m^2

h = altura del agua en los tanques en m

4 = número de colectores

1,29 = área de captación de los colectores

10^3 = factor que resulta al convertir m^3 a litros, y al extrapolar el agua colectada para los 100 m^2 de la parcela.

La cantidad de agua colectada por las arpas tuvo que ser ajustada a $1/m^2$ para poder efectuar comparaciones; esto se hizo de la siguiente forma:

$I_a = 0,03 \times \text{mm}$ registrados por el pluviógrafo del arpa
donde:

$I_a = 1/m^2$ captados por el arpa

0.03 = una constante de calibración que resulta al combinar la constante de calibración del pluviógrafo (0,2 litros por cada 10 mm de registro), con la sección transversal actual del arpa ($0,678 \text{ m}^2$).

El aporte de agua por intercepción horizontal se obtuvo como la diferencia entre la precipitación y el agua colectada bajo el bosque (agua del dosel + escorrentía de tallos) o sea:

Aporte neto de agua = $P_g - (P_t + P_s)$

donde: P_g = precipitación medida en el claro del bosque (se asumió que era igual a la lluvia sobre el bosque)

P_t = agua del dosel (agua que gotea del dosel + agua que atraviesa el dosel)

P_s = escorrentía de los tallos

En los casos de pérdidas por intercepción normal se empleó la misma expresión y en ambos casos los resultados se expresaron en $1/100 \text{ m}^2$.

3.9.2. Pruebas estadísticas

El grado de asociación entre las variables se estudió mediante análisis de correlación y regresión; la comparación entre los parámetros poblacionales de las tres parcelas se llevó a cabo mediante el criterio de la prueba de "F" y la prueba de "t".

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción general del bosque

Las parcelas establecidas para estudio del bosque quedaron en pendientes cóncavas generalmente expuestas hacia el noreste.

En aquellas partes del bosque donde el dosel es denso y continuo, se puede caminar por el piso del bosque con relativa facilidad; sin embargo, en lugares donde el dosel es más abierto, la circulación se obstaculiza debido al desarrollo de un sotobosque denso.

Los árboles emergentes presentan fustes rectos; los demás generalmente presentan mala forma.

Varias especies de árboles presentan gambas y raíces fúlcreas pero sin ninguna orientación especial; en algunas áreas, gran cantidad de raíces superficiales cubre el suelo forestal. Muchos árboles (sobre todo los más altos), presentan sus ramas superiores defoliadas y muertas.

Es frecuente encontrar árboles grandes muertos en pie. Durante fuertes aguaceros, acompañados de vientos, estos árboles caen abriendo grandes claros en el bosque; estos espacios son poblados rápidamente por especies pertenecientes al dosel superior así como también por gran cantidad de plantas menores.

Los troncos de los árboles caídos y en estado de descomposición presentan un habitat adecuado para el desarrollo de semillas de angiospermas y esporas de musgos, hepáticas y varias familias de helechos.

Epífitas vasculares de las familias Araceae, Bromeliaceae, Orquidiaceae y también helechos cubren los troncos de los árboles; también son abundantes los musgos y las lianas; éstas últimas presentan una gran variedad de diámetros comprendidos entre 0,2 - 9,0 cm.

Se observa gran relación entre la incidencia de epífitas y lianas y

la naturaleza de la corteza de los árboles, siendo menor en los que presentan corteza lisa.

Es frecuente encontrar plantas estranguladoras y angiospermas parásitas de la familia Loranthaceae.

4.1.1. Estructura del bosque

La estructura del bosque se refiere a la distribución espacial de sus elementos constituyentes; no obstante se debe distinguir entre estructura horizontal (espaciamiento), de la estructura vertical o estratificación.

El plan estructural de los bosques tropicales se pone de manifiesto claramente a través de la característica central de su arquitectura: la estratificación de los árboles, arbustos y hierbas (118).

La figura 5 muestra el dibujo del perfil del bosque. Puede notarse claramente la diferenciación de tres estratos o posiciones fitológicas:

- estrato A: formado por árboles hasta de 35 metros de altura
- estrato B: formado por árboles que miden entre 35 y 15 metros
- estrato C: constituido por árboles que miden menos de 15 metros

La composición florística de estos estratos se aprecia en el Cuadro 1.

Además de estos tres estratos arbustivos se observó una cuarta posición fitológica que no alcanzaba 2,0 m formada por rubiáceas, especialmente Cephaelis, melastomáceas, pequeñas palmas, helechos y regeneración de árboles pertenecientes a los estratos superiores.

4.1.2. Fisionomía

Durante el período de estudio no se observó caducifolia en este bosque. El inventario llevado a cabo en la vegetación no solamente consideró las especies existentes sino que también consideró aspectos de la forma de vida de los árboles tales como presencia de gambas y raíces fúlcreas y características de las hojas.

CUADRO No. 1

GENEROS Y ESPECIES FRECUENTES EN LOS ESTRATOS A, B y C DEL BOSQUEESTRATO A:

- *Vochysia ferruginea* Mart.
- *Dendropanax arboreus* (L.) Dche y Planch.
- *Quercus* sp.
- *Pouteria* sp.

ESTRATO B:

- *Clusia pithecobia* Standl. y L.O. Wms
- *Inga densiflora* Benth
- *Billia hippocastanum*
- *Albizia* sp.
- *Ternstroemia tepezopote*
- *Phoebe mexicana*
- *Pentagonia donnell-smithii*
- *Dendropanax arboreus*
- *Casearia* sp

ESTRATO C:

- *Miconia humilis*
- Melastomaceae (varias especies)
- *Eugenia* sp
- *Meliosma* sp.
- *Inga* sp.
- *Guatteria* sp.
- *Prunus* sp.
- *Styrax globroscens*
- *Ameiouna corymbosa*
- *Hyeronioma poasana*
- *Nectandra austinii*
- *Neea lactevirens*

El análisis de los resultados muestra que el 10% de las especies de árboles presentan gambas y están representadas por Dendropanax arboreus, Vochysia ferruginea y Eugenia sp.

El 22% de las especies presentan raíces fúlcreas y los representantes son:

Clusia phitecobia
Drymis granadensis
Guatteria sp.
Helicostylus towarensis
Miconia humilis
Ocotea sp.
Symphonia globulifera

El estudio de las hojas reveló que en un 22% los árboles presentan hojas compuestas; al comparar el tamaño de las hojas con las "clases de hojas" de Raunkiaer (Figura 6) se obtuvieron los resultados que se aprecian en el Cuadro 2.

CUADRO 2. DISTRIBUCION DE LAS "CLASES DE HOJAS" SEGUN RAUNKIAER

| No. de especies | "Clases de Hojas" | % del total |
|-----------------|-------------------|-------------|
| 2 | Leptófilas | 6,06 |
| 5 | Micrófilas | 15,15 |
| 25 | Mesófilas | 75,76 |
| 1 | Macrófilas | 3,03 |
| Tot. 33 | | 100,00 |

No se detectó la presencia de hojas con pubescencias y en cuanto a la consistencia en general son hojas coriáceas.

4.1.3. Composición florística

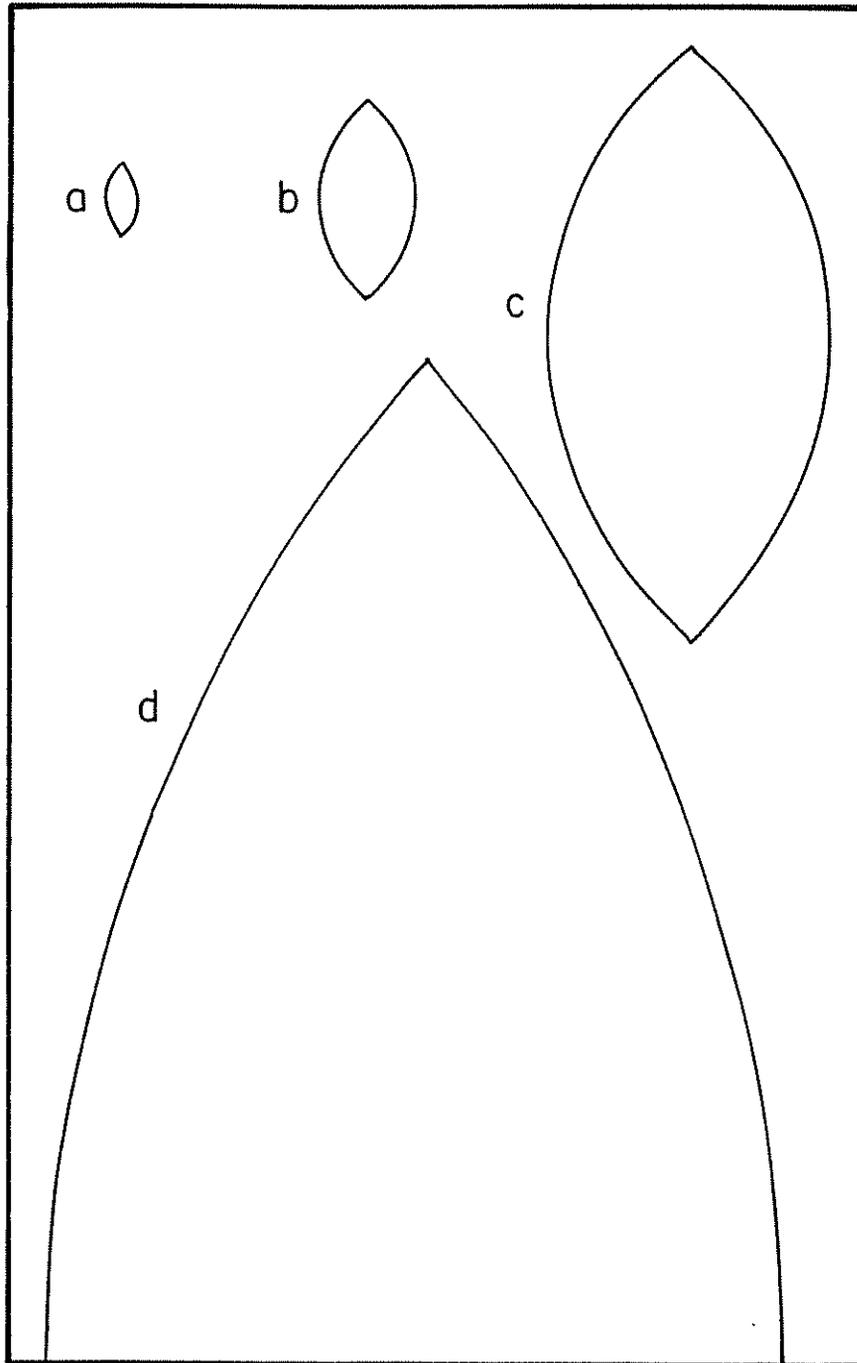


Figura No. 6: Límites de los tamaños de hojas según Raunkiaer:

- Leptófilas, menos que a (25 mm^2)
 - Nanófilas, entre a y b (225 mm^2)
 - Micrófilas, entre b y c (2025 mm^2)
 - Mesófilas, entre c y $2d$ (18.225 mm^2)
 - Macrófilas, entre $2d$ y 8 veces el área de todo el diagrama
 - Megáfilas, más de 8 veces el área del diagrama
- Tomado de Richards, Tansley y Watt (97).

El inventario de especies forestales arrojó un total de 33 especies de árboles; se identificaron arbolitos hasta de 6,0 m de altura aunque su diámetro fuera inferior a 10,0 cm por ser éstos importantes para describir la expansión vertical del bosque. Los géneros y especies encontrados así como la familia botánica a que pertenecen se presentan en el cuadro 3.

Las observaciones realizadas sobre la vegetación, muestran la existencia de gran heterogeneidad. La condición de siempre verde, así como el predominio del componente arbustivo y un estrato bajo de matorral aunado al crecimiento de lianas y epífitas de varias familias botánicas, constituyen según Wagner (118), una de las características más importantes de los bosques tropicales de América Central.

La estructura y fisionomía de este bosque concuerda con los resultados de los estudios de Davis y Richards (25), Richards (97), Grubb (42) y Tosi et. al. (107), en bosques húmedos tropicales. La presencia de especies con raíces fúlcreas prominentes tales como Symphonia globulifera y Clusia pithecobia, típicas de ecosistemas higrofíticos, revelan un alto contenido de humedad en el suelo*.

Por su parte, la heterogeneidad florística, con gran número de especies en varios estratos, ramas entrelazadas, abundancia de epífitas y especies con hojas mesófilas en un 75,76% se traducen en una mayor capacidad de retención de la lluvia al mismo tiempo que proveen una mayor superficie para la intercepción horizontal.

La abundancia de plantas con hojas grandes puede deberse a que la biotemperatura media anual excede de 16°C que según Dolph y Dilcher (27), es la temperatura crítica que delimita las franjas de tamaños de hojas en Costa Rica.

La alta incidencia de hojas coriáceas concuerda con los estudios de Vaughman y Wiehe (112), quienes han encontrado que la altura afecta la morfología de las hojas siendo más coriáceas a mayor altura.

*Poveda, L. Comunicación personal.

CUADRO No. 3 INVENTARIO DE ESPECIES FORESTALES EN BALALAIKA

| No. | NOMBRE CIENTIFICO | FAMILIA | No. | NOMBRE CIENTIFICO | FAMILIA |
|-----|---|------------------|-----|---|---------------|
| 1 | <i>Alfaroa costaricensis</i> Standl | Juglandaceae | 18 | <i>Miconia humilis</i> Cogn | Melastomaceae |
| 2 | <i>Ameiouna corimbosa</i> H.B.K. | Rubiaceae | 19 | <i>Nectandra austini</i> C.K.Allen | Lauraceae |
| 3 | <i>Ardisia</i> sp. | Myrsinaceae | 20 | <i>Neea laetevirens</i> Standl. | Nyctaginaceae |
| 4 | <i>Albizzia</i> sp. | Mimosaceae | 21 | <i>Ocotea</i> sp. | Lauraceae |
| 5 | <i>Bellia hippocastanum</i> Peyr. | Hippocastanaceae | 22 | <i>Oreomunna mexicana</i> (Standl.) Leroy | Juglandaceae |
| 6 | <i>Casaria</i> sp. | Flacourtiaceae | 23 | <i>Pentagonia Donnell-Smithii</i> | Rubiaceae |
| 7 | <i>Clusia pithecobia</i> Standl. y L.O. Wms. | Guttiferae | 24 | <i>Phoebe mexicana</i> Meisn / Standl | Lauraceae |
| 8 | <i>Dendropanax arboreus</i> (L) Dche. y Planch. | Araliaceae | 25 | <i>Pithecolobium arboreus</i> | Mimosaceae |
| 9 | <i>Drimys granadensis</i> L.F. | Magnoliaceae | 26 | <i>Pouteria</i> sp. | Sapotaceae |
| 10 | <i>Eugenia</i> sp. | Myrtaceae | 27 | <i>Protium</i> sp. | Burseraceae |
| 11 | <i>Guatteria</i> sp. | Anonaceae | 28 | <i>Psychotria</i> sp. | Rubiaceae |
| 12 | <i>Helicostylus tovarensis</i> (Klotz y Karst) | Moraceae | 29 | <i>Quercus</i> sp. | Fagaceae |
| 13 | <i>Hyeronima poasana</i> Standl. C.C. Berg | Euphorbiaceae | 30 | <i>Symphonia globulifera</i> L.F. | Guttiferae |
| 14 | <i>Inga</i> sp. | Mimosaceae | 31 | <i>Ternstroemia tepezapote</i> | Theaceae |
| 15 | <i>Laplacea semiserrata</i> (Mart y Zucc) | Theaceae | | Schlecht y Cham. | |
| 16 | <i>Licania</i> sp. | Rosaceae | 32 | <i>Virola</i> sp. | Myristicaceae |
| 17 | <i>Mabea occidentalis</i> Benth. | Euphorbiaceae | 33 | <i>Vochysia keruginea</i> Mart. | Vochysiaceae |

La muerte recesiva de muchos árboles constituye una prueba de la incidencia de neblinas y vientos fuertes en el dosel superior del bosque (35).

4.2. Clima

Las variables climáticas medidas fueron: precipitación, temperatura, humedad relativa y los vientos.

4.2.1. Precipitación

En el Cuadro 4 se presentan los valores de precipitación mensual para el período de estudio. En total se obtuvo una precipitación de 2305,1 mm para el período de estudio (julio de 1980 a enero de 1981).

La comparación entre la cantidad de lluvias registradas en Balalaica y en la estación pluviográfica más cercana ubicada en La Suiza (promedios de 23 años), puede apreciarse en la figura 7.

Durante el período comprendido entre el 19 de julio de 1980 y el 17 de enero de 1981, se registraron 157 eventos superiores a 0,1 mm de precipitación. De estos, 134 con menos de 20 mm y 23 con más de 20 mm incluyendo 3 eventos con más de 100 mm.

En el Cuadro 4 puede apreciarse que los meses más secos durante el período de estudio fueron julio y octubre. El mes más lluvioso fue diciembre pero esta situación fue anormal debido al movimiento de masas de aire frío subtropical del norte lo cual ocasionó precipitaciones prolongadas. Esto afectó el proceso de intercepción normal y la intercepción horizontal y por lo tanto la verdad sobre el comportamiento de los fenómenos hidrológicos normales del bosque está algo velada.

La distribución de los aguaceros puede apreciarse en la figura 8; existe la tendencia a producirse aguaceros inferiores a 10 mm en un 60%; resultados similares han sido obtenidos por Apolo (1) en La Suiza, a 20 km. de Balalaica, a una altura de 750 m.s.n.m. y por Bermúdez (7) en Florencia Sur en el CATIE.

CUADRO No. 4 PRECIPITACION MENSUAL EN BALALAIKA
PARA EL PERIODO DE ESTUDIO (19 de
julio de 1980 al 17 de enero 1981)

| MES | mm. de lluvia |
|------------|---------------|
| JULIO | 118,6 |
| AGOSTO | 279,1 |
| SEPTIEMBRE | 349,2 |
| OCTUBRE | 180,6 |
| NOVIEMBRE | 314,3 |
| DICIEMBRE | 782,2 |
| ENERO | 281,1 |
| TOTAL | 2 305,1 |

La precipitación total para el período de estudio fue de 12% mayor que la precipitación promedio medida en La Suiza por un período de 23 años por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

4.2.2. Temperatura

El Cuadro 5 muestra los promedios de temperaturas máximas y mínimas mensuales. Las temperaturas máximas siempre se registraron entre las 12 y 14 horas, en tanto que las mínimas entre las 4 y las 6 horas.

La desviación estándar para las temperaturas máximas fue de 1,73 en tanto que para las mínimas fue de 1,10 (n=23), y la temperatura media del sitio resultó ser de 17,75°C y deberá estar influenciada por la cobertura vegetal (104).

CUADRO No. 5 PROMEDIOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS Y MINIMAS MENSUALES Y MEDIA MENSUAL EN BALALAIICA

| MESES | Temperatura máxima en °C | Temperatura mínima en °C | Temperatura media mensual |
|------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| JULIO | 21,2 | 17,3 | 19,3 |
| AGOSTO | 21,7 | 17,0 | 19,4 |
| SEPTIEMBRE | 20,7 | 16,3 | 20,7 |
| OCTUBRE | 20,0 | 16,5 | 18,3 |
| NOVIEMBRE | 18,8 | 16,0 | 18,8 |
| DICIEMBRE | 18,2 | 15,0 | 16,1 |
| ENERO | 16,2 | 14,3 | 15,3 |

Los bajos valores de la desviación estandar indican que existen pocas fluctuaciones de las temperaturas máximas y mínimas manteniéndose en promedio, en 19,8°C y 16,0°C respectivamente. El rango de variación entre las máximas y las mínimas fue de 3,9°C; como es natural, este rango puede reducirse durante días muy nublados y aumentar durante días soleados.

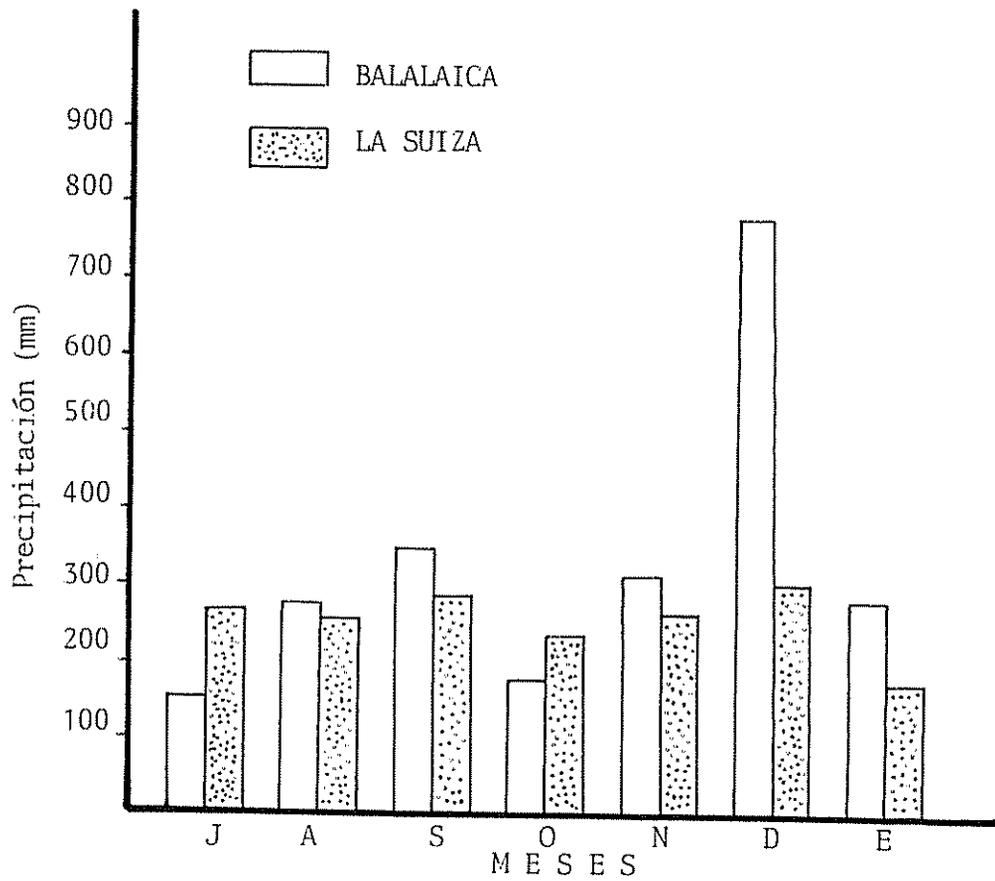


FIGURA No. 7. Comparación de la cantidad de lluvia mensual en Balalaica y en La Suiza para el período de estudio

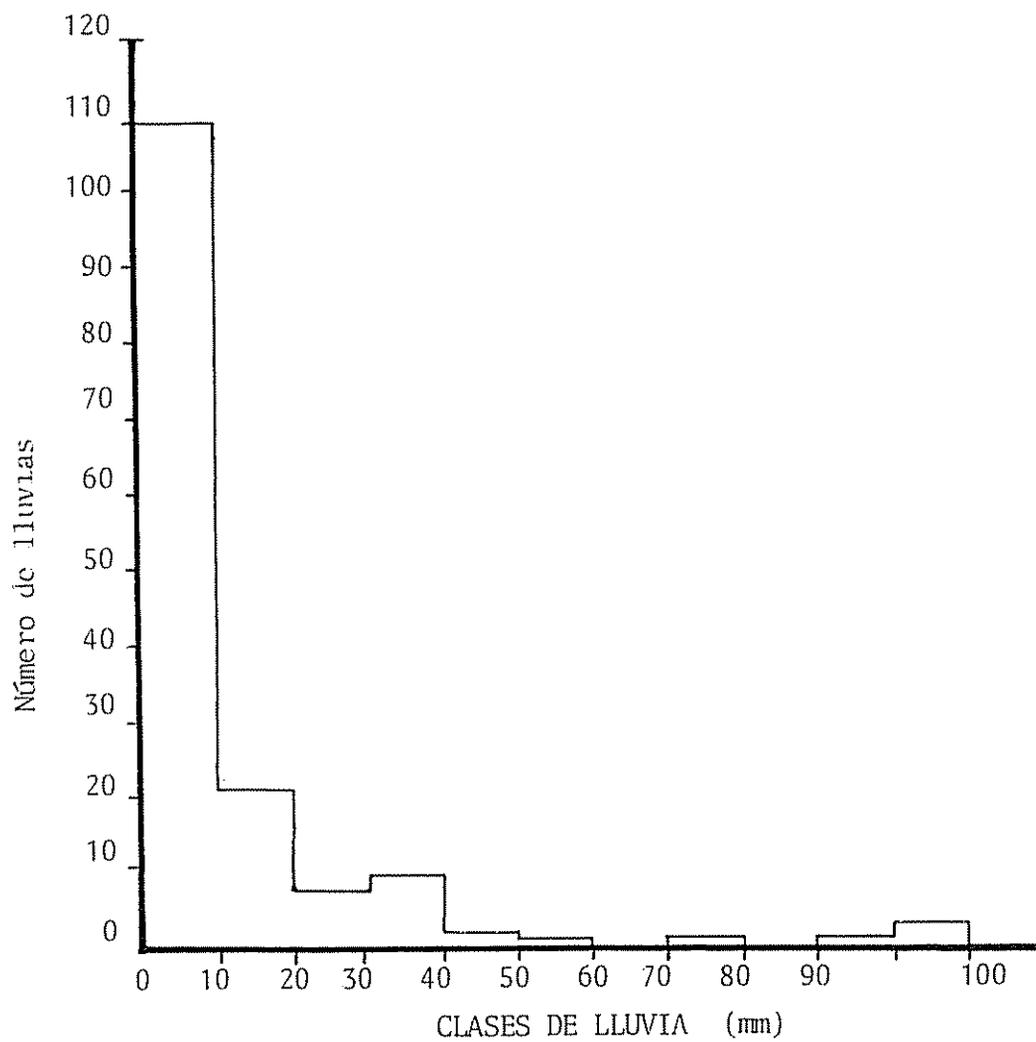


FIGURA No. 8. Distribución de las precipitaciones en Balalaica.

Rangos similares de variación diaria de la temperatura dentro del bosque han sido obtenidos por Evans (35), Schulz, Cachan y Duval citados por Grubb y Whitmore (42).

4.2.3. Humedad relativa

Durante los días despejados y poco nublados la humedad relativa varió en forma inversa a la temperatura llegando cerca de 100% durante las noches. En días afectados por neblinas la humedad relativa se mantiene a niveles entre 95 y 100%.

El Cuadro 6 presenta los promedios de humedad relativa máximas y mínimas durante el período de estudio.

CUADRO No. 6 PROMEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD RELATIVA MAXIMA Y MINIMA EN BALALAIKA

| MESES | H.R. MAXIMA | H.R. MINIMA |
|------------|-------------|-------------|
| JULIO | 96,0 | 88,6 |
| AGOSTO | 97,0 | 86,9 |
| SEPTIEMBRE | 96,1 | 86,5 |
| OCTUBRE | 96,0 | 84,7 |
| NOVIEMBRE | 96,1 | 83,0 |
| DICIEMBRE | 96,4 | 82,2 |
| ENERO | 96,0 | 92,0 |

Los valores mínimos de humedad relativa se registraron entre las 12 y las 14 horas en tanto que las máximas se registraron entre las 4 y las 6 horas.

La humedad relativa mínima registrada fue de 61% y ocurrió el 20 de noviembre; durante el 76% del período de estudio la humedad relativa se mantuvo con valores mayores de 95%.

Según Evans (35), los higrotermógrafos de hebra de cabello como el usado en este ensayo tienden a ser imprecisos sobre 90% de humedad relativa de modo que una lectura sobre 93% no puede considerarse significativamente diferentes de una saturación a 100%.

Por otra parte, las lecturas obtenidas no son exactas ya que tal como señala el autor previamente citado, en atmósferas muy húmedas la tinta del registrador tiende a difundirse sobre la banda de modo que se obtiene un trazo muy grueso extendiéndose muchas veces sobre rangos de 1°C ó 2% de humedad relativa; este problema es especialmente serio cuando se usan bandas de registro de largo tiempo en ambientes muy húmedos.

4.2.4. Vientos

La velocidad media del viento medida semanalmente varió entre 0,096 y 0,480 km/h para un promedio de 0,230 km/h. La posición de las arpas reveló que la dirección de los vientos dentro del bosque es variable predominando los vientos del noreste y noroeste.

La velocidad media obtenida es baja; este resultado está de acuerdo con las consideraciones de Geiger (39), y los estudios de Baynton (6), quienes han encontrado que la velocidad del viento es baja cerca del piso del bosque pero que ésta aumenta con la altura alcanzando su máximo valor sobre el dosel.

La velocidad media del viento calculada debe manejarse con discreción pues la medición de esta variable para períodos largos puede ser inexacta (35).

Los resultados sobre la dirección del viento concuerdan con los datos de la estación meteorológica del CATIE en donde los registros muestran que aunque los vientos son variables predominan durante un 80% del tiempo los vientos del noreste y del noroeste.

4.2.5. Neblinas

La presencia de la neblina dentro del bosque está relacionada con

los eventos de precipitación y con las horas del día. Durante el día, la neblina se presenta entre 1/2 - 1 hora antes de las lluvias; persiste durante la lluvia y se disipa o prevalece después de ésta de acuerdo con las condiciones de temperatura y vientos.

Normalmente, la neblina se presenta al atardecer, generalmente entre las 16 y 17 horas; prevaleciendo durante toda la noche y empieza a disiparse entre las 7 y 8 horas en el caso de días despejados. Durante amaneceres muy húmedos o lluviosos la neblina puede permanecer muchas horas sobre la vegetación hasta que sobrevengan temperaturas entre 19 y 20°C y vientos que favorezcan su disipación.

La intensidad de la neblina es variable predominando las neblinas moderadas con visibilidad entre 500 y 1000 metros, aunque puede llegar a ser espesa o densa de acuerdo con los cambios de las variables climáticas.

Las neblinas predominantes en el área son del tipo ascendente provenientes del noreste las cuales resultan de un ascenso orográfico gradual y han sido descritas por Pettersen (92), Murcia (86), Trojer (110) y Tosi (108). Este tipo de neblina no solamente son propicias para intercepción horizontal (21), sino que con desarrollo vertical suficiente pueden propiciar precipitaciones abundantes (86).

4.3. Agua del dosel

Los 12 colectores de agua del dosel construidos en Turrialba tuvieron en promedio un área de captación de 1,2904 m²; la desviación estándar fue de 0,0157 y el coeficiente de variación fue de 1,17%.

La prueba estadística de homogeneidad de varianzas (prueba de F), y de diferencia de medias (prueba de t), no dieron diferencias significativas para las variancias y los promedios del agua dosel de las tres parcelas A, B y C.

El análisis de regresión determinó que el agua del dosel y la precipitación están relacionados mediante la expresión:

$$Y = 1,0446 X - 196,1099$$

El coeficiente de correlación para esta relación fue de 0,96. La tendencia de esta relación puede observarse en la figura 9.

Durante quince semanas el agua del dosel no superó a la precipitación y sus valores variaron entre 81,82% y 99,41% de la precipitación para un promedio de 91,98%. Durante estas semanas, la distribución de la lluvia dentro del bosque fue similar a la lluvia fuera del bosque; no obstante el valor del agua del dosel es alto comparado con los resultados de los estudios de Manokaran (74), quien obtuvo variaciones mensuales comprendidas entre 65,27 y 94,64% para un promedio de 77,56%.

El agua del dosel fue menor durante lluvias leves que durante las lluvias más fuertes; resultados similares han sido observados por Vaughan y Wiehe (112) y Low citado por Manokaran (74).

El alto valor del agua del dosel en este ensayo puede deberse al microclima del bosque con neblinas nocturnas sobre todo en los períodos menos lluviosos. Durante períodos con mayores precipitaciones la neblina ayuda a satisfacer más rápidamente la capacidad de almacenaje de la vegetación ya que:

- la cobertura vegetal está parcialmente húmeda
- existen lluvias más intensas
- se presentan mayores volúmenes de lluvia (72, 73, 98, 130)

Aumentos en el agua del dosel en bosques afectados por neblinas también han sido observados por Grunow (45), Santos y Abrante (100) y Klincov (67), entre otros.

Se encontró buen ajuste entre las variables precipitación y agua del dosel ($r=0.96$) y la forma de la expresión es similar a la obtenida por Weaver (121) para el sotavento de un pico nublado en las montañas de Luquillo en Puerto Rico, cuya expresión fué:

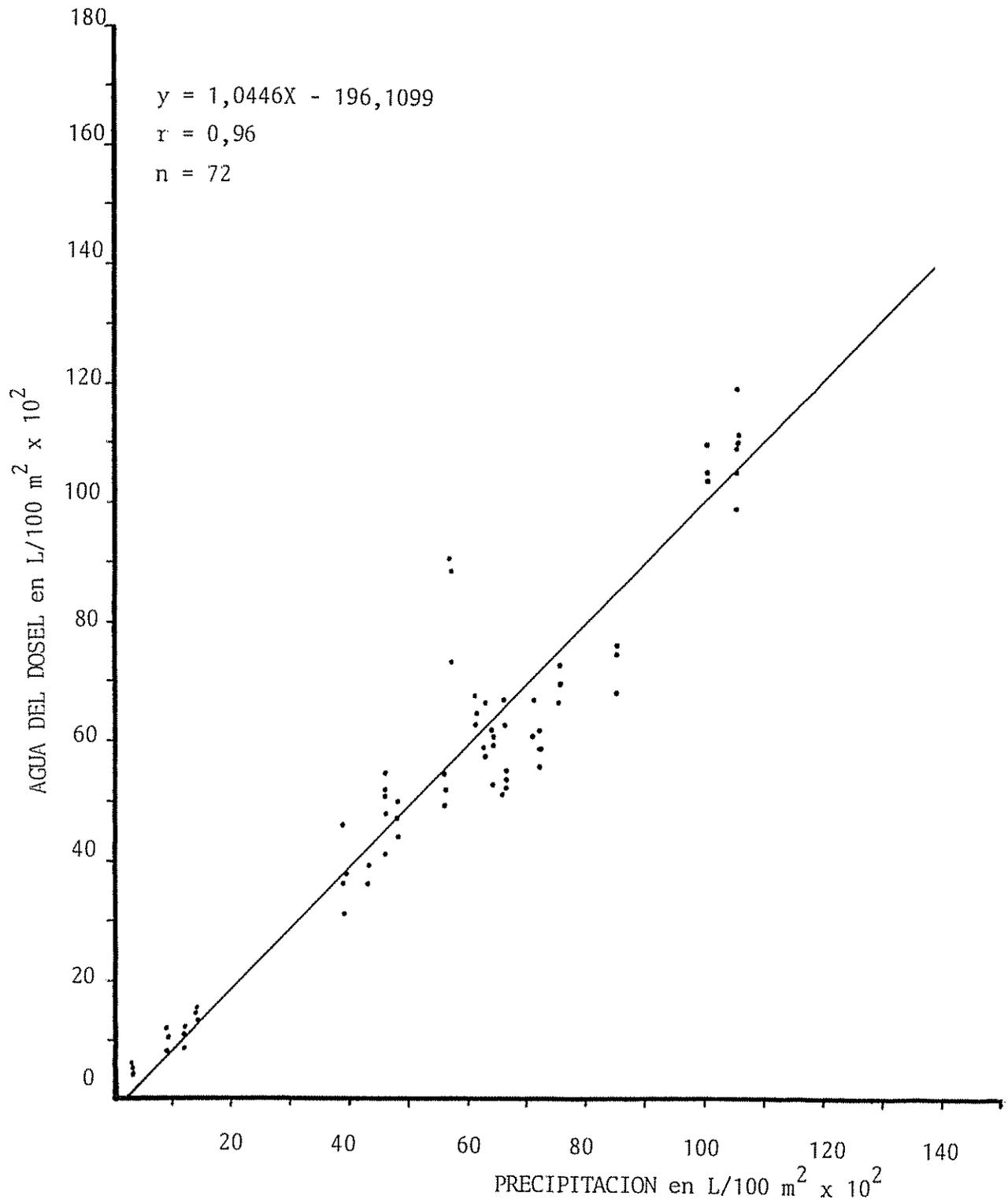


FIGURA No., 9. Agua del dosel en función de la precipitación

$$Y = 1,222 X - 0,0051$$

4.4. Escorrentía de los tallos

La comparación de los datos de escorrentía de los tallos para las parcelas A, B y C no dió significancia para las variancias a un nivel de $\alpha = 0,05$; también se determinó que no existía diferencias entre las medias poblacionales de dichas parcelas a un nivel de $\alpha = 0,01$.

Al relacionar la escorrentía de los tallos con la precipitación por el método de mínimos cuadrados se obtuvo la relación

$$Y = 0,0042 X + 0,0183$$

con un coeficiente de correlación $r = 0.90$

La Figura 10 representa esta relación.

La escorrentía de tallos promedio fue de $638,865 \text{ l}/100 \text{ m}^2$ valor que representa un 0,42 por ciento de la precipitación.

La regresión de la escorrentía total de los tallos sobre el diámetro de los árboles dió una expresión de la forma

$$Y = 7,6737 X - 28,9869$$

con un coeficiente de correlación $r = 0,92$; la tendencia de esta relación se aprecia en la Figura 11.

La escorrentía de los tallos al igual que el agua del dosel varió de acuerdo con el patrón de las precipitaciones siendo mayor durante los meses más lluviosos. Aguaceros con cantidades de lluvia inferiores a 3,0 mm en general no produjeron escorrentía de tallos pero ésto dependió del grado de humedad de la vegetación previa al evento de precipitación, presentándose períodos muy nublados durante los cuales lluvias moderadas produjeron cantidades apreciables de escorrentía de tallos.

No obstante, el valor promedio obtenido de 0,42 por ciento de la

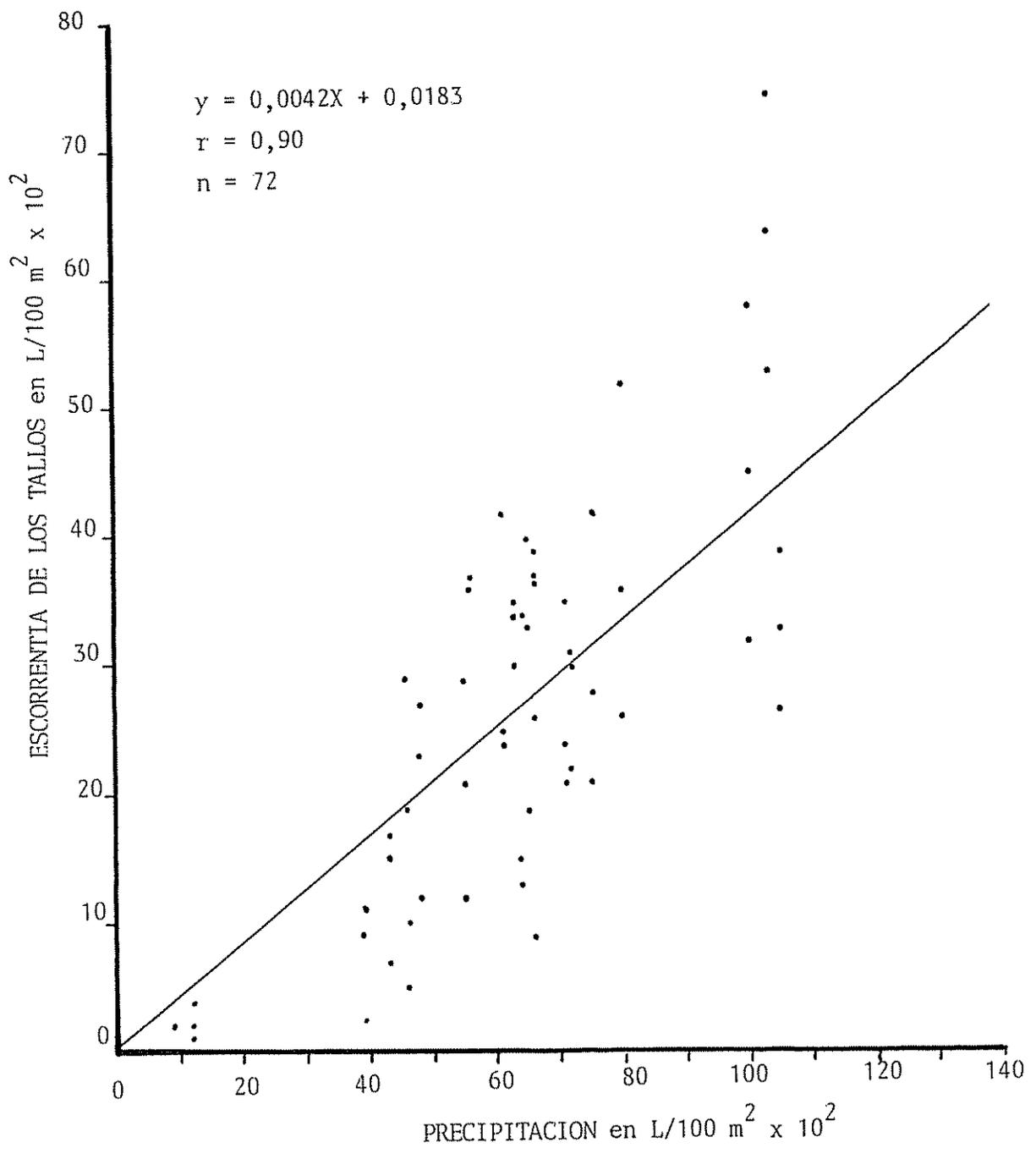


FIGURA No. 10. Escorrentía de los tallos en función de la precipitación

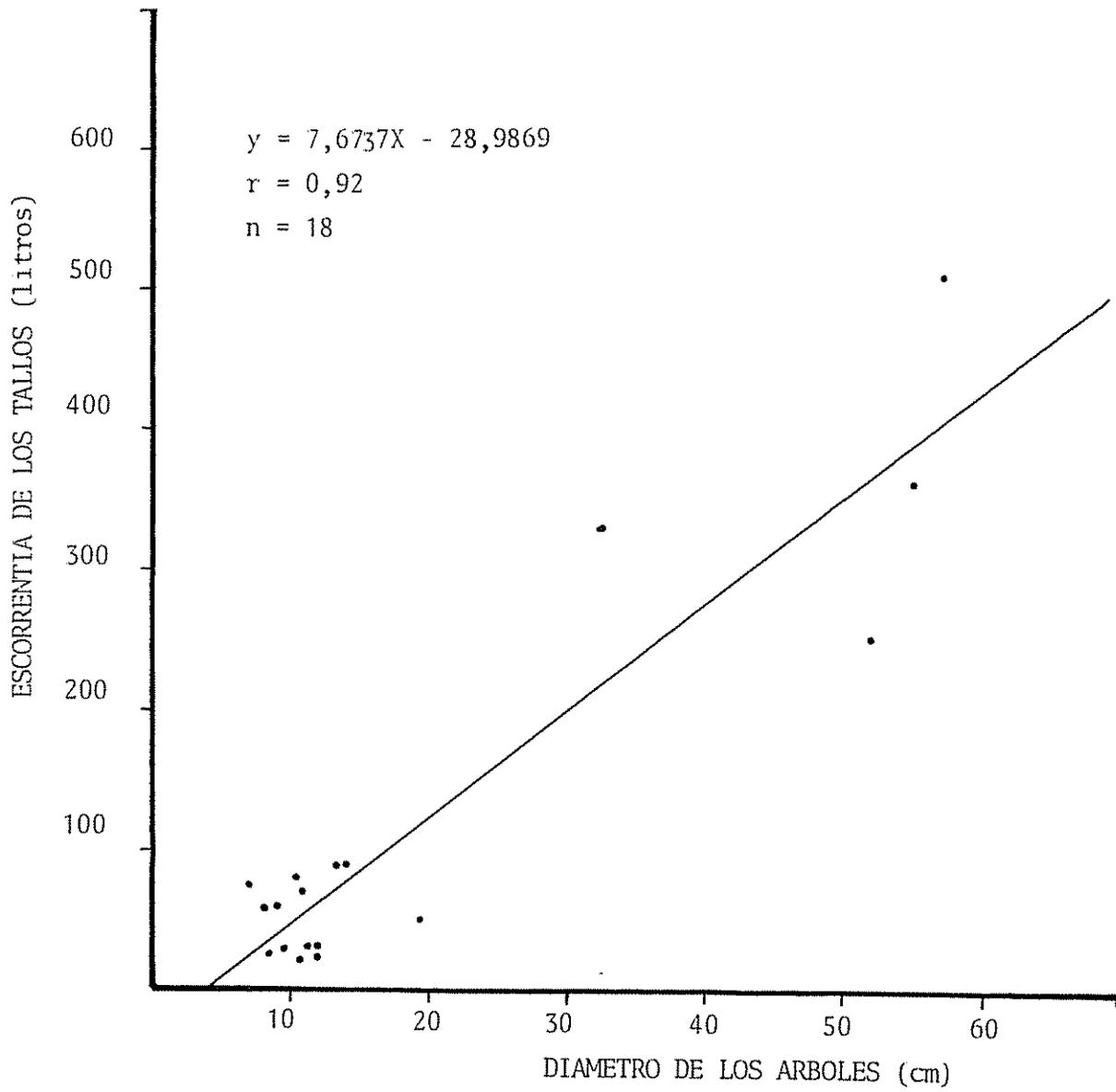


FIGURA No. 11. Escorrentía total de los tallos en función del diámetro de los árboles

precipitación puede considerarse bajo de acuerdo con varios autores (74, 23), y por lo tanto, se considera que este componente es insignificante (98); resultados similares fueron obtenidos por Zambrana (129), en un bosque de segundo crecimiento en Turrialba, Costa Rica. El valor encontrado también es inferior al obtenido por Dabral y Subba (23) en plantaciones de pino y teca. Esto posiblemente se debe a la diferencia en estructura y fisionomía del bosque con abundantes epífitas y parásitas.

Los resultados coinciden con los obtenidos por Voth (117), quien sostiene que la presencia de epífitas es determinante en la escorrentía de los tallos, ya que éstos aumentan la capacidad de retención de agua de vegetación.

Se obtuvo un buen ajuste entre la precipitación y la escorrentía de los tallos ($r=0,90$) y entre la escorrentía de los tallos y sus diámetros ($r=0,92$). La tendencia creciente de la relación entre la escorrentía de los tallos y sus diámetros concuerda con los estudios de Shure y Lewis (102) y Presland (93), quienes encontraron mayor escorrentía de tallos en parcelas donde los árboles y la cobertura de bosque eran mayores.

4.5. Intercepción de la lluvia

El análisis de la intercepción de la lluvia mostró que, durante nueve semanas ocurrieron pérdidas por intercepción de la lluvia en las tres parcelas. No se encontró diferencia estadística entre los promedios de la cantidad de agua interceptada a un nivel de $\alpha = 0,01$.

Se probaron los modelos logarítmicos, exponencial y lineal para correlacionar la cantidad de agua interceptada con la precipitación obteniéndose mejor correlación ($r = 0.60$), con la función logarítmica:

$$Y = 7,886 X^{0,43}$$

La tendencia de esta curva puede verse en la figura 12. La baja correlación obtenida en este caso, es explicable por la influencia de la neblina, la cual afecta las condiciones de humedad de la vegetación

antes de los eventos de precipitación.

Los porcentajes de pérdida de agua por interceptación tomados para nueve semanas durante los cuales se produjeron pérdidas por interceptación en las tres parcelas (ver Cuadro 4.A.) variaron entre 6,22 y 13,34%; para un promedio de 9.88 por ciento, estas variaciones siguieron a las variaciones en las precipitaciones produciéndose los valores mayores durante los meses menos lluviosos (julio, agosto y octubre).

Lluvias menores de 2,0 mm tuvieron tendencia a ser interceptadas totalmente dependiendo del grado de humedad de la vegetación y de la intensidad, distribución espacial y temporal de la neblina.

Las variaciones del porcentaje de agua interceptada obtenido en este estudio son menores que los obtenidos por Manokaran (74), con fluctuaciones entre 5,04 y 34,31%, Dabral y Subba (23), quienes obtuvieron hasta 24,3% de agua interceptada y Delfs (26), quien encontró variaciones entre 0-42% dependiendo de la edad de los rodales.

Los estudios de Grunow (46) y Bleasdale (9), en bosques afectados por neblinas los ha llevado a concluir que la interceptación normal puede ser compensada por deposición de la humedad atmosférica en forma de neblinas. Estas consideraciones son obvias si se tiene en cuenta que la neblina puede ayudar a llenar la capacidad de almacenamiento de la vegetación reduciendo así las pérdidas por interceptación.

4.6. Aporte de agua por interceptación horizontal

Ocurrieron nueve semanas durante las cuales se produjo aporte neto de agua por interceptación horizontal que representó 15,31% de la precipitación de este período (ver Cuadro 5.A.). No se encontró diferencias significativas entre los promedios de aporte de agua neto a un nivel de t 0,05; sin embargo los promedios de aporte neto de agua tomados semanalmente durante el período señalado variaron entre 1,34 y 66,67%.

El análisis de regresión lineal múltiple mostró que el aporte de agua por interceptación horizontal (Y), la temperatura media (X_1) y la velocidad

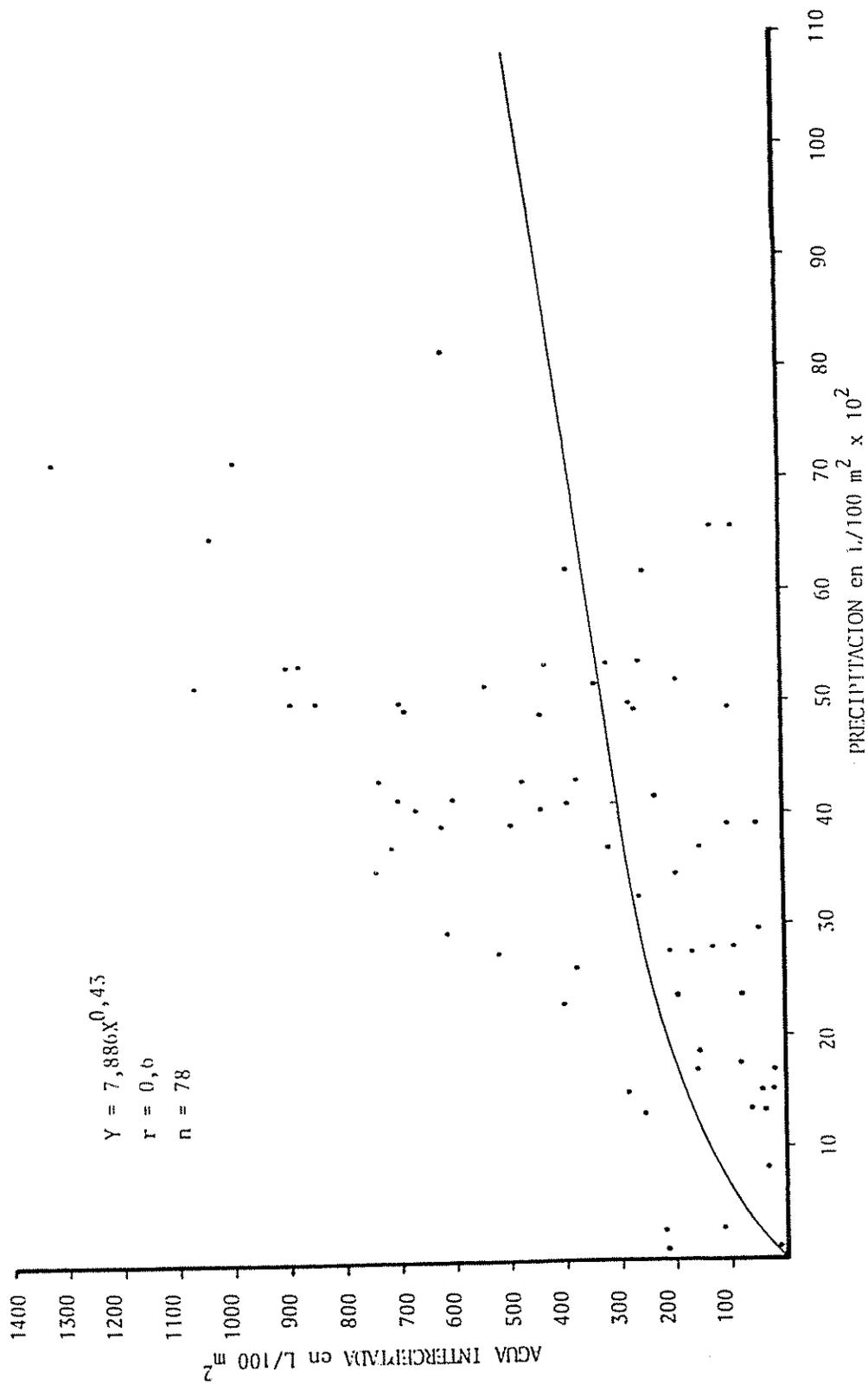


Figura No. 12. Agua interceptada en función de la precipitación.

media del viento (X_2) tomados semanalmente para los períodos con aporte de agua, están relacionados por la expresión

$$Y = 17492,5 - 1014X_1 + 5974,78X_2$$

con un coeficiente de correlación de 0,86.

Las variaciones en el aporte neto de agua siguieron a los cambios estacionales siendo mayor durante las semanas más lluviosas con humedades relativas altas y temperaturas promedio más bajas. Los coeficientes de la ecuación de regresión múltiple expresan esta relación con la temperatura, así como también con la velocidad media del viento; el efecto de estos factores sobre la intercepción horizontal ha sido comprobado por Costin y Wimbush (22), Vogelmann *et. al.* (115) y Chow (19).

Los resultados obtenidos en este ensayo no se pueden comparar con los de otras localidades debido a la gran variabilidad en cuanto a los resultados. Perrin (90), Remieras (95) y Blumestock citado por Tosi (108), consideran que la intercepción horizontal puede aportar entre 0-100% de las precipitaciones de un sitio.

Estas variaciones se deben indudablemente a que la intercepción horizontal es función de las regiones geográficas y climáticas (2), de la forma de los árboles (32), de la altura y arreglo de las copas y de la velocidad del viento (80).

Además, estudios de intercepción horizontal en bosques tropicales como el del presente estudio, no han sido reportados en la literatura; en este sentido se necesita más investigación.

4.7. Intercepción normal vs. intercepción horizontal

Durante seis semanas del período de estudio la distribución del fenómeno de intercepción normal y horizontal varió entre parcelas obteniéndose para estos períodos, pérdidas por intercepción en el 100% de los casos en la parcela A, 66,6% en la parcela B y 16,6% en la parcela C (ver Cuadro 6.A.).

Este resultado es explicable ya que la intercepción horizontal es función de la distribución espacial y temporal de la neblina en el bosque y de la eficiencia de los diferentes tipos de plantas para interceptarla (2); esto fue corroborado por las observaciones de campo (ver cuadro 6.A.)

Aunque no hubo diferencia significativa entre los promedios del agua del dosel en las tres parcelas durante el período de estudio se notaron diferencias en las cifras reales siendo menor en la parcela A. Este resultado es atribuible a que el árbol emergente en esta parcela era una Mimosaceae con hábito de cerrar sus foliolos durante las noches lo que se traduce en disminución del área de captación de la neblina. Este resultado era de esperar ya que la superficie foliar total, el tipo y forma de las hojas, el arreglo y las características de su superficie así como su distribución espacial, afectan la cantidad de agua que es interceptada y retenida por el follaje y que últimamente gotea hacia el suelo (80).

Finalmente, aunque es posible que las partes aéreas de las plantas puedan absorber algo del agua depositada por la neblina, cualquier cantidad de agua que permanezca sobre la vegetación puede considerarse cuantitativamente como una ganancia neta ya que las plantas no utilizan energía para evaporación y transpiración durante las horas nubladas (76).

4.8. Estimación del índice de eficiencia relativa de captación de la vegetación y las arpas

Al comparar los promedios de la cantidad de agua colectada por las arpas de las estaciones A, B y C se encontró que existían diferencias altamente significativas ($\alpha=0,001$), entre las medias del agua colectada por las arpas A y B con respecto a C y por lo tanto los datos de ésta última fueron excluidos para fines de análisis. Esta diferencia es atribuible al funcionamiento deficiente del equipo de la estación C a pesar de que fue calibrado varias veces durante el estudio. Entre las medias de las arpas de las estaciones A y B no hubo diferencia significativa a un nivel de $\alpha = 0,1$

Durante los meses de agosto a diciembre fue posible obtener en 7 ocasiones las condiciones de tiempo adecuadas para obtener los datos nece-

sarios para el cálculo del índice de captación relativo de la vegetación y las arpas (E).

La ecuación de regresión obtenida para el agua del dosel y la precipitación y ajustada para el cálculo de E es de la forma

$$Y = 1,045 (X + I_a \times E) - 196,109$$

y se resolvió para E resultando:

$$E = \frac{Y - 1,045 X + 196,109}{I_a}$$

donde: Y = agua del dosel

1,045 = coeficiente de regresión

X = precipitación

I_a = agua colectada por intercepción horizontal en el arpa

196,109 = constante

Esta expresión es aplicable bajo condiciones de follaje completamente seco y por lo tanto se requiere que el evento a cuantificar este precedido de por lo menos cuatro horas sin lluvias ni neblinas; esto requirió de la observación directa de las condiciones del tiempo en el campo.

Las mediciones se realizaron inmediatamente después de cada evento; los índices obtenidos se presentan en el cuadro 7. El Apéndice B presenta en detalle los datos obtenidos y los cálculos realizados.

CUADRO No. 7. INDICES DE EFICIENCIAS RELATIVAS DE LA VEGETACION Y LAS ARPAS EN BALALAIKA POR ESTACION Y POR EVENTOS CON CONDICIONES DE TIEMPO OBSERVADAS DIRECTAMENTE EN EL CAMPO

| Fecha | Duración del evento (horas) | ESTACION A | ESTACION B |
|----------|-----------------------------|------------|------------|
| 2-8-80 | 15,00 a 18,00 | 1,595 | 2,225 |
| 10-9-80 | 12,00 a 17,00 | 1,595 | 1,322 |
| 8-10-80 | 12,00 a 16,00 | 1,305 | 1,631 |
| 9-10-80 | 13,00 a 18,00 | 1,333 | 1,910 |
| 21-10-80 | 14,00 a 17,00 | 1,355 | 1,769 |
| 16-11-80 | 15,00 a 19,00 | 1,281 | 1,877 |
| 16-12-80 | 12,00 a 16,00 | 1,523 | 1,715 |

No se encontró diferencia estadística entre los promedios de los índices de las estaciones A y B, a un nivel de significancia de t 0,01. El valor de E en promedio es de 1,6.

Existen pocos estudios sobre determinación del valor de E en la literatura y por lo tanto la comparación se hace dificultosa; no obstante puede considerarse bajo si se tienen en cuenta los estudios de Ekern (32) y Carlson (16), Hawaii quienes encontraron que las arpas colectaron tres veces más agua que la producida por las precipitaciones locales.

Baynton (6) en Puerto Rico estimó el valor de E para un interceptor artificial de doble malla, obteniendo un valor promedio de 1,2.

El bajo valor de E obtenido en este ensayo puede explicarse por la ubicación de las arpas, muy baja (6,0 m), con relación a la copa de los árboles. El mismo autor antes mencionado ha señalado que se incurre en error cuando se mide el valor de E bajo el dosel del bosque. Ekern (32), ha comprobado que la eficiencia de captación de los dispositivos mecánicos aumenta con la altura sobre el suelo; no obstante, en bosques tropicales la ubicación de interceptores a grandes alturas presenta problemas técnicos y de infraestructura. En este sentido se necesita más investigación.

5. CONCLUSIONES

El análisis de los datos y el estudio de la cobertura vegetal, permiten arribar a las siguientes conclusiones:

La comunidad boscosa del área de estudio presenta expansión vertical con tres estratos bien definidos los cuales albergan varias sinusias* (lianas, plantas trepadoras, epífitas, parásitas, musgos, líquenes y hepáticas), que hacen aumentar la superficie foliar total del bosque, lo cual tiene una influencia decisiva sobre los procesos de retención de la lluvia, las pérdidas por intercepción y sobre la tasa total de intercepción horizontal.

La condición siempre verde de este bosque es favorecida por los altos niveles de humedad del suelo, los cuales según Estribí (34), siempre fueron mayores de 100% durante el período de estudio.

En cuanto a la naturaleza del follaje, el bosque en general es mesófilo; no obstante la diferencia respecto al tamaño y forma de las hojas de los árboles emergentes de las tres parcelas no influyó en forma significativa sobre las tasas totales de pérdidas por intercepción de la lluvia ni sobre el aporte neto de agua por intercepción horizontal.

La existencia de períodos con pérdidas por intercepción de la lluvia, indican que en esta comunidad boscosa la neblina no esta en contacto permanente con la vegetación, sin embargo, las neblinas periódicas durante los meses menos lluviosos reducen estas pérdidas, aunque esta reducción es difícil de cuantificar.

Al igual que en otros estudios ecológicos realizados en bosques tropicales, la escorrentía de los tallos representó una fracción pequeña en relación con la lluvia total (0.42 por ciento), más no por esto deja de ser relevante para el ecosistema si se considera su influencia sobre la humedad del suelo, sobre todo para el sistema radical cercano al tronco

*Definición adoptada de Richards (96).

de los árboles; la cantidad de agua que llegó al suelo por escurrimiento a lo largo de los troncos fue afectada por la carga de epífitas de los árboles.

El aporte neto de agua que llegó al suelo mediante agua del dosel y escorrentía de los tallos, fué de 10.114,8 litros por metro cuadrado de suelo forestal durante nueve semanas, cantidad de agua que equivale a una lámina con una altura de 101.1 mm y representa 15,31% de la precipitación del período durante el cual se produjo. Este aporte de agua cuando se compara con la precipitación total del período de estudio, se nota que representa solamente un 4,40 por ciento de la lluvia total y es ésta la cantidad de agua que dejaron de percibir los sitios deforestados adyacentes. Dicha cantidad es irrelevante para el ecosistema en estudio debido a la alta tasa total de las precipitaciones; no obstante se debe considerar que en ecosistemas menos húmedos, esta cantidad puede llegar a representar una fracción apreciable de las lluvias totales.

En cuanto a la eficiencia de las arpas para captar el agua de las neblinas, se encontró que el valor del índice de captación relativo de la vegetación y las arpas fue de 1.6 y expresa que la vegetación, en este caso, fue ligeramente superior a las arpas, en cuanto a eficiencia de captación. La escasa literatura relacionada con este aspecto hace difícil las comparaciones; en este sentido, el estudio es pionero y se recomienda más investigación.

Los resultados de este estudio, aunque solamente son de importancia local, han permitido probar la hipótesis sobre la importancia hidrológica de la intercepción horizontal para el manejo y ordenamiento de cuencas de montaña, cuya producción hídrica es de gran importancia para el abastecimiento de agua de alta calidad para riego, consumo humano, producción de energía hidroeléctrica y recreación de la población asentada en las partes bajas de las cuencas.

Es por esta misma razón que la deforestación de las asociaciones superhúmedas atmosféricas, llamadas frecuentemente bosques nublados, traerá como consecuencia una marcada reducción de los caudales derivados de las

partes más altas y medias de las cuencas, ocasionando un desequilibrio del balance hidrológico, ya que sin la cubierta arbórea la humedad atmosférica en forma de neblinas o nubes podrá pasar sobre las divisorias de agua de las cuencas hidrográficas, siendo una pérdida para los acuíferos de las áreas abastecedoras de agua.

La deforestación de los bosques nublados, ocasionados por una presión creciente en el uso de la tierra, planteará en el futuro la necesidad de recuperar la capacidad de producción hídrica de estas áreas. A la luz de investigaciones similares a la presente llevadas a cabo en varios países, dicha recuperación deberá considerar las siguientes alternativas:

- reforestación con especies eficientes en cuanto al proceso de intercepción horizontal
- instalación de interceptores mecánicos artificiales de alta eficiencia para atrapar la humedad atmosférica.

Varios países ya están adquiriendo alguna experiencia en este sentido (Hawaii, Perú y Japón por ejemplo), sin embargo, la elección de cualquiera de las dos alternativas deberá considerar la urgencia en cuanto a la necesidad del recurso agua, los recursos económicos disponibles y los aspectos estéticos y escénicos del paisaje natural.

BIBLIOGRAFIA CITADA

1. APOLO, B.W.A. Evaluación de la escorrentía superficial y la erosión en un pastizal con árboles aislados en La Suiza, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1980. 69 p.
2. AZEVEDO, J. and MORGAN, D.L. Fog precipitation in coastal California forest. *Ecology* 55(5):1135-1141. 1974.
3. BARRY, R.G. and CHORLEY, R.J. *Atmósfera, tiempo y clima*. Trad. de la 1ed. inglesa por Ana María Guilló. Barcelona, Omega, 1972. 395 p.
4. BAUER, E. A new method of measuring fog precipitation. *Montes* 19(112): 323-5. 1963.
5. BAUMGARTNER, A. Mist and mist precipitation a site factor on the Grasser Falkenstein (Bavaria forest) *Förstswiss* 77(9/10):257-72. Compendiado *In Forestry Abstracts* 20(2):176. 1959. Ref. No. 1351.
6. BAYNTON, H.W. The ecology of an elfin forest in Puerto Rico. *Journal of the Arnold Arboretum* 50:81-92. 1969.
7. BERMUDEZ, M.M.M. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema café (*Coffea arabica* L.), poró (*Erythrina poepigiana* (Walforst) O.F. Cook) y laurel (*Cordia alliodora*) (R y P) Cham, en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1975. 85 p.
8. BLAIR, T.A. *Weather elements*. 13 ed. New York, Prentice-Hall, 1946. 401 p.
9. BLEASDALE, A. Afforestation of catchment areas. *Empire Forestry Review* 36(1):59-66. 1957.
10. BREAZEALE, E.L. and McGEORGE, W.T. Influence of atmospheric humidity on root growth. *Journal of Soil Science* 73(5):361-365. 1953.
11. BREAZEALE, E.L., McGEORGE, W.T. and BREAZEALE, J.F. Water absorption and transpiration by leaves. *Journal of Soil Science* 72(3):239-244. 1951.
12. BYERS, H.R. *General meteorology*. New York, McGraw-Hill, 1944. 645 p.
13. BUDOWSKI, G. y ZADROGA, F. Solicitud de financiamiento para proyectos de investigación. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, 1976. 47 p. mimeo.

14. CACERES, G. Diseño, construcción e instalación de arpas de alambre para estudios de intercepción horizontal. Informe de Trabajo Especial. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1980. 16 p. fotocopiado.
15. CAIN, S.S. and G.M. de OLIVIERA CASTRO. Manual of vegetation analysis. New York, Harper, 1959. 325 p.
16. CARLSON, N.R. Fog and lava rock, pines and pineapples. American Forester 62(2):8-10. 1971.
17. CARR, A.F. La montaña llorona. Scientific Monthly 68(4):225-234. 1949.
18. CEBALLOS, L. y ORTUÑO, F. El bosque y el agua en Canarias. Montes 8(48):418-423. 1942.
19. CHOW, V.T. Handbook of applied hydrology. New York, McGraw-Hill, 1964. pp. 6-7.
20. CLEGG, A.C. Rainfall interception in a tropical forest. Caribbean Forester 24(2):75-79. 1963.
21. CORBY, G.A. Airflow over mountains. Nature 175:414-415. 1955.
22. COSTIN, A.B. and WIMBUSH, D.J. Studies in catchment hydrology in the Australian Alps. IV. Interception by trees of rain, cloud and fog. Technical Paper No. 16. 1961. 16 p. Compendiado In Forestry Abstracts 23(3):363. 1962. Ref. No. 3096.
23. DABRAL, B.G. y SUBBA, B.K. Interception studies in chir and teak plantations at New-forest. Indian Forester 94(7):541-551. 1968.
24. DAUBENMIRE, R.F. Plants and environment. 2 ed. Washington D.C., John Wiley, 1962. 422 p.
25. DAVIS, T.A.W. and RICHARDS, P.W. The vegetation of Moraballi Creek, British Guiana: an ecological study of a limited area of tropical rain forest. Reimpreso del Journal of Ecology 22(1):350-384. 1934.
26. DELFS, J. Interception in spruce stand of various ages. Arbkieibs Wald in Wosser, Kablenz. No. 1. 1954. pp. 31-36. Compendiado In: Forestry Abstracts 19(3). p. 229. 1958. Ref. No. 2660.
27. DOLPH, G.E. and DILCHER, E.L. Variation in leaf size with respect to climate in Costa Rica. Biotropica 12(2):91-99. 1980.
28. DONDOLI, C.B. y TORRES, J. Mapa de asociación de suelos. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1969.
29. DONDOLI, C.B. y TORRES, J. Mapa de unidades geomorfológicas. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1952.
30. EDWARD, C.E., SHCHORI, Y.A. and STANLEY, R.G. Water absorption by needles of ponderosa pine seedlings and its internal redistribution. Plant Physiology 31:120-126. 1956.

31. EDWARD, C., STONE, F.W., WENT, L. and YOUNG, L. Water absorption from the atmosphere. *Science* 111:546-548. 1958.
32. EKERN, P.C. Direct interception of cloud water at Lanaihale, Hawaii. *Proc. Soil. Sci. Amer.* 28:419-21. 1964.
33. ELLIS, C.R. Rainfall, fog drip and evaporation in a mountainous area of southern Australia. *Australian Forestry* 35:99-100. 1971.
34. ESTRIBI, C.A. Consecuencias edáficas e hidrológicas asociados con el cambio en el uso de la tierra en Balalaica, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. (En preparación).
35. EVANS, G.C. Ecological studies on the rain forest of southern Nigeria. *Journal of Ecology* 27:436-482. 1939.
36. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Plan de Manejo del Parque Nacional Fray Jorge, Santiago, Chile. Documento Técnico de Trabajo No. 17. Santiago, Chile. 1974. 37 p.
37. FOSTER, E.E. Rainfall and runoff. New York. MacMillan, 1948. 250 p.
38. GARBELL, M.A. Tropical and equatorial meteorology. New York, Pitman Publishing Corporation, 1947. 237 p.
39. GEIGER, R. The climate near the ground. Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1950. 482 p.
40. GINDEL, I. Attraction of moisture by woody xerophytes. *Commonwealth Forestry Review* 45(4):295-321. 1966.
41. GRAH, R.F. and WILSON, C.C. Some componentes of rainfall interception. *Journal of Forestry* 42:890-898. 1944.
42. GRUBB, P.J. and WHITMORE, T.C. A comparison of montane and lowland rain forest in Ecuador. *Journal of Ecology* 54:303-333. 1966.
43. _____. Interpretation of the "Massenerhebung" effect on tropical mountains. *Nature* 229:44-45. 1971.
44. GRUNOW, J. Precipitation on mountains forest. *Forstwiss. Central Blatt* 74(1-2):21-32. 1955. Compendiádó In *Forestry Abstracts* 17(3) p. 334. 1956. Ref. No. 2411.
45. _____. Measuring additional precipitation on the forest floor from fog condensation. *Wetter un Leben, Wien* 7(8-11):262-3. Compendiádó In *Forestry Abstracts* 18(3) p. 306. 1957. Ref. No. 2439.

46. GRUNOW, J. Interception in spruce stand on the Hohenpeissenberg and methods of measuring. *Förstwiss* 8(7/8):212-29. 1965. Compendiado In *Forestry Abstracts* 27(2) p. 188. 1966. Ref. No. 1652.
47. HAINES, F.M. The absorption of water by leaves in fogged air. *Journal of Experimental Botany*. 4:106-107. 1953.
48. HARPER, V.L. Aspectos hidrológicos de la ordenación de bosques y pastizales en Estados Unidos *Unasyuva* 7(3):116-126. 1953.
49. HELVEY, J.D. and PATRICK, J.M. Conopy and litter interception of rainfall by hardwoods of Eastern United States. *Water Resources Research*. 1:193-206. 1965.
50. HETH, D.T. and KARSCHON, J.M. Interception of rainfall by Eucalyptus camaldulensis Pehn. (E. rostrata). National University Institute of Agriculture, Illanoth, Israel, 1963. 15 p.
51. HEWLETT, J.D. and NUTTER, W.L. An outline of forest hydrology. Athens, University of Georgia, 1969. 137 p.
52. HOLDRIDGE, L.R. Ecología de la Cordillera de Talamanca en la República de Panamá, con referencia especial a las áreas de Boquete y Cerro Punta. Panamá. MACI, 1965. 10 p.
53. ————. Ecología basada en zonas de vida. Traducido del inglés por Jiménez-Saa. IICA. San José, Costa Rica, 1978. 206 p.
54. HOPKINS, B. Rainfall interception by a tropical forest in Uganda. *East African Agricultural Journal* 25(4):1360. 1960.
55. HORI, T. Studies on fog in relation to fog preventing forest. Tanne Trading C. Ltd. Sapporo, Hokkaido, 1953. 399 p. Compendiado In *Forestry Abstracts* 15(3) p. 281. 1954. Ref. No. 2239.
56. HURSH, C.R. and PEREIRA. Field moisture balance in the Shimba Hills, Kenya. *East African Agricultural Journal* 18:139-145. 1953.
57. ISAAC, L.A. Fog drip and rain interception in coastal forest. *Forest Research notes*. Forest Range Exp. Sta. No. 34:15-6. 1946. Compendiado In *Forestry Abstracts*. 9(2) p. 149. 1947. Ref. No. 733.
58. JENNY, H., BINGHAM, F. and PADILLA-SARAVIA, B. Nitrogen and organic matter contents of equatorial soils of Colombia, South America. *Soil Science* 66:173-186. 1948.
59. JUVIK, J.O. and EKERN, P.C. A climatology of mountain fog on Mauna Loa, Hawaii Island. Water Resource Research Center. University of Hawaii. Technical Report No. 118. 1978. 63 p.

60. KAMMER, F. Climate and vegetation of Tenerife with special reference to fog precipitation. *Scripta Geobotanica* 7:1-78. 1974.
61. KASHIYAMA, T., TAKAWASHI, K. and KITAMURA, K. The capture of sea fog particles by in experimental shelterbelt. *Bull. For. Exp. Sta. Meguro Tokyo*. No. 63. 1963. Compendiado In *Forestry Abstracts* 15(2) p. 181. 1954. Ref. No. 1371.
62. KERFOOT, O. Mist precipitation on vegetation. *Forestry Abstracts*. 29(1):8-20. 1968.
63. _____ and McCULLOCH, S.S.G. The interception and condensation of atmospheric moisture by forest canopies. East African Agricultural and Forestry Research Organization, Muguga. In Eighth British Commonwealth Forestry Conference, East Africa, 1967. p. 7.
64. KIMMIS, J.P. Some statistical aspects of sampling throughfall precipitation in nutrient cycling studies in British Colombian coastal forest. *Ecology* 54(5):1008-1019. 1973.
65. KISH, L. Survey sampling. New York, Wiley, 1972. 739 p.
66. KITREDGE, J. Forest influences. New York. McGraw-Hill, 1948. 394 p.
67. KLINCOV, A.P. Interception of precipitation by tree crowns in Sakhalia. *Ins. Lens. Hoz* 1970 (10):132-6. Compendiado In *Forestry Abstracts* 32(2) p. 245. 1971.
68. KNUCHEL, H. Uber die Nebelvegetation an der peruanischen Kuste. *Schweiz. Forstwiss* 9(2):81-84. 1947. Compendiado In *Forestry Abstracts* 9(2) p. 159. 1948. Ref. No. 787.
69. KUMMEROW, J. Quantitative measurements of fog in the Fray Jorge National Park. *Boletín informativo de la Universidad de Chile*. No. 28:36-7. 1962. Compendiado In *Forestry Abstracts* 24(2) p. 533. 1973. Ref. No. 4576.
70. LAMB, D. Horizontal precipitation of vegetation. *Australian Forestry* 3(1):37-39. 1965.
71. LAUER, W. Klimatologische Studien in Mexiko und Nigeria. Bonn, Ferd. Dummyer. Verlag, 1978. 189 p.
72. LEONARD, R.E. Mathematical theory of interception. In Sopper, W.E. and Lull, H.W. eds. *Forest Hydrology. Proceedings of a National Science Foundation Advanced Science Seminar*. Oxford, Pergamon Press, 1967. pp. 131-136.
73. LEYTON, L., REYNOLDS, E.R.C. and THOMPSON, B.F. Rainfall interception in forest and moorland. In: Sopper, W.E. and Lull, H.W. eds. *Forest Hydrology; Proceedings of a National Science Foundation Advanced Science Seminar*. Oxford, Pergamon Press, 1967. pp. 163-178.

74. MANOKARAN, N. Stemflow, throughfall and rainfall interception in a lowland tropical rain forest in peninsular Malaysia. *The Malaysian Forester* 42(3):171-201.
75. MARTINEZ, H.I. Instrucciones para la operación y mantenimiento de estaciones hidrometereológicas ordinarias. Organización Metereológica Mundial. Publicación No. 54. 1959. 50 p.
76. McCULLOCH, J.S.G. and DAGG, M. Hydrological aspects of protection forestry in East Africa. *East African Agricultural and Forestry Journal* 30(1):390-397. 1965.
77. McINTOSH, R.P. Fog drip: an anticipation of ecology. *Ecology* 39(1) p. 159. 1958.
78. MEANS, T.H. Fog precipitation by trees. *Journal of Forestry* 25(8):1015-6. 1927.
79. MEIDNER, H. Measurements of water intake from the atmosphere by leaves. *New Phytologist* 53:423-426. 1954.
80. MERRIAM, R.A. Fog drip from artificial leaves in a fog wind tunnel. *Water Resources Research* 9(6):1591-1597. 1973.
81. MILLER, A.A. Climatología. Traducido de la 6 ed. inglesa por Ismael Antish. Barcelona, Omega, 1957. 375 p.
82. MILLER, D.H. Coastal fog and clouds. *Geographical Review* 47:591-4. 1957.
83. MILTHORPE, F.L. The income and loss of water in arid and semi-arid zones. In *Plant and Water Relationships in arid and semi-arid conditions*. UNESCO, 1960. pp. 9-36.
84. MONSEN, R. Sr. ed. Inventario de Recursos: Cantón de Turrialba. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1970. 115 p.
85. MORAL, R. Del and MULLER, C.H. Fog drip: a mechanism of toxin transport from Eucalyptus globulus. *Bull Torrey Bot. Club* 96(4):467-75. Compendiado In Forestry Abstracts 31(1) p. 49. 1970. Ref. No. 387.
86. MURCIA, V.M.T. Topoclimatología de la ladera del Volcán Turrialba. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969.
87. OBERLANDER, G.T. Summer fog precipitation on San Francisco Península. *Ecology* 37(4):851-53. 1953.
88. O'CONNOR, J.F. Fog and fog forecasting. In *Handbook of Meteorology*. Edited by F.A. Beny, E. Bollay and N.R. Beers. New York. McGraw-Hill. 1945. pp. 727-736.

89. PENMAN, H.L. Vegetation and hydrology. Oxford, Commonwealth Agricultural Bureaux. 1963. 124 p.
90. PERRIN, P. Curso de Metereología. Mérida, Venezuela. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, 1969. 237 p.
91. PETTERSSSEN, S. Weather analysis and forecasting. New York. McGraw-Hill. 1940. 503 p.
92. ———. Introduction to Meteorology. 2 ed. New York. McGraw-Hill. 1958. 327 p.
93. PRESSLAND, A.T. Rainfall partitioning by an arid woodland in southwestern Queensland. Australian Journal of Botany 21(2):235-245. Compendiado In Forestry Abstracts 36(2) p. 52. 1973. Ref. No. 561
94. REIGNER, I.C. Evaluation of the trough-type rain gage. U.S. Forest Service Research. Note N.E. 20. 1964. 4 p.
95. REMIERAS, G. Tratado de Hidrología Aplicada. 2 ed. Barcelona. Editores Técnicos Asociados. 1974. 515 p.
96. RICHARDS, P.W. The tropical rain forest. Cambridge University Press. 1940. 450 p.
97. ———; TANSLEY, A.G. and WATT, A.S. The recording of structure, life form and flora of tropical forest communities as a basis for their classification. Journal of Ecology 28:224-239. 1940.
98. RUTTER, A.J. An analysis of evaporation from a stand of Scots pine. In Sopper, W.E. and Lull, H.W. eds. Forest Hydrology; Proceedings of a National Science Foundation Advanced Science Seminar. Oxford Pergamon Press. 1967. pp. 403-417.
99. RUTTER, A.J., KERSHAW, A.R., ROBINS, C.P. and MORTON, J.A. A predictive model of rainfall interception in forest. I. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. Agricultural Meteorology 9(5/6):367-384. 1971/1972.
100. SANTOS, H. y ABRANTES, D. The influence on precipitation of a cover of Cryptomesia japonica. Estud. Inform. Serv. Flor. Aguíc, Portugal. No. 145-c3. 1961. 8 p. Compendiado In Forestry Abstracts 23(2) p. 178. 1962. Ref. No. 1511.
101. SHAW, A.H.K. Vegetation of Angola. Journal of Ecology 35:23-48. 1947.
102. SHURE, D.J. and LEWIS, A.J. Dew formation and stem flow on common ragweed (Ambrosia artemissifolia) Ecology 34(5):1152-1155. 1973.

103. SLAYTER, R.O. Absorption of water from atmospheres of different humidity and its transport through plants. *Australian Journal of Biological Science* 9:552-558. 1956.
104. SPURR, S.H. *Forest ecology*. New York, Ronald Press, 1964. 352 p.
105. STONE, E.C. and FOWELLS, H.A. Survival value of dew under laboratory conditions with Pinus ponderosa. *Forest Science* 1(3):183-188. 1955.
106. SUGDEN, A. and ROBINS, J.R. Aspects of the ecology of vascular epiphytes in a Colombian cloud forest. *Biotropica* 11(3):173-188. 1975.
107. TOSI, et. al. *Forest environments in tropical life zones*. Pergamon Press. Oxford. 1971. 747 p.
108. TOSI, J.A. Algunas relaciones del clima con el desarrollo económico en los trópicos. In *El uso de Normas Ecológicas para el Desarrollo en el Trópico Húmedo Americano*, Caracas, Venezuela. 1974. pp. 55-82.
109. TRICART, J. *Le modelé des régions chaudes: forets et savanes*. Paris, Francia. Société d'enseignement supérieur. s.f. 322 p.
110. TROJER, H. Fundamentos para una zonificación meteorológica del trópico y especialmente de Colombia. *Cenicafé, Colombia* 10(8):289-373. 1959.
111. TWOMEY, S. Precipitation by direct interception of cloud water. *Weather* 12(4):120-122. 1957.
112. VAUGHAM, R.E. and WIEHE, P.O. Studies on the vegetation of Mauritius. II The effect of environment on certain features of leaf structure. *Journal of Ecology* 27(2):263-281. 1939.
113. VED', I.P. Horizontal precipitation in the Crimea Mountains. *Priroda*. Moscú. 1:88-9. 1968. Compendiado In *Forestry Abstracts* 29(4) p. 585. 1968. Ref. No. 5035.
114. VOGELMANN, H.W. Fog precipitation in the cloud forest of Eastern Mexico. *BioScience* 23(2):96-100. 1973.
115. VOGELMANN, H.W., SICCAMA, T., LEEDY, D., OVITT, D. Precipitation from fog moisture in the Green Mountains of Vermont. *Ecology* 49(6): 1205-1209. 1968.
116. VORONKOV, N.A. Elements of moisture circulation in forest catchments. In *Proceedings of the Joint FAO/USSR. International Symposium on Forest Influences and Watershed Management*. Moscow. U.S.S.R. 1970. pp. 101-108.

117. VOTH, P.D. Conduction of rainfall by plant stem in a tropical rainforest. *Botanical Gazette* 101:328-340. 1939.
118. WAGNER, P.L. Natural vegetation of middle America. s.f. fotocopiado. 10 p.
119. WAISEL, Y. Ecological studies on *Tamarix aphylla*. *Phyton*, Buenos Aires 15(1):7-28. 1960. Compendiado In *Forestry Abstracts* 23(3). p. 380. 1962. Ref. No. 3265.
120. WALTER, H. Vegetation of the earth. New York. Springer-Verlag. 1973. 237 p.
121. WEAVER, P.L. Cloud moisture interception. *Caribbean Journal of Science*. 12(3-4):124-144. 1972.
122. _____, BYER, M.D. and BRUCK, D.L. Transpiration rates in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Biotropica* 5(2):123-133. 1973.
123. WEAVER, P.L. Ecological aspects and value of dwarf forest vegetation to Puerto Rico. Instituto of Tropical Forestry, Río Piedras, Puerto Rico, s.f. 14 p.
124. WENT, F.W. Fog mist, dew and other sources of water. In *Yearbook of Agriculture*. U.S.D.A. Dep. of Agric. pp. 103-109. 1955.
125. WICHT, C.L. Volumetric determination of rainfall in hydrological research. In: Inter. African Conference on Hydrology. Nairobi. Commission for Technical Cooperation in Africa South of the Sahara. 1961. pp. 94-99.
126. WIERSUM, K.F. Introduction to principles of forest hydrology and erosion. Padjadjaran, Bandung, Indonesia. Lembaga. Ekology Universities. 1979. 76 p.
127. WILLIS, G.L., BOURDO, E.A. and CROWTHER, C.R. Throughfall and stemflow in northern hardwoods forest. *Research Notes*. Forestry Center. Michigan Technological University Report No. 16. 12 p. 1975. Compendiado In *Forestry Abstracts* 38(11) p. 561. 1977. Ref. 5571.
128. ZADROGA, F. Some preliminary observations on the hydrologic importance of a montane cloud forest area of Costa Rica. Paper prepared for the International Conference on Watershed Management and Agricultural Land Development. IITA, Nigeria. 1979. 150 p.
129. ZAMBRANA, H.A. Comparación de la intercepción de lluvia en dos tipos de bosques tropicales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1975. 61 p.
130. ZINKE, P.J. Forest interception studies in the United States. In Sopper, N.W. and Lull, H.W. eds. *Forest hydrology; Proceedings of a National Science Foundation Advanced Science Seminar*. Oxford, Pergamon Press. 1967. pp. 137-161.

APENDICE A

(CUADROS)

CUADRO 1.A. Precipitación y agua del dosel en un bosque Muy Húmedo
Premontano en Balalaica, por parcela, según resumen
semanal: del 19 de julio de 1980 al 17 de enero de 1981.

| SEMANA | PRECIPITACION EN L/100 m ² | AGUA DEL DOSEL EN L/100 m ² | | |
|--------|---|--|------------|------------|
| | | P A R C E L A | | |
| | | A | B | C |
| 1 | 8.480 | 6.824,693 | 7.531,384 | 7.575,854 |
| 2 | 3.870 | 3.138,074 | 3.582,840 | 4.571,210 |
| 3 | 1.200 | 914,727 | 1.012,159 | 1.260,268 |
| 4 | 6.570 | 5.139,522 | 6.291,069 | 6.696,167 |
| 5 | 6.460 | 5.584,968 | 6.095,625 | 6.212,001 |
| 6 | 7.220 | 5.638,649 | 6.202,020 | 5.880,800 |
| 7 | 6.560 | 5.510,105 | 6.439,230 | 6.399,690 |
| 8 | 7.500 | 6.666,550 | 7.323,817 | 7.017,425 |
| 9 | 4.320 | 3.582,375 | 3.879,351 | 3.928,769 |
| 10 | 17.650 | 17.587,475 | 17.785,714 | 17.993,269 |
| 11 | 6.380 | 5.263,094 | 5.959,869 | 6.177,311 |
| 12 | 5.610 | 5.169,174 | 5.539,813 | 4.922,082 |
| 13 | 340 | 474,416 | 563,371 | 662,206 |
| 14 | 4.630 | 4.047,374 | 4.872,663 | 4.887,489 |
| 15 | 4.840 | 4.388,319 | 5.015,977 | 4.719,466 |
| 16 | 4.600 | 5.099,988 | 5.243,302 | 5.505,219 |
| 17 | 6.140 | 6.864,228 | 6.523,241 | 6.310,742 |
| 18 | 7.060 | 6.009,289 | 6.109,777 | 6.745,624 |
| 19 | 9.910 | 10.491,545 | 10.540,964 | 11.094,451 |
| 20 | 6.260 | 5.783,243 | 5.918,723 | 6.689,732 |
| 21 | 26.680 | *** | *** | *** |
| 22 | 41.250 | *** | *** | *** |
| 23 | 10.500 | 10.999,905 | 10.970,905 | 12.008,693 |
| 24 | 5.700 | 7.338,646 | 9.068,293 | 8.895,328 |
| 25 | 850 | 935,028 | 1.062,498 | 1.215,695 |
| 26 | 10.360 | 13.461,597 | 15.062,756 | 12.767,991 |

*** Datos perdidos debido a derrumbes en el camino

CUADRO 2.A. Precipitación y escorrentía de tallos en un bosque Muy Húmedo Premontano en Balalaica, por parcela, según resumen semanal: del 19 de julio de 1980 al 17 de enero de 1981

| SEMANA | PRECIPITACION EN L/100 m ² | ESCORRENTIA DE TALLOS EN L/100 m ² | | |
|--------|---|---|--------|--------|
| | | P A R C E L A | | |
| | | A | B | C |
| 1 | 8.480 | 36,270 | 52,595 | 26,575 |
| 2 | 3.870 | 2,490 | 10,850 | 9,060 |
| 3 | 1.200 | 1,840 | 3,990 | 1,160 |
| 4 | 6.570 | 9,020 | 36,770 | 37,000 |
| 5 | 6.460 | 18,970 | 33,010 | 39,500 |
| 6 | 7.220 | 21,710 | 30,070 | 31,300 |
| 7 | 6.560 | 25,505 | 39,280 | 38,900 |
| 8 | 7.500 | 21,354 | 42,790 | 27,700 |
| 9 | 4.320 | 7,365 | 16,755 | 14,500 |
| 10 | 17.650 | 62,320 | 76,970 | 52,800 |
| 11 | 6.380 | 12,885 | 34,320 | 15,300 |
| 12 | 5.610 | 20,975 | 29,325 | 10,800 |
| 13 | 340 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 14 | 4.630 | 4,530 | 18,520 | 18,500 |
| 15 | 4.840 | 11,980 | 27,070 | 23,400 |
| 16 | 4.600 | 10,325 | 28,995 | 9,900 |
| 17 | 6.140 | 25,050 | 42,295 | 24,900 |
| 18 | 7.060 | 21,075 | 34,810 | 24,000 |
| 19 | 9.910 | 31,789 | 57,930 | 44,600 |
| 20 | 6.260 | 30,130 | 35,380 | 34,000 |
| 21 | 26.680 | *** | *** | *** |
| 22 | 41.250 | *** | *** | *** |
| 23 | 10.500 | 24,200 | 33,150 | 39,000 |
| 24 | 5.700 | 36,86 | 36,28 | 37,000 |
| 25 | 850 | 0,000 | 2,225 | 2,500 |
| 26 | 10.360 | 58,218 | 63,960 | 72,000 |

*** Datos perdidos debido a derrumbes en el camino.

CUADRO 3.A. Agua de la neblina captada por las arpas, en Balalaica, por estación, según resumen semanal: del 19 de julio de 1980 al 17 de enero de 1981

| SEMANA | AGUA DE LA NEBLINA CAPTADA POR LAS ARPAS EN L/100 m ² | | |
|--------|---|--------|-------|
| | ESTACION | | |
| | A | B | C |
| 1 | 1,059 | 1,371 | 0,966 |
| 2 | 1,641 | 0,735 | 0,387 |
| 3 | 0,177 | 0,174 | 0,108 |
| 4 | 1,959 | 2,130 | 0,189 |
| 5 | 2,160 | 2,934 | 0,375 |
| 6 | 1,920 | 3,396 | 0,516 |
| 7 | 2,847 | 2,769 | 0,288 |
| 8 | 2,775 | 2,676 | 0,546 |
| 9 | 0,924 | 0,693 | 0,138 |
| 10 | 4,950 | 4,095 | 0,909 |
| 11 | 1,314 | 1,914 | 0,558 |
| 12 | 1,725 | 1,404 | 0,303 |
| 13 | 0,039 | 0,012 | 0,006 |
| 14 | 0,276 | 0,270 | 0,252 |
| 15 | 1,977 | 0,624 | 0,390 |
| 16 | 2,352 | 0,372 | 0,054 |
| 17 | 3,378 | 0,555 | 0,633 |
| 18 | 1,881 | 1,335 | 0,123 |
| 19 | 6,120 | 1,830 | 1,788 |
| 20 | 3,597 | 1,020 | 0,594 |
| 21 | 14,061 | 6,426 | 1,452 |
| 22 | 30,285 | 29,241 | 3,513 |
| 23 | 2,070 | 0,456 | 0,321 |
| 24 | 9,462 | 4,221 | 0,870 |
| 25 | 1,110 | 1,110 | 0,000 |
| 26 | 16,245 | 14,211 | 2,511 |

CUADRO 4.A. Semanas durante las cuales se produjo pérdida por intercepción normal en las tres parcelas A, B y C.

| Semana No. | Precipitación en L/100 m ² | Agua del dosel en L/100 m ² * | Escorrentías de tallos en L/100 m ² * | Pérdida por Intercepción en L/100 m ² * | Pérdida por intercepción como % de la precipitación |
|------------|---------------------------------------|--|--|--|---|
| 1 | 8.480,000 | 7.310,644 | 38,480 | 1.130,876 | 13,336 |
| 5 | 6.460,000 | 5.964,198 | 30,493 | 465,308 | 7,203 |
| 6 | 7.220,000 | 5.907,156 | 27,693 | 1.285,150 | 17,779 |
| 7 | 6.560,000 | 6.116,342 | 34,562 | 409,097 | 6,236 |
| 8 | 7.500,000 | 7.002,597 | 30,615 | 466,788 | 6,224 |
| 9 | 4.320,000 | 3.796,832 | 12,873 | 510,295 | 11,812 |
| 10 | 6.380,000 | 5.800,091 | 28,835 | 559,075 | 8,763 |
| 11 | 5.610,000 | 5.210,356 | 20,367 | 379,277 | 6,761 |
| 18 | 7.060,000 | 6.288,230 | 26,628 | 764,846 | 10,834 |
| TOTALES | 59.590,000 | 53.396,446 | 250,492 | 5.970,712 | 10,019 |

*Promedios de las parcelas A, B y C.

CUADRO No. 5.A. Semanas durante las cuales se produjo aporte neto de agua por intercepción horizontal en las tres parcelas A, B y C.

| Semana No. | Precipitación en L/100 m ² | Agua del dosel en L/100 m ² * | Escurrentia de lloos en L/100 m ² * | Aporte de agua en L/100 m ² * | Aporte de agua como % de la precipitación |
|----------------|---------------------------------------|--|--|--|---|
| 12 | 17.650,000 | 17.755,579 | 64,030 | 236,226 | 1,338 |
| 13 | 340,000 | 566,664 | 0,00 | 226,664 | 66,665 |
| 16 | 4.600,000 | 5.282,836 | 16,407 | 699,243 | 15,201 |
| 17 | 6.140,000 | 6.566,070 | 30,748 | 456,809 | 7,439 |
| 19 | 9.910,000 | 10.708,986 | 44,773 | 843,759 | 8,514 |
| 23 | 10.500,000 | 10.975,846 | 32,117 | 859,851 | 8,189 |
| 24 | 5.700,000 | 8.434,089 | 36,713 | 2.770,802 | 48,610 |
| 25 | 850,000 | 1.031,199 | 1,575 | 219,315 | 25,000 |
| 26 | 10.360,000 | 14.097,448 | 64,726 | 3.802,174 | 36,701 |
| TOTALES | 66.050,000 | 75.451,717 | 291,089 | 10.114,843 | 15,314 |

*Promedio de parcelas A, B y C.

CUADRO No. 6.A. Semanas durante las cuales los procesos de intercepción normal y horizontal variaron entre las parcelas

| SEMANA No. | PRECIPI- TACION | P A R C E L A S | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------|-----------------|--------|--------------|-----------|--------|------------|-----------|--------|------------|----|----|------------|---|--|
| | | A | | | | | | B | | | | | | C | |
| | | Pt | Ps | Pg-(Pt + Ps) | Pt | Ps | Pg-(Pt+Ps) | Pt | Ps | Pg-(Pt+Ps) | Pt | Ps | Pg-(Pt+Ps) | | |
| 2 | 3.870,000 | 3.138,074 | 2,490 | + 729,436 | 3.582,840 | 10,850 | +276,310 | 4.571,210 | 9,060 | -710,270 | | | | | |
| 3 | 1.200,000 | 914,727 | 1,840 | + 283,430 | 1,012,159 | 3,990 | +183,851 | 1,260,268 | 1,160 | - 61,428 | | | | | |
| 4 | 6.570,000 | 5.139,522 | 9,020 | +1,421,459 | 6.291,069 | 36,770 | +242,161 | 6.696,167 | 37,000 | -126,157 | | | | | |
| 14 | 4.630,000 | 4.047,374 | 4,530 | + 578,096 | 4.872,663 | 18,520 | -261,182 | 4.887,489 | 18,500 | -275,989 | | | | | |
| 15 | 4.840,000 | 4.388,319 | 11,980 | + 439,701 | 5.015,977 | 27,070 | -203,047 | 4.719,466 | 23,400 | + 97,134 | | | | | |
| 20 | 6.260,000 | 5.783,243 | 30,130 | + 446,627 | 5.918,743 | 35,380 | +305,877 | 6.689,732 | 34,000 | -463,732 | | | | | |

Notas: a) Todas las medidas en L/100m²

b) Los signos - y + representan ganancia neta por intercepción horizontal y pérdidas por intercepción normal, respectivamente.

c) Pg = precipitación; Pt = agua del dosel; Ps = escorrentía de los tallos

APENDICE B
(CALCULOS)

Sea "E" el índice de eficiencia relativa de captación definido con un índice global así:

$$E = \frac{\text{agua colectada por la vegetación}}{\text{agua colectada por el arpa}}$$

para un evento dado; entonces:

agua colectada por la vegetación = E x agua colectada por el arpa (Ia). El agua total sobre la cobertura vegetal "X" será:

$$X = \text{Precipitación (Pg)} + E \times \text{agua colectada por el arpa (Ia)}.$$

Reemplazando en la ecuación de regresión del agua del dosel sobre la precipitación:

$$Y = 1,045 X - 196,109$$

se tiene:

$$Y = 1,045 (Pg + E \times Ia) - 196,109$$

donde: Y = agua del dosel

Pg = Precipitación

Ia = Agua colectada por el arpa

E = Índice de eficiencia relativa de captación de la vegetación y el arpa

FECHA 2 de agosto de 1980

HORAS: 15 - 18

ARPA Y PARCELA A

$$P_g = 8,4 \text{ mm} = 840 \text{ 1/100 m}^2$$

$$I_a = 5,0 \text{ mm} = 15 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Y = 706.686 \text{ 1/100 m}^2$$

X = agua arriba del bosque

Y = agua del dosel

$$Y = 1,045 X - 196,109$$

$$706,686 = 1,045 (840) + 15 E) - 196,109$$

$$706,686 = 877,8 + 15,675 E - 196,109$$

$$E = \underline{1,595}$$

ARPA Y PARCELA B

$$P_g = 8,4 \text{ mm} = 840 \text{ 1/100 m}^2$$

$$I_a = 5,0 \text{ mm} = 15 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Y = 716,569$$

$$Y = 1,045 X - 196,109$$

$$716,569 = 1,045 (840 + 15 E) - 196,109$$

$$716,569 = 877,8 + 15,675 E - 196,109$$

$$E = \underline{2,225}$$

FECHA: 10 de setiembre de 1980

HORAS: 12 - 17

ARPA Y PARCELA A

$$Pg = 35,1 \text{ mm} = 3510 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Ia = 170,4 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Y = 3755,814$$

$$Y = 1,045 X - 106,109$$

$$3755,814 = 1,045 (3510 + 170,4 E) - 196,109$$

$$3755,814 = 3667,950 + 178,068 E - 196,109$$

$$E = 1,595$$

ARPA Y PARCELA B

$$Pg = 35,1 \text{ mm} = 3510 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Ia = 123,9 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Y = 3642,946$$

$$Y = 1,045 X - 196,109$$

$$3642,946 = 1,045 (3510 + 123,9 E) - 196,109$$

$$3642,946 = 3667,950 + 129,476 E - 196,109$$

$$E = 1,322$$

FECHA: 9 de octubre de 1980

HORAS: 13 - 18

ARPA Y PARCELA A

$$P_g = 15,0 \text{ mm} = 1500 \text{ l/100 m}^2$$

$$I_a = 15,0 \text{ l/100 m}^2$$

$$Y = 1393,605$$

$$Y = 1,045 x - 196,109$$

$$1393,605 = 1,045 (1500 + 15 E) - 196,109$$

$$1393,605 = 1567,5 + 16,675 E - 196,109$$

$$\underline{E = 1,333}$$

ARPA Y PARCELA B

$$P_g = 15,0 \text{ mm} = 1500 \text{ l/100 m}^2$$

$$I_a = 16,8 \text{ l/100 m}^2$$

$$Y = 1403,488$$

$$Y = 1,045 x - 196,109$$

$$1403,488 = 1,045 (1500 + 16,8 E) - 196,109$$

$$1403,488 = 1567,5 + 17,556 E - 196,109$$

$$\underline{E = 1,910}$$

FECHA: 8 de octubre de 1980

HORAS: 12 - 16

ARPA Y PARCELA A

$$Pg = 16,6 \text{ mm} = 1660 \text{ l}/100 \text{ m}^2$$

$$Ia = 45,9 \text{ l}/100 \text{ m}^2$$

$$Y = 1601,163$$

$$Y = 1,045 X - 196,109$$

$$1601,163 = 1,045 (1660 + 45,9 E) - 196,109$$

$$1601,163 = 1734,7 + 47,966 E - 196,109$$

$$E = 1,305$$

ARPA Y PARCELA B

$$Pg = 16,6 \text{ mm} = 1660 \text{ l}/100 \text{ m}^2$$

$$Ia = 39,6 \text{ l}/100 \text{ m}^2$$

$$Y = 1606,106$$

$$Y = 1,045 X - 196,109$$

$$1606,106 = 1,045 (1660 + 39,6 E) - 196,109$$

$$1606,106 = 1734,7 + 41,382 E - 196,109$$

$$E = 1,631$$

FECHA: 21 de octubre de 1980

HORAS: 14 - 17

ARPA Y PARCELA A

$$Pt = 17,3 \text{ mm} = 1730 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Ia = 3,0 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Y = 1615,988$$

$$Y = 1,045 x - 196,109$$

$$1611,047 = 1,045 (1730 + 3,0 E) - 196,109$$

$$1611,047 = 1807,85 + 3,135 E - 196,109$$

$$E = 1,355$$

ARPA Y PARCELA B

$$Pt = 17,3 \text{ mm} = 1730 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Ia = 2,3 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Y = 1615,988 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Y = 1,045 x - 196,109$$

$$1615,988 = 1,045 (1730 + 2,3 E) - 196,109$$

$$1615,988 = 1807,85 + 2,4 E - 196,109$$

$$E = 1,796$$

FECHA: 16 de noviembre de 1980

HORAS: 15 - 19

ARPA Y PARCELA A

$$Pg = 37,2 \text{ mm} = 3720 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Ia = 77,7 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Y = 3795,349 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Y = 1,045 x - 196,109$$

$$3795,349 = 1,045 (3720 + 77,7 E) - 196,109$$

$$3795,349 = 3887,4 + 81,197 E - 196,109$$

$$E = 1,281$$

ARPA Y PARCELA B

$$Pg = 37,2 \text{ mm} = 3720 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Ia = 73,2 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Y = 3834,884$$

$$Y = 1,045 x - 196,109$$

$$3834,884 = 1,045 (3720 + 73,2 E) - 196,109$$

$$3834,884 = 3887,4 + 76,494 E - 196,109$$

$$E = 1,877$$

FECHA: 16 de diciembre de 1980

HORAS: 12 - 16

ARPA Y PARCELA A

$$Pg = 7,0 \text{ mm} = 700 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Ia = 30,0 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Y = 583,139$$

$$Y = 1,045 x - 196,109$$

$$583,139 = 1,045 (700 + 30 E) - 196,109$$

$$583,139 = 731,5 + 31,35 E - 196,109$$

$$E = 1,523$$

ARPA Y PARCELA B

$$Pg = 7,0 \text{ mm} = 700 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Ia = 33,6 \text{ 1/100 m}^2$$

$$Y = 593,023$$

$$Y = 1,045 x - 196,109$$

$$593,023 = 1,045 (700 + 33,6 E) - 196,109$$

$$593,023 = 731,5 + 35,112 E - 196,109$$

$$E = 1,715$$

APENDICE C

(FIGURAS)

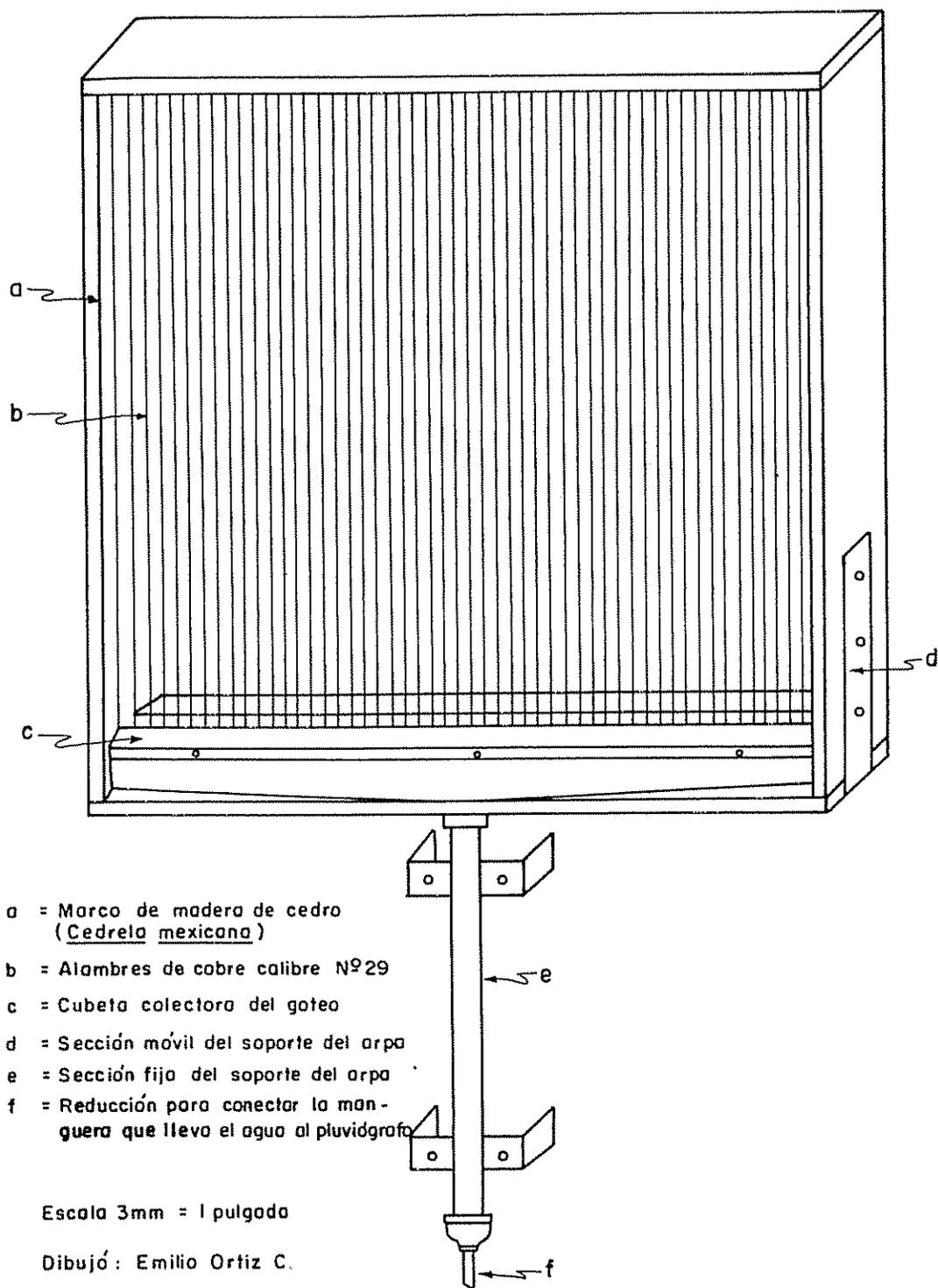


Figura 1 C. Arpa de alambre para estudio de intercepción horizontal según diseño de Cáceres (14).