

LIXIVIACION DE POTASIO, MAGNESIO Y CALCIO DEL FOLLAJE DE PLANTAS
DE CACAO POR EFECTO DE UNA LLUVIA ARTIFICIAL

Por



MARIO RODRIGUEZ RODRIGUEZ

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Turrialba, Costa Rica

Junio, 1965

LIXIVIACION DE POTASIO, MAGNESIO Y CALCIO DEL FOLLAJE DE PLANTAS
DE CACAO POR EFECTO DE UNA LLUVIA ARTIFICIAL

Tesis

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

de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O. E. A.

Aprobada:



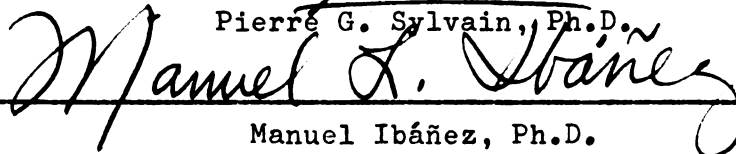
Ludwig Müller, Ph.D.

Consejero



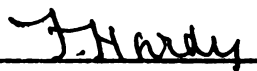
Pierre G. Sylvain, Ph.D.

Comité



Manuel Ibáñez, Ph.D.

Comité



Fredrick Hardy, Profesor

Comité

Junio de 1965

a mis padres

a mi esposa

a mis hijos

AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar sus agradecimientos al Consejero Principal Dr. Ludwig Müller, cuya valiosa ayuda y acertada dirección hicieron posible la ejecución de esta tesis, y a quién pertenecen muchas de las ideas originales de este trabajo. A los miembros del Comité Consejero, Drs. Pierre G. Sylvain, Manuel Ibáñez y, al profesor Frederick Hardy por sus asesoramientos y difusión de muchos conocimientos básicos. A los Ings. Fermin Balerdi y Rufo Bazán por sus sugerencias en el trabajo de laboratorio e invernadero. Al profesor Steen Justesen, por su ayuda en los análisis estadísticos e interpretación de los resultados experimentales.

Al I.I.C.A., a través de su Director, que otorgó la beca y ayuda financiera para la ejecución de este trabajo.

A la Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba (Facultad de Ciencias Agronómicas), por haberle brindado la oportunidad de realizar estudios post-graduados.

A los compañeros de estudio y miembros del personal del I.I.C.A. que en una u otra forma le prestaron su gentil colaboración.

BIOGRAFIA

El autor nació en el Departamento de Cochabamba, República de Bolivia, en el año 1930.

Realizó sus estudios universitarios en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia, graduándose de Ingeniero Agrónomo en 1963. En junio del mismo año fue nombrado profesor en la Facultad de Ciencias Agronómicas.

Realizó sus estudios post-graduados en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, desde octubre de 1963 hasta junio de 1965, mediante una beca concedida por el I.I.C.A.

TABLA DE CONTENIDO

	<u>Página</u>
Lista de Cuadros	
Lista de Figuras	
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	4
I. Ocurrencia general de la lixiviación en la naturaleza....	11
II. Factores que influyen en la lixiviación	13
A. Factores internos	13
1. Tipo y naturaleza de la planta	13
2. Edad fisiológica de las hojas	13
3. Características de las hojas.....	14
4. Estado nutricional de la planta	14
5. Clase de nutrimentos lixiviados.....	15
6. Desórdenes fisiológicos.....	16
B. Factores externos	17
1. Aplicación de insecticidas y fungicidas.....	17
2. Luz-oscuridad	18
3. Temperatura	18
4. Duración del período de lixiviación	19
5. Intensidad y cantidad de lluvia	20
6. Heridas	20
7. Rocío	21
8. Estado de fertilidad del ambiente radical.....	21
III. Métodos de lixiviación	21
A. Inmersión	21
B. Sacudimiento mecánico.....	22
C. Aspersión	22
D. Inyección de agua	22
MATERIALES Y METODOS	23
I. Características del lugar donde se llevaron a efecto los experimentos.....	23
II. Preparación del material vegetal usado	23
III. Descripción del aparato usado para la lixiviación de la planta	24

	<u>Página</u>
A. Sistema de atomizadores.....	26
B. Cámara de lixiviación	27
C. Columna de resina	27
D. Bomba plástica centrífuga	28
E. Tanque regulador	29
F. Otros accesorios	29
IV. Procedimiento experimental	30
V. Análisis químico del material vegetal	32
VI Evaluación de los datos obtenidos	33
RESULTADOS	35
I. Influencia del ciclo luz-oscuridad.....	35
II. Influencia de la edad fisiológica de las hojas.....	36
III. Influencia de la duración del período de lixiviación	42
IV - Análisis químico del material vegetal	46
DISCUSION	50
CONCLUSIONES	57
RESUMEN	60
SUMMARY	62
LITERATURA CITADA.....	64

LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro N^o</u>		<u>Página</u>
1	Influencia del ciclo luz-oscuridad en la pérdida de nutrimentos por lixiviación del follaje de plantas de cacao	35
2	Influencia de la edad fisiológica de las hojas en la pérdida de nutrimentos por lixiviación de plantas de cacao comenzando por las hojas viejas	38
3	Influencia de la edad fisiológica de las hojas en la pérdida de nutrimentos por lixiviación de plantas de cacao, comenzando por las hojas jóvenes	40
4	Pérdida de nutrimentos del follaje de plantas de cacao durante las tres primeras horas de lixiviación (los datos son promedios de 5 plantas).....	42
5	Pérdida de los nutrimentos del follaje de plantas de cacao durante varios períodos de lixiviación (los datos son promedios de 5 plantas).....	43
6	Composición comparativa de las hojas de plantas sometidas a la lixiviación y plantas no sometidas a la lixiviación (Los datos son promedios de dos muestras)	48
7	Pérdida de los nutrimentos: K, Mg y Ca de plantas sometidas a la lixiviación por un tiempo de 24 horas. (Los datos son promedios de 5 plantas).....	49

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura Nº</u>		<u>Página</u>
1	Aparato usado para la lixiviación de la planta.....	25
2	Influencia de ciclo luz-oscuridad en las pérdidas de potasio magnesio y calcio por lixiviación del follaje de plantas de cacao	37
3	Influencia de la edad fisiológica de las hojas en las pérdidas de potasio, magnesio y calcio por lixiviación de plantas de cacao.....	39
4	Influencia de la edad fisiológica de las hojas en las pérdidas de potasio, magnesio y calcio por lixiviación de plantas de cacao	41
5	Influencia de la duración del período de lixiviación en las pérdidas de potasio, magnesio y calcio del follaje de plantas de cacao.....	45
6	Planta de cacao, unas 4 semanas después de someterla a la lixiviación	47
7	Hoja vieja de una planta de cacao, unas cuatro semanas después de someterla a la lixiviación. Notese la fina zona amarillenta entre la parte necrótica y el resto del limbo.....	47

INTRODUCCION

Los conceptos clásicos indican, que tanto las raíces como las hojas constituyen órganos de la planta que cumplen funciones especializadas; en efecto, las primeras están encargadas de la absorción de los nutrimentos inorgánicos y las segundas de la producción de nutrimentos orgánicos a través del proceso fotosintético. Tales conceptos antiguos, han sido hoy día alterados fundamentalmente en atención a que también el vástago, es decir, los tallos, ramas, flores, frutos y muy particularmente las hojas, pueden absorber nutrimentos inorgánicos a través de su superficie. La absorción de nutrimentos por la superficie foliar, constituye la de mayor importancia entre las citadas, conociéndose este fenómeno con el nombre de "absorción foliar".

Se ha llegado a determinar en varios casos, que el porcentaje de nutrimentos inorgánicos absorbidos en relación a la dosis aplicada puede ser mucho mayor en el caso de la fertilización foliar en comparación con la fertilización hecha al suelo, siendo de importancia esta práctica en la producción comercial de cultivos hortícolas.

Por otra parte, en el presente también ha sido establecido en forma general, que el vástago de la planta, muy particularmente las hojas, en condiciones apropiados sufren el fenómeno contrario a la absorción, es decir, pierden nutrimentos en contacto con rocíos acuosos, incluyendo la lluvia, ya sea en forma natural o artificialmente. Este fenómeno conocido con el nombre de "lixiviación" o "lavado de los nutrimentos de la planta" se considera como un proceso normal plenamente aceptado y comprobado por el uso moderno de radioisótopos.

De lo expuesto anteriormente, se demuestra que el vástago puede realizar dos fenómenos inversos la de absorción y la de pérdida de los nutrimentos en determinadas circunstancias.

Una de las varias formas de lixiviación constituye la pérdida de los nutrimentos del follaje de las plantas por la acción de la lluvia natural. Este fenómeno, y las otras formas de lixiviación, tienen su influencia sobre numerosos aspectos que a continuación se enumeran: 1) efectos sobre la calidad y valor nutritivo de los frutos, granos y follaje de los cultivos; 2) decremento del rendimiento económico de los cultivos cosechados; 3) formación, alteración del suelo y mantenimiento de la fertilidad del mismo; 4) como factor ecológico en la adaptación y formación de asociaciones de plantas en su medio ambiente nativo; 5) susceptibilidad al ataque de insectos, enfermedades, y aparición de ciertos desórdenes fisiológicos a causa de la alteración del contenido de los nutrimentos en la planta.

Hasta el presente poca atención se ha prestado a la importancia fisiológica del proceso de la lixiviación. Se sabe que este proceso asume cierta importancia en la regulación del mantenimiento del balance del contenido de los nutrimentos minerales y orgánicos dentro de la planta; es decir, la absorción foliar y la lixiviación constituyen dos importantes procesos en el control del metabolismo de las sales y la relación de la humedad de las plantas, bajo condiciones naturales de crecimiento.

En regiones de fuerte precipitación, es de imaginarse que el principal efecto deletéreo causado es la excesiva pérdida de nutrimentos del follaje de las plantas por la acción de la lixiviación. Por cierto que estos nutrimentos en la mayoría de los casos no son completamente recuperados por la misma planta, sino son fijados en forma inprovechable en el suelo, o son reabsorbidos por otras especies de plantas que viven en asociación. En otros casos son arrastrados a mayores profundidades del

suelo por la acción de las corrientes descendentes de agua con su consecuente pérdida para la planta. Esto ocurre por ejemplo con el fósforo, especialmente en suelos ácidos con una alta concentración de sales, de hierro y de aluminio solubles.

Por lo expuesto anteriormente, el presente trabajo fue diseñado para realizar estudios sobre algunos aspectos del proceso de lixiviación en plantas de cacao. Dichos estudios comprenden los siguientes puntos:

1. Evaluación del grado de susceptibilidad a la lixiviación de las plantas de cacao.
2. Análisis cuantitativos de los siguientes nutrimentos catiónicos lavados: potasio, magnesio y calcio y luego expresar tales pérdidas en miligramos por unidad de superficie foliar y por tiempo de lixiviación.
3. Evaluación de algunos factores que pueden afectar la pérdida de los nutrimentos inorgánicos: duración del período de lixiviación, edad fisiológica de las hojas, duración y reversión del período de luz y de oscuridad en relación con el incremento de las pérdidas de los nutrimentos en estudio.

REVISION DE LITERATURA

Las primeras referencias relativas al proceso de la lixiviación de las plantas datan desde hace más o menos 150 años. Uno de los primeros trabajos al respecto fue el del francés De Saussure en 1804, quien informó haber encontrado algunas sales alcalinas en el agua que estuvo en contacto con las hojas de una planta (5, 23, 29, 33, 35, 36).

Tukey Sr., y Tukey Jr. (38) indican que Mann y Wallace en 1925 observaron la presencia de pequeñas manchas de color castaño en las hojas de los árboles de manzano crecidos en el campo y no en los crecidos en el invernadero. Atribuyeron la presencia de dichas manchas a la pérdida de nutrimentos por lixiviación, debido a la acción de la lluvia. En efecto, ellos demostraron este fenómeno en el laboratorio, cuando sometieron hojas sanas y frescas de la misma planta a la lixiviación por la acción de una lluvia artificial con agua destilada, provocando la aparición de dichas manchas. Por otra parte, Spiekermann, también citado por los mismos autores, había observado una enfermedad en la papa caracterizada por el encrespamiento de las hojas, la misma que estaba asociada con un alto contenido de sales minerales; dicho fenómeno sólo se presentaba en regiones deficientes en lluvia y rocío.

Cholodny en 1932, citado por Tukey Sr. y Tukey Jr. (38) encontró azúcares en la lluvia artificial colectada bajo las plantas de trigo durante el desarrollo de los granos en estado de leche, después de que fueron sometidos a una lixiviación por un período de varios días. Las pérdidas de dichos azúcares causaron la reducción hasta en un 30% en el rendimiento de los granos. También los frutos carnosos, como la fresa y otros, son afectados seriamente en su calidad, cuando son remojados en

agua destilada por un período de 24 horas; sufren pérdidas de los azúcares, sustancias aromáticas y los pigmentos antocianinos, transformándose en productos insípidos, pobres en color y decididamente inferiores en calidad.

Long et al (18) indican que Will en 1955 encontró considerables cantidades de nutrimentos de K, Na, Ca, materia orgánica y pequeñas cantidades de N y P al analizar el agua de lluvia colectada bajo los árboles de pinos, abetos, robles, abedules y otros árboles forestales. Dichas pérdidas alcanzaron de 2 a 3 kilogramos por hectárea de K, Ca y Na durante un período de lixiviación de cuarenta días, particularmente del follaje de pinos y abetos.

Dalbro (8) informa sobre los resultados del análisis del agua de lluvia colectada durante un año bajo los árboles de manzano. La cantidad de los constituyentes lixiviados, excluyendo los encontrados en el agua de lluvia caída al aire libre, totalizan 27,5 Kg/Ha de K; 9 Kg/Ha de Na; 10,5 Kg/Ha de Ca y 7,4 Kg/Ha de materia orgánica equivalentes en KMnO_4 . Durante el mismo período las cantidades de nutrimentos depositados por la lluvia fueron: 1,7 Kg/Ha de K; 9,5 Kg/Ha de Na; 3,8 Kg/Ha de Ca y 4 Kg/Ha de materia orgánica equivalentes en KMnO_4 . El mismo autor considera que los componentes solubles lixiviados derivan de dos fuentes: una parte proviene del follaje de los árboles y la otra de las impurezas tales como los granos de polen, esporas de hongos, polvo adherido a la superficie de las hojas y tallos y excrementos de insectos y pájaros. Cuando los constituyentes derivan de los árboles, la cantidad total lixiviada será una función principalmente de la cantidad de precipitación porque es la lluvia la que extrae los nutrimentos de las hojas; en cambio, si los constituyentes derivan de las impurezas, la

cantidad transportada al suelo, será una función principalmente del tiempo. Por lo tanto, la mayor parte del K, Ca y materia orgánica provinieron de los árboles, en tanto que la mayor parte del Na provino de las impurezas de la atmósfera.

Guilbert y Mead (11) informan sobre las pérdidas de los constituyentes solubles del trébol (Medicago hispida) a la cual la sometieron primeramente a una deshidratación al sol y luego inmediatamente al proceso de lixiviación por la acción de la lluvia. Las pérdidas de dichos nutrimentos causaron una significativa reducción en la digestibilidad y palatabilidad de este forraje.

Guilbert, Mead y Jackson (12) sometieron al proceso de lixiviación varias plantas forrajeras, entre ellas: la avena, el trébol, la alfilaria (Erodium sp.) y un pasto (Bromus hordeaceus), causando considerables pérdidas desde 25 a 67% de los constituyentes minerales, considerados como indispensables para el ganado que se alimenta con ellos. El mayor porcentaje de pérdida correspondió al elemento Cl con 67 a 80%; en cambio, hubo un incremento en fibra cruda de 3 al 6%, cantidad que estaba relacionada con la pérdida del 10 al 20% del sólido total. Este incremento, así como las pérdidas de las sustancias minerales, causan un efecto depresivo en la digestibilidad de otros nutrientes, resultando además dificultosos de digerir, hecho que está comprobado porque cuando el ganado es alimentado con forrajes lixiviados, es necesario dotarles de un requerimiento extra de sales nutritivas.

Arens en 1934, citado por Tukey Jr. et al (36), indica que la hoja constituye un órgano activo de excreción, fenómeno que tiende a ajustar la planta a su medio ambiente. Este principio le indujo a dividir a las plantas en dos grandes grupos: primeramente aquéllos que se

caracterizan por contener altas concentraciones de sales, y aquéllas que no la tienen. Las plantas del primer grupo son tolerantes a las altas concentraciones de sal y por lo tanto están adaptadas a un clima continental más o menos árido, mientras que las del segundo grupo, que no son tolerantes a la sal, crecen mejor en climas marítimos donde la lluvia y el rocío remueven las sales en exceso por lixiviación. Lausberg en 1935, citado por Stenlid (26), confirma las suposiciones de Arens, aportando aún más, que tales pérdidas son mucho mayores por la cara superior de las hojas. Engel en 1939, citado por Dalbro (8), es contrario al principio de la excreción activa, sustentando en cambio que es mecanismo físico, el de la simple difusión de los nutrientes desde el interior de los tejidos foliares hacia afuera, al ponerse éstos en contacto con la humedad.

Wittwer y Teubner (40) comprobaron que la pérdida de los nutrimentos ocurre por simple difusión y también por el proceso de intercambio iónico con el H^+ y el HCO_3^- del agua de lluvia. Excepcionalmente las plantas correspondientes a la familia Plumbaginaceae y Frankeniaceae, normalmente pierden el exceso de sus sales minerales a través de unas glándulas especiales. Curtis (7) indica otra forma de pérdidas de los nutrientes por el proceso fisiológico de la gutación, por el cual las hojas sanas de una planta pierden agua en forma líquida a través de unos estomas especiales llamados hidátodos.

Esta agua realmente representa una disolución muy diluída tanto de sustancias orgánicas (por ejemplo azúcares, aminoácidos) como inorgánicas (por ejemplo (Ca, K, Mg)).

Usualmente el proceso de gutación ocurre cuando las condiciones del medio ambiente son tales, que la transpiración es reducida, ya sea

por el incremento de la humedad o el cierre de los estomas por disminución de la luz, y cuando el suelo suministra a la planta agua y nutrientes en abundancia. Luego, las gotas de la gutación pueden tomar tres caminos: 1) pueden rodar por la superficie de la lámina y caer al suelo; 2) puede evaporarse el agua de la gutación quedando pequeños depósitos de sales; las mismas incrementan por las continuas gutaciones; 3) en la mayoría de los casos, las gotas de la gutación pueden nuevamente ser reabsorbidos por la hoja, hecho que se llegó a comprobar al colocar cristales de rojo neutro en las gotas de la gutación en la hojas de plantas de maíz y calabaza, observándose al poco tiempo la formación de manchas rojas de una longitud de una a tres pulgadas en el interior del sistema vascular.

Stenlid (26) estableció la existencia de muchas posibles causas implicadas en la pérdida, en el contenido mineral de las plantas y órganos de la planta. Las más importantes de ellas las agrupa como sigue: 1) traslado de las sustancias nutritivas a otras partes de la planta; 2) efectos de lixiviación por la acción de la lluvia y el rocío; 3) efectos de lixiviación de las soluciones edáficas por la acción de la lluvia; 4) abscisión de las hojas, ramas, flores, frutos, etc., y liberación de las sustancias nutritivas desde las partes lesionadas o muertas; 5) secreción, gutación, exudación y además de la pérdida de gases desde diferentes partes de la planta.

En 1954, citado por Long et al (18), fue una de las primeras en usar los isótopos radioactivos en la detección de la pérdida de los nutrimentos lixivados. Sometió a la lixiviación, por un período de treinta días, plantas de tomate, de frijol, papa y maíz, causando pérdidas hasta del 11% de p^{32} , elemento previamente absorbido por la raíz.

Ella atribuyó tales pérdidas al lavado de las sales excretadas en la superficie foliar y a la disolución de aquellas sales presentes en los espacios intercelulares de los tejidos foliares.

Tukey Jr. et al (36) informan que la pérdida de los nutrimentos por lixiviación es compensada por una distribución desde otras partes de la planta y luego también por absorción a través de la raíz y traslado de estos nutrimentos a las hojas, reemplazando así los perdidos.

Tukey Jr, y Amling (30) usando las técnicas de los trazadores radioactivos, encontraron diferencias en la composición química de los tejidos vegetales de árboles de manzano y arándano (Vaccinium corymbosum), crecidas al aire libre y en invernadero, las cuales fueron sometidas a la lixiviación por la acción de la lluvia natural y el rocío artificial, fenómenos que son responsables de la pérdida de los nutrimentos.

Tukey Sr. y Tukey Jr. (38) demostraron en forma concluyente que la pérdida de los nutrimentos ocurre en la parte aérea de las plantas por el proceso de lixiviación. Tales pérdidas están relacionadas con los siguientes aspectos: 1) la elección del tiempo y las técnicas empleadas en el muestreo de las hojas para el análisis; 2) diferencias en la composición química con respecto a los nutrimentos, entre los cultivos crecidos en invernadero y en el campo; 3) enraizamiento de estacas bajo llovizna artificial; 4) efectos del lavado mediante inyecciones de agua, aspersión o irrigación; 5) susceptibilidad al ataque de insectos y enfermedades y a la aparición de ciertos desórdenes fisiológicos por una alteración en el contenido de los nutrimentos de la planta; 6) efectos sobre la calidad y valor nutritivo de las frutas, granos y follaje de los cultivos; 7) formación del suelo y mantenimiento de la fertilidad

del mismo; 8) adaptación, distribución y formación de asociaciones de plantas en su medio ambiente.

Crocomo y Menard (5) en sus investigaciones de lixiviación en plantas de café, que fueron sometidas a la acción de una lluvia artificial por un período de cinco horas, encontraron pérdidas de 10,5% de S^{32} , elemento previamente absorbido por la raíz; porcentaje que pertenece al grupo de los nutrimentos moderadamente lavados dentro la clasificación establecida por Tukey Jr., et al (36).

Tukey Jr. (28) utilizando la técnica de propagación de estacas bajo llovizna en diferentes especies de plantas como crisantemos, camote, frijol, cacao y poincetia (Euphorbia pulcherrima), provocó la lixiviación de los nutrimentos en dichas especies. Con el objeto de reemplazar los nutrimentos lavados, sugirió la aplicación de fertilizantes juntamente con la llovizna.

Mecklenburg y Tukey Jr. (20), en sus investigaciones con plantas jóvenes de frijol, colocadas en soluciones nutritivas conteniendo Ca^{45} y lixiviadas inmediatamente por la acción de una lluvia artificial durante 96 horas, llegaron a comprobar que la velocidad de absorción y traslado del Ca^{45} a los tallos y el follaje, fue muy grande en las plantas que fueron lixiviadas en comparación con las no-lixiviadas.

Tukey Jr. y Mecklenburg (31) estudiaron el fenómeno de la recirculación de los nutrimentos lixiviados, para determinar su distribución en la naturaleza y establecer más claramente sus implicaciones en la nutrición de las plantas. En sus experimentos al Ca^{45} , p^{32} y Sr^{89} fueron absorbidos por la raíz y el C^{14} absorbido como CO_2 por el follaje de plantas de calabaza; luego, sometidos a la lixiviación, los nutrimentos lavados fueron subsecuentemente reabsorbidos por las raíces y trasladados

a la parte aérea de varias especies de plantas, entre ellas el frijol, las que estuvieron creciendo por una generación completa con los nutrientes que recibieron desde las hojas de calabaza. Existe la posibilidad de que las plantas de frijol puedan absorber estos nutrientes lixiviados por sus raíces o también por su propio follaje; concluyen los autores indicando, que el proceso de lixiviación y la reabsorción de los nutrientes lavados tienen enorme importancia en la distribución de las sustancias caídas, en la estimulación y supresión de plantas benéficas, en la expansión de otras plantas, en la competición de plantas y en el desarrollo de asociaciones y vegetales.

Arens en 1950, citado por Tukey Jr. y Morgan (33), encontró que la pérdida de los nutrientes desde el follaje de las plantas, no siempre puede ser perjudicial y, más bien, hasta cierto punto resulta benéfico; así por ejemplo, la higuera (Ricinus communis) acumula concentraciones tóxicas de sales si crece en soluciones nutritivas; pero sobrevive cuando diariamente es inyectado con chorros de agua.

Tukey Jr. (29) informó que la lixiviación de las sustancias desde las hojas puede constituir un proceso muy importante en muchos casos en la determinación de la susceptibilidad de las plantas al ataque de enfermedades. En efecto, en el lixiviado de algunas plantas hay sustancias que inhiben el crecimiento de enfermedades producidas por hongos en el suelo. En otros casos algunas plantas normalmente pueden exudar estos inhibidores.

I. OCURRENCIA GENERAL DE LA LIXIVIACION EN LA NATURALEZA

Tukey Jr. (29) considera que hasta la fecha ~~han~~ sido estudiadas 125 especies de plantas, de las cuales pueden ser lixiviados los .

nutrimentos minerales y orgánicos por la acción de la lluvia, llovizna, rocío, tanto en condiciones naturales como en artificiales. De todos los estudios informados en la literatura, se concluye que la lixiviación es un fenómeno ampliamente distribuido en la naturaleza. Son numerosas las listas de plantas de diversas zonas climáticas, de las cuales los nutrimentos han sido lavados, en experimentos diseñados específicamente para estudiar la lixiviación. La siguiente es una lista de plantas en las que no están incluidas cerca de 90 especies estudiadas por Arens citado por Tukey Jr. y Morgan (33):

Bosques deciduos y árboles de sombra como: álamo, haya, abedul, avellano, tilo, arce, roble, sauce, nogal, etc.; bosques de coníferas: pino y pinabete o pruche y otros; árboles frutales deciduos como el manzano, cerezo, morera, duraznero, peral, ciruelo, etc. Frutales pequeños como la zarza, grosello negro, arándano, variedad de wides, frambueso y fresa; plantas tropicales y subtropicales: banano, cacao, café y naranjo dulce; plantas hortícolas: frijol, repollo, pepino, lechuga, ibisco, cebolla, guisante, papa, rábano, calabaza, remolacha, camote, tomate y acelga; granos, pastos y forrajes como cebada, maíz, avena, arroz, centeno, trigo, varias clases de pastos y otros; ornamentales herbáceos: begonia, crisantemo, coleus, violeta, antirrino y zinnia; plantas industriales: algodón, lino y tabaco. Plantas tropicales: higuera, acalypha y otras.

Para concluir, los mismos autores indican que hasta la fecha todavía no han sido encontradas plantas que no han dejado de perder nutrimentos al ser sometidas al proceso de lixiviación.

II. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA LIXIVIACION

Varios autores (18, 28, 29, 33, 35, 36) tienen demostrado que el proceso de lixiviación de las plantas constituye un fenómeno complejo, el cual depende de numerosos factores internos y externos, que a continuación se resumen.

A. Factores Internos. Son propios de la planta; comprenden los siguientes aspectos investigados hasta la fecha: el tipo y naturaleza de la planta, edad fisiológica de las hojas, características de la hoja, estado nutricional de la planta, clase de nutrimentos lixiviados y desórdenes fisiológicos.

1. Tipo y naturaleza de la planta. Existen diferencias marcadas en el grado de susceptibilidad a la lixiviación, no solamente entre las diferentes especies de plantas sino también en los cultivares de la misma especie; así por ejemplo, se demostró que las hojas del grosellero negro son menos susceptibles a la lixiviación que las del manzano, peral, ciruelo y vid. Por otra parte, la variedad Victoria de ciruelo es menos susceptible que las otras variedades de la misma especie (29).

2. Edad fisiológica de las hojas. Las hojas maduras y las que han llegado a la senectud, son más susceptibles a la lixiviación que las hojas jóvenes, aún a pesar de que estas últimas presentan una apariencia frágil y delicada (27). Tukey Jr. et al (36) con objeto de estudiar la edad fisiológica de las hojas, remojaron hojas de calabaza de dos y cuatro semanas de edad durante un tiempo de 24 horas. Las pérdidas para las hojas viejas fueron de 3,4% de Ca^{45} y para las hojas jóvenes de 2,3% de Ca^{45} . No obstante estos resultados, los autores indican que ambos grupos de hojas usadas en el experimento, se consideran como hojas

relativamente jóvenes. Tukey Jr. (29) explica que tales diferencias se deben a que las hojas jóvenes se humedecen con más dificultad que las viejas; por otra parte, las hojas jóvenes también están constituidas por tejidos en activo crecimiento, donde los nutrimentos son utilizados rápidamente e incorporados en formas no lixiviables. En cambio, en las hojas viejas comúnmente ocurren heridas y roturas, favoreciendo éstas la lixiviación; asimismo, las hojas viejas frecuentemente contienen exceso de nutrimentos que son llevados por la corriente transpiratoria, dando oportunidad a ser lixiviadas fácilmente (26, 35).

Ramann en 1912, citado por Tukey Jr. y Morgan (32), con respecto a la aparente pérdida de los nutrimentos en las hojas viejas, indica que existe una migración de los mismos a su punto de origen, aún más la escarcha al lesionar o matar a las hojas, también pueden estimular la migración de los nutrimentos desde las hojas viejas al tallo.

3. Características de las hojas. Se indican las siguientes características: la cutícula, capa de cera, pubescencia, hidátodos, plasmodesmo y grado de humedecimiento (35).

Tukey Jr. y Morgan (33) informan de sus investigaciones que las hojas de pera, naranjo dulce y remolacha, cuya superficie foliar son lisas y recubiertas con una capa de cera, son humedecidas con dificultad y por lo tanto son difícilmente lixiviadas. En cambio las hojas de banano, café, higuera, frijoles y calabaza, cuya superficie son planas y algunas de ellas pubescentes, se humedecen fácilmente y por lo tanto la lixiviación es rápida.

4. Estado nutricional de la planta. Las plantas que se encuentran en un estado nutricional óptimo son más susceptibles a la pérdida de nutrimentos por lixiviación que las plantas nutricionalmente

deficiente (33). Se ha establecido, con respecto a la pérdida en plantas nutricionalmente deficientes, que la lixiviación de los nutrimentos de las hojas no es justamente un mecanismo de rebozamiento por el cual las plantas pierden los nutrimentos solamente cuando el contenido está en exceso de los requeridos. Así hay información (36) contradictoria a la anterior, indicando que las plantas deficientes en nutrimentos minerales, son más susceptibles a la lixiviación que las plantas sanas; así por ejemplo las pérdidas del P^{32} en plantas deficientes en fósforo, fueron de 1,5%, mientras que las que crecieron en niveles normales de fósforo, solamente perdieron 0,09% de P^{32} . Este fenómeno se explica debido a que el P^{32} en las plantas normales es utilizado e incorporado rápidamente en las formas no lixiviables por los tejidos en crecimiento activo.

5. Clase de nutrimentos lixiviados. La pérdida de nutrimentos por lixiviación está relacionada directamente con la función de los mismos en los procesos metabólicos y en la forma en que ellos son incorporados dentro de la planta (21, 35).

Según la naturaleza de los nutrimentos lixiviados se ha dividido en dos grupos que son los orgánicos y los inorgánicos.

Una gran cantidad de materiales orgánicos, incluyendo azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos, son lixiviados desde el follaje de las plantas (29). Entre los azúcares se indican: fructosa, galactosa, glucosa, lactosa, rafinosa, sacarosa, sorbitol ó (manitol) y sustancias pécticas. Entre los aminoácidos se citan: alanina, arginina, asparagina, ácido aspártico, cisteína, glutamina, ácido glutámico, glicina, histidina, lisina, leucina, metionina, prolina, cerina, tirosina y valina. Entre los ácidos orgánicos se tiene: ácido ascórbico, cítrico,

fumárico, glicólico, láctico, maleico, málico, malónico, succínico, acónítico, adípico, pirúvico, tartárico y otros relacionados al ciclo de Krebs (23, 33, 35).

Con respecto a las sustancias inorgánicas se constató que todos los elementos esenciales tanto macro como micro nutrientes pueden ser lixiviados desde el follaje de las plantas (28, 33).

Tukey Jr., et al (36), establecieron una clasificación de acuerdo con la facilidad de lixiviación de los nutrientes minerales de hojas jóvenes por un tiempo de 24 horas de lluvia artificial: 1) Elementos fácilmente lixiviables como el Na^{24} y Mn^{54} ; 2) Elementos moderadamente lixiviables como el Ca^{45} , Mg^{28} , S^{35} , K^{42} , Sr^{90} y I^{90} ; 3) elementos difícilmente lixiviables: Fe^{55} , Zn^{65} , P^{32} y Cl^{36} . El elemento N puede ser lixiviado tanto en la forma orgánica como inorgánica (33).

6. Desórdenes fisiológicos. Las plantas que tienen desórdenes fisiológicos son más susceptibles a la pérdida de nutrientes por lixiviación que las plantas sanas. Así por ejemplo, fueron sometidas a la lixiviación por inmersión en agua destilada, por un tiempo de dos horas, las hojas de calabaza separadas y no separadas de la planta madre. Los resultados de las pérdidas fueron los siguientes: 4,8% de Ca, 23% de K y 1,7% de P, para las hojas separadas de la planta madre, versus 9,4% de Ca, 3,7% de K y 0,5% de P, para las hojas no separadas de la planta madre. Las pérdidas mayores de K y Ca para las hojas fijadas a la planta madre indican que existe un significativo reemplazo de tales elementos desde otras partes de la planta durante el proceso de la lixiviación. En cambio, con el elemento fósforo ocurre todo lo contrario, siendo las pérdidas mayores en las hojas separadas. Esto indica que este elemento se encuentra en su forma activa en los procesos

metabólicos en las hojas no separadas, mientras que en las hojas separadas y aún en las plantas intactas, dicho elemento se encuentra en una forma en que es rápidamente lixiviado. Si dichos procesos metabólicos son interrumpidos por cualquier causa, por ejemplo cuando las hojas son separadas de la planta madre, el fósforo puede ser más fácilmente lixiviado (36).

B. Factores externos. Son llamados también factores del medio ambiente y comprenden los siguientes: aplicación de insecticidas y fungicidas, luz-oscuridad, temperatura, duración del período de lixiviación, intensidad y cantidad de lluvia, heridas, rocío y estado de fertilidad del ambiente radical (18, 29, 32, 33, 35, 36).

1. Aplicación de insecticidas y fungicidas. Tukey Sr. y Tukey Jr. (38) indican que el control de plagas y enfermedades implica el uso de preparaciones comerciales conteniendo varias combinaciones de sustancias químicas, incluyendo aceites. La aplicación de estas soluciones al follaje de las plantas incrementa considerablemente la pérdida de los nutrimentos por lixiviación. Por otra parte, los residuos remanentes de las aspersiones en las frutas y el follaje también incrementan las pérdidas por lixiviación. Los agentes humectantes empleados para aumentar la efectividad de las aspersiones reducen las propiedades hidrofóbicas de la superficie foliar, especialmente de las hojas jóvenes, por lo tanto, incrementan considerablemente la pérdida de los nutrimentos. Además estos autores indican que la aplicación de las aspersiones comerciales en la mayoría de los cultivos, generalmente se efectúa en la primavera y principios de verano, precisamente épocas en que los requerimientos de nutrimentos de la planta son grandes, por consiguiente en este tiempo la pérdida de nutrimentos por lixiviación resulta crítica para la planta.

2. Luz-oscuridad. Tukey Jr. y Morgan (33) encontraron que la luz tiene muy poca o ninguna influencia en la lixiviación de la mayoría de los elementos minerales, pero sí tiene influencia en las pérdidas de S y P, las cuales son más grandes en la luz que en la oscuridad.

Tukey Jr., Wittwer y Tukey Sr. (37) observaron en sus investigaciones sobre la lixiviación de carbohidratos, del follaje de plantas de frijol variedad Contender relacionadas con alta intensidad de luz, que efectivamente las mayores pérdidas ocurrieron durante el día en comparación con la noche. Este fenómeno se debe a que un incremento en la radiación solar, estimula la actividad fotosintética de la hoja donde son elaborados los carbohidratos, sustancias que son solubles en agua, condición ésta que facilita la lixiviación. Por otra parte, también existe evidencia de que el aumento de luz incrementa el número de conexiones plasmodesmales desde las células a la superficie de las hojas, estableciendo las mismas, una vía fácil para la lixiviación de los carbohidratos.

3. Temperatura. Un aumento en la temperatura incrementa las pérdidas de algunos elementos minerales como el Ca, K, Rb y Sr; no así en el caso de los carbohidratos, P y S (33). Tukey Jr. y Morgan (32) informan de sus trabajos con grupos de plántulas de frijol crecidas en soluciones nutritivas conteniendo P^{32} lo siguiente: Un grupo fue colocado a temperaturas de $29^{\circ}C$ y de 29 a $43^{\circ}C$ en el día, temperaturas que causaron lesión en las hojas. En cambio el otro grupo se colocó a temperaturas de $21^{\circ}C$ en la noche y 29° en el día, temperaturas que no provocaron ninguna lesión. Luego, las hojas de ambos grupos de plantas fueron sometidas a la lixiviación por inmersión en agua destilada por un tiempo de 24 horas, provocándose las siguientes pérdidas: 58% de P^{32} para las hojas lesionadas y $0,2^5$ de P^{32} para las hojas no lesionadas.

Similares resultados fueron observados con los elementos Ca^{45} , Rb^{86} , Sr^{89} y S^{35} .

Los mismos autores realizaron otro experimento con plantas de crisantemo, colocadas durante la noche al aire libre donde la temperatura llegaba a -1°C ; estas plantas subsecuentemente mostraron síntomas de ligeras lesiones causadas por la formación de escarcha. Otro grupo de plantas se colocó a temperaturas de -3°C ; éstas mostraron síntomas de severas lesiones. Luego ambos grupos de plantas se sometieron a la lixiviación por aspersion de una llovizna por un tiempo de 24 horas. Las pérdidas fueron: 20% de K; 8,7% de Ca; 16% de Mg; 1,3% de N y 7% de P, del contenido total de las plantas severamente lesionadas; en cambio, las pérdidas fueron menores para las plantas ligeramente lesionadas.

4. Duración del período de lixiviación. Las pérdidas totales incrementan con la duración del período de lixiviación, siendo la intensidad de pérdidas mayor durante las primeras horas de lixiviamiento y luego subsecuentemente disminuyen (25). La lixiviación por un período de varios días puede alcanzar pérdidas de tres a ocho veces la cantidad de nutrimentos existentes inicialmente en las hojas; este hecho, demuestra que en las plantas existe un mecanismo efectivo de reemplazo de los nutrimentos desde otras partes de la planta (33, 36, 38).

En muchos casos el proceso de la lixiviación prolongada es tal, que causa un decremento en la intensidad del crecimiento de las plantas. En algunos casos, lixivitaciones más prolongadas pueden tener un efecto tan severo como para causar la muerte de las plantas; hecho que fue demostrado en un experimento realizado en Inglaterra con árboles de manzano; éstos fueron muertos cuando se sometieron a la lixiviación por un período largo de lluvia (29).

Tukey Jr., et al (36), con el objeto de estudiar el efecto de la duración del período de lixiviación, realizaron el siguiente experimento: sometieron a la lixiviación por inmersión continua, hojas de calabaza separadas de la planta madre por un tiempo variable, de media hora, hasta 24 horas; habiendo obtenido las siguientes pérdidas: para media hora 0,5% de Ca^{45} , 0,8% de K^{42} y 0,2% de P^{32} . Para dos horas: 4,1% de Ca^{45} ; 1,6% de K^{42} y 0,5% de P^{32} . Para 24 horas: 18% de Ca^{45} , 3% de K^{42} y 1,5% de P^{32} .

5. Intensidad y cantidad de lluvia. Es más efectiva en la lixiviación una suave llovizna que cae por un largo período de tiempo, que una breve, pero fuerte lluvia (33). Humedeciendo la superficie foliar repetidas veces, el follaje de las plantas se hace más susceptible a la lixiviación y produce mayores pérdidas de nutrimentos que la que podría ocasionar la misma cantidad de agua aplicada en una sola vez (28).

6. Heridas. Las pérdidas de nutrimentos por lixiviación se incrementan, cuando el follaje de las plantas presentan: lesiones o heridas producidas por deficiencia de nutrimentos minerales, carbohidratos o agua; por exposición a altas o bajas temperaturas, por aplicación de sustancias; por aplicación de sustancias tóxicas durante las fumigaciones; y por medios mecánicos (32). Existen también otros factores como las prácticas culturales que causan heridas a las plantas, proporcionando oportunidades mayores para la pérdida de nutrimentos. Por ejemplo, el caso de las plantas de banano, crecidas en el campo, tienen siempre dividida la lámina de la hoja debido a la acción del viento; por lo tanto, las pérdidas son mucho mayores que aquéllas observadas en plantas crecidas en invernadero (1).

7. Rocío. Es también un factor que estimula la pérdida de nutrimentos por lixiviación. Arens en 1934, citado por Dalbro (8), informó sobre los resultados del análisis del agua de rocío recogido de la superficie foliar de varias especies de plantas, habiendo encontrado pérdidas considerables de nutrimentos.

8. Estado de fertilidad del ambiente radical. Las raíces de las plantas que se encuentran creciendo en medios nutritivos óptimos, absorben los nutrimentos en cantidades abundantes, estableciéndose así un adecuado suministro a la parte aérea de las plantas. Así se incrementan las pérdidas por lixiviación, en comparación con plantas que se encuentran creciendo en medios nutritivos deficientes (28).

Parte de los nutrimentos lixiviados desde el follaje de una planta, pueden ser nuevamente reabsorbidos por la misma planta o por otras especies con las cuales se encuentran creciendo en asociación (28, 35, 36), existiendo por lo tanto el principio de la recirculación de los nutrimentos, fenómeno que es de amplio ocurrencia en la naturaleza y de considerable significancia (35).

III. MÉTODOS DE LIXIVIACION

Bhan, et al (1) realizaron estudios sobre la lixiviación de algunos nutrimentos minerales del follaje de plantas de algodón, acelga, espinaca, banano y otras. Las hojas de dichas plantas fueron sometidas a diferentes procedimientos de lixiviación, a saber: inmersión, sacudimiento mecánico, aspersión e inyección.

A. Inmersión. Fueron sumergidas en agua destilada hojas de espinaca y algodón por un tiempo de 24 horas, habiéndose observado las siguientes pérdidas: 1,9% de Na^{22} en acelga y 0,74% de Na^{22} en el algodón.

B. Sacudimiento mecánico. Separadamente se colocaron hojas de acelga, espinaca y algodón en unos agitadores mecánicos conteniendo agua destilada. Dichos agitadores funcionaron por un período de 24 horas con una velocidad de 150 ciclos por minuto; produciéndose las siguientes pérdidas de Na^{22} : 3,1% en acelga, 28% en espinaca y 52% en el algodón. Estas pérdidas considerables posiblemente se deben a una disminución de la viscosidad del protoplasma, y a la vez, a un incremento de la permeabilidad de las hojas.

C. Aspersión. Conocida también como lluvia artificial, es producida a través de una rociadora. Se sometieron a este proceso hojas de banano ocurriendo las siguientes pérdidas: 8% de K, 14,6% de Mg y 2,3% de P para Musa cavendishii y 4,5% de K, 6% de Mg y 0% de P en Musa ensete.

D. Inyección de agua. Tukey Sr. y Tukey Jr. (38) consideran como otro procedimiento de lixiviación, la aplicación de agua a manera de chorros sobre el follaje de las plantas mediante instrumentos especiales. Este procedimiento generalmente es utilizado por los floricultores en los invernaderos, con objeto de controlar ciertas plagas y enfermedades, y por otra parte con objeto de balancear los nutrimentos, provocando la pérdida desde el follaje, proceso favorable a la obtención de cultivos de alta calidad, lo que es contrario a las opiniones vertidas por otros investigadores (18, 28, 36, 37). De esta manera las plantas tropicales crecidas en el invernadero son mantenidas en una forma que se aproxima a su habitat natural, cuando diariamente se les inyecta agua. La práctica de colocar las plantas de casa al aire libre en el momento de una caída de lluvia o lavando las hojas con un paño húmedo, tiene más significancia que el mero suministro de agua y remoción del polvo, en inducir la pérdida de nutrimentos de dichas plantas.

MATERIALES Y METODOS

I. Características del lugar donde se llevaron a efecto los experimentos.

El presente trabajo fue realizado en el invernadero y laboratorio de Fisiología Vegetal de la disciplina de Fitotecnia y Suelos del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, en Turrialba, Costa Rica. Según Budowski y Schreuder (4), las características del lugar corresponden a un clima cálido y muy húmedo con un promedio anual de 22,5°C, de temperatura y 2.581 mm de precipitación. La evapotranspiración media anual es de 1.345 mm. De enero a abril hay una estación relativamente seca, durante la cual la lluvia que cae y la evapotranspiración son aproximadamente iguales. El promedio anual de humedad relativa alcanza al 87%. La luminosidad diaria es de 4 horas 35 minutos, que de acuerdo a los 10° de Latitud Norte de su situación geográfica, corresponde a un 38% del total de brillo solar posible. La elevación del lugar es de 602 metros sobre el nivel del mar.

La formación ecológica de su vegetación corresponde según Holdridge (16), a la del "Bosque subtropical muy húmedo".

II. Preparación del material vegetal usado

Se usaron plantas de cacao de 10 a 14 meses de edad provenientes de semilla del clon UF 667, todas las cuales fueron cultivadas en el invernadero en macetas de hojalata de dos galones de capacidad, pintadas con asfalto.

Para realizar el transplante, dichas macetas fueron preparadas del siguiente modo: se colocaron en el fondo de cada lata 750 gramos de grava lavada y tamizada (menor de 8 mm diámetro), y se añadió la tierra

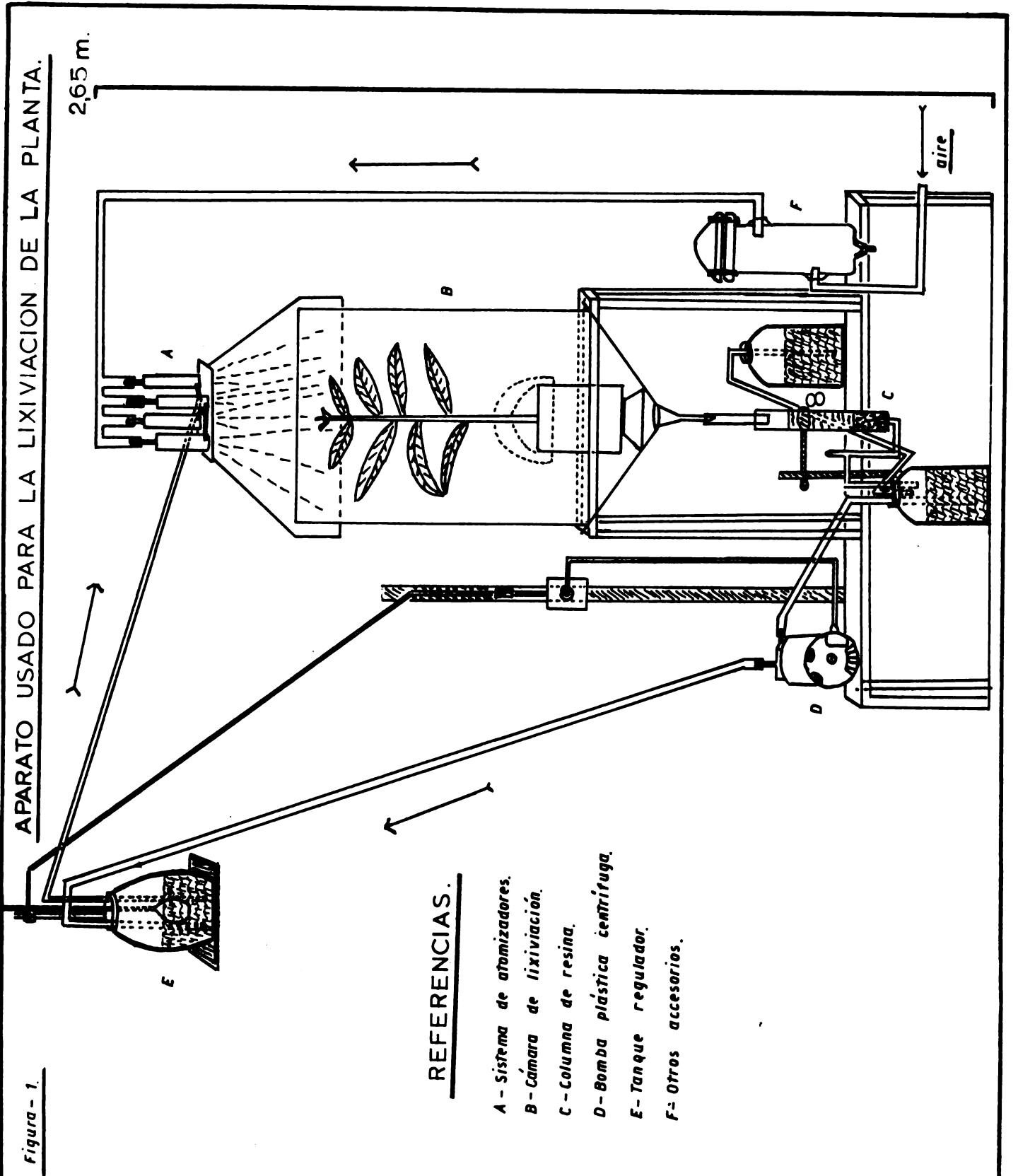
convenientemente preparada más o menos hasta la mitad de la capacidad de la maceta. Al introducir la plántula, se completó la capacidad con tierra que contenía por maceta una onza de fertilizante de la fórmula 10-5-10-4. En esta forma se proporcionó a las plantas un medio nutritivo óptimo para un crecimiento y desarrollo normal antes de ser sometidas a su lixiviación. Las macetas se dispusieron sobre reglas de madera, a fin de colocar entre ellas recipientes de plástico, para recoger la solución edáfica, que por el riego de las macetas se drena a veces por debajo, para así devolverla posteriormente a las mismas macetas.

Durante el crecimiento de las plantas en el invernadero y antes de ser sometidas a la lixiviación, se presentaron ataques de insectos áfidos (Toxóptera aurantii) y arañita roja (Paratetranychus citri), que fueron controladas oportunamente por repetida aplicación de aspersiones con Malatión al 1000 ppm.

III. Descripción del aparato usado para la lixiviación de la planta

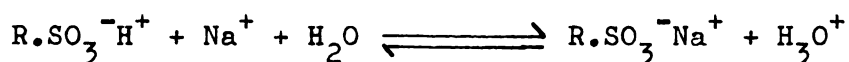
Consiste esencialmente de: un sistema de atomizadores montado sobre una cámara de lixiviación, una columna de resina, una bomba plástica centrífuga y un tanque regulador (véase la Figura 1). Previa a la descripción de estas partes, se considera importante indicar las características del agua empleada en la experimentación.

Agua usada. Se empleó agua desionizada o desmineralizada, la cual se considera químicamente pura, es decir, libre de cationes y aniones. Esta agua se obtuvo mediante el empleo de resinas intercambiadoras de iones. La resina empleada fue la Amberlita IR - 120, de intercambio catiónico, tipo ácido sulfónico. Está constituida por complicados polímeros que poseen en su estructura grupos sulfónicos cuyos aniones



conservan una posición estacionaria, permitiendo el cambio a los cationes asociados con ellos.

La reacción química que tiene lugar cuando se verifica un cambio entre un ion sodio y una resina de tipo ácido sulfónico en su forma ácida (lo que significa que todos los aniones disponibles en la resina están neutralizados con protones), se puede representar en la forma de una reacción química reversible:



Donde R representa la estructura de la resina, el ion sodio el catión existente en el agua que se va a eliminar.

Estas resinas, después de usadas, pueden regenerarse haciendo pasar una disolución de ácido clorhídrico al 10%, en vez de agua, con un lavado posterior de agua pura.

A. Sistema de atomizadores. Consiste de cuatro atomizadores de uso corriente, provistos de boquillas de llovizna por presión de aire-agua.

El sistema se encuentra colocado en la parte superior y central del cilindro de la cámara de lixiviación; está conectado al tanque regulador a través de un tubo de plástico, por donde recibe el agua para producir la llovizna; por otro lado está conectado con un sistema de aire a presión. Este aire se obtiene con una presión regulada de 10 atmósferas de un compresor eléctrico. Los atomizadores producen una fina llovizna (en forma de cono sólido), que humedece completa y uniformemente el interior del cilindro y así el follaje de la planta a lixiviar. La intensidad de lluvia producida es de 0.6 milímetros por minuto, valor aproximadamente 15 veces mayor a la intensidad promedio anual de precipitación que ocurre en Turrialba, Costa Rica.

B. Cámara de lixiviación. Está formada por un cilindro y un embudo contruídos de malla de alambre y formados interiormente con tela de polietileno que evita la contaminación de impurezas del medio ambiente.

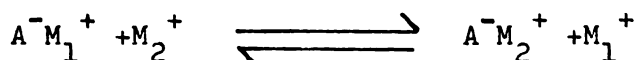
El cilindro tiene 80 cm de diámetro y 95 cm de altura; en su extremo superior está dispuesto a manera de techo el sistema de atomizadores; la parte inferior descansa sobre un embudo de 80 cm de diámetro en su borde superior y 16 cm en su borde inferior, que va colocado sobre un soporte de madera; la salida inferior está conectada a la columna de resina a través de un pequeño embudo de plástico adicional, por el cual durante la lixiviación, el agua cae libremente por gravedad. El conjunto constituye la cámara de lixiviación, donde se coloca la planta para ser sometida al proceso de lavado.

C. Columna de resina. Consta de un tubo de vidrio de 38 cm de largo por 2 cm de diámetro interior, dimensiones que pueden variar de acuerdo a la cantidad de rocío empleado. El tubo está sujeto a un soporte por medio de una prensa y lleva en su extremo inferior un tapón de goma, a través del cual está conectado a otro tubo de vidrio de diámetro menor en forma de "U" invertido. Este último tiene su parte superior colocado a mayor altura con respecto al nivel de la capa de resina, con el objeto de mantener ésta siempre sumergida en agua, ya que la presencia de burbujas de aire, disminuye la eficiencia del intercambio iónico, al mismo tiempo que reduce la intensidad del flujo de agua. El extremo inferior del tubo en "U" desemboca en un depósito de agua hecho de material plástico a partir del cual el agua colectada, ya desmineralizada, es nuevamente conducida al tanque regulador por medio de la bomba.

En el tubo de resina se introduce 20 ml de resina húmeda; después de haber colocado sobre el tapón de goma inferior una malla fina de plástico o algodón de vidrio, para retener dicha resina dentro del tubo.

La resina empleada fue la Amberlita IR - 120 de intercambio catiónico, del tipo poliestireno sulfonado (ácido sulfónico) con carácter fuertemente ácido. Su fórmula es $R.SO_3^-Na^+$ (forma sódica), con una capacidad total de intercambio iónico en volumen húmedo de 1,9 meq/ml/mínimo; y en peso seco de 5 meq/g/mínimo (5, 15, 17, 24, 25, 34).

El proceso físico de intercambio iónico se generaliza con la siguiente ecuación química reversible:



A^- representa una porción de la masa de resina.

M_1^+ el catión intercambiable de la resina.

M_2^+ los cationes lixiviados del follaje de la planta.

La resina fue adquirida de la casa Rohm & Haas, Washington, Square, Philadelphia 5, P.A., U.S.A.

D. Bomba plástica centrífuga. La operación de ésta es de succión y bombeo, es decir, elevar el agua y darle impulso en dirección al tanque regulador a una velocidad variable entre 90 y 500 milílitros por minuto. La característica fundamental de esta bomba consiste en que el tambor y sus respectivos tubos de entrada y salida, son de material plástico, nylon y vinyl, para evitar de este modo la contaminación con sustancias extrañas al objeto del experimento (ya que constituyen las únicas partes que están en contacto con el agua desionizada usada en el experimento).

Esta bomba fue obtenida de la fábrica Vanton Pumps and Equipment Corporation, Division of Cooper Ally Corp, Hillside, N.J., U. S. A.

E. Tanque regulador. Consta de un recipiente de vidrio, un flotador y dos tubos de vidrio.

El recipiente de vidrio consiste de un frasco de un galón de capacidad con boca ancha; su contenido está protegido contra la acción de la luz con pintura negra; sirve de depósito del agua desmineralizada.

El flotador está hecho de material plástico, tiene conexión con un interruptor eléctrico que regula el funcionamiento automático de la bomba para controlar la entrada y salida de agua del recipiente de vidrio.

De los dos tubos de vidrio: uno conecta con la bomba para la entrada del agua y el otro sirve para la salida del agua al sistema de atomizadores.

El conjunto está colocado a mayor altura que el sistema de atomizadores con el objeto de facilitar la conducción del agua por gravedad y regular así hasta cierto punto la cantidad atomizada.

F. Otros accesorios. Para proveer el aire comprimido para los atomizadores se usa un compresor eléctrico de 1/2 c.f., la presión original de 100 libras por pulgada cuadrada fue reducido a 10 libras y luego el aire filtrado a través de un filtro que contenía carbón activado. En esta forma se purificó el aire de vapores y gases extraños, lo mismo que se separó cualquier gotita de aceite y agua de condensación.

Un recipiente de plástico de un galón de capacidad, conteniendo agua, el que conectado a un tubo de vidrio, a través de un tapón de goma, constituye el sifón del que se deja gotear el líquido al depósito común y

sirve para reemplazar el agua que se evapora de la cámara de lixiviación durante el lavado, por tanto, mantiene en circulación el mismo volumen inicial de agua durante las 24 horas.

IV. Procedimiento experimental.

El procedimiento empleado en el presente trabajo consistió en someter a las plantas de edad y tamaño adecuado al proceso de lixiviación, por la acción de una llovizna artificial de agua desmineralizada a través de un sistema de atomizadores, por un tiempo de 24 horas. Las hojas de la planta fueron limpiadas previamente de toda materia ajena como polvo, empleándose para este fin algodón humedecido en agua desmineralizada.

Al venir de las hojas el agua de lixiviación pasó a través de la columna de resina, la que adsorbió los nutrimentos minerales catiónicos perdidos del follaje de la planta. La columna de resina se cambió: primero cada hora (3 veces), luego cada dos horas (3 veces), cada tres horas (2 veces), cada cuatro horas (una vez) y cada cinco horas (una vez), obteniéndose así, para cada planta, 10 columnas de resina portadores de los nutrimentos lixiviados durante las 24 horas de duración del lavado. Luego, la resina se eluyó en 25 ml de HCl al 10%, permaneciendo en esta forma en contacto con el ácido por un tiempo mínimo de una hora, tiempo suficiente para poder intercambiar los cationes entre la resina y el ácido. Pasado este tiempo, se hizo escurrir lentamente el ácido gota a gota, a unos matraces Erlenmeyer de 125 ml de capacidad. Este eluado constituye el extracto del lavado, el que se evapora hasta sequedad en una plancha eléctrica, luego se agregó 5 ml de ácido nítrico y unos pedacitos de porcelana, sometiéndose a la digestión líquida con objeto de destruir los coloides y materia orgánica. Se evaporó con cuidado hasta

que solamente quedaron de 1 a 2 ml de líquido claro en el frasco. Se agregaron unos 20 ml de agua y se calentó para disolver las sales; luego el contenido se traspasó con varios lavados a un matraz aforado de 50 ml. Se enfrió y se completó el volumen. Después de filtrarlo, quedó lista para el análisis químico de los elementos en estudio: potasio, magnesio y calcio.

Para el potasio se siguió el método colorimétrico del sodio-cobalto-nitrito, para el magnesio el método del poliacrilato de sodio, y para el calcio el método de la precipitación del oxalato-titulación permanganato (19).

Se enumeran a continuación los experimentos realizados:

Influencia del ciclo luz-oscuridad

Experimento A.

Aspersión del follaje de las plantas por un tiempo de 24 horas, comenzando de día y terminando de noche.

Experimento B.

Aspersión del follaje de la planta por un tiempo de 24 horas, comenzando de noche y terminando de día.

Influencia de la edad fisiológica de las hojas

Experimento A.

Aspersión comenzando por las hojas viejas, por un tiempo de 24 horas, y luego inmediatamente las hojas jóvenes de la misma planta por otro tiempo de 24 horas.

Experimento B.

Aspersión comenzando por las hojas jóvenes, por un tiempo de 24 horas, y luego inmediatamente las hojas viejas de la misma planta por otro tiempo de 24 horas.

Influencia de la duración del período de lixiviación

Experimento A.

Aspersión del follaje de la planta por un tiempo de una hasta 24 horas, comenzando de día y terminando de noche.

Experimento B.

Aspersión del follaje de la planta por un tiempo de una hasta 24 horas, comenzando por la noche y terminando de día.

Para cada uno de los experimentos se usaron 5 plantas de cacao del mismo clon UF 667, más o menos uniforme (unos 60 cm de altura). Antes de colocar la planta en la cámara de lixiviación, la maceta fue protegida con una bolsa de polietileno, para evitar la posible contaminación con el agua del lavado durante su exposición a la llovizna.

En los experimentos A y B, correspondientes al estudio de la influencia de la edad fisiológica de las hojas, aparte de la protección de la maceta también se protegió cuidadosamente con una bolsa de polietileno las hojas jóvenes y luego las viejas respectivamente, según su turno de lixiviación, para evitar las posibles contaminaciones durante el tratamiento.

V. Análisis químico del material vegetal.

Con el propósito de determinar la causa de la deficiencia que apareció después de lixiviar algunas plantas, se sometieron las hojas afectadas a un análisis químico. Para facilitar la comparación entre las plantas afectadas y plantas normales se procedió también a la toma de muestras de las últimas, habiéndose tenido el cuidado de escoger hojas de la misma edad fisiológica.

Como se sabe dicho análisis químico nos permitirá informarnos sobre la cantidad de nutrimentos que se encuentran presentes en las hojas mostrándonos así una posible deficiencia de algún elemento.

Las muestras después de lavarlas rápidamente con agua destilada, se secaron a 70°C en una estufa por 24 horas; se molieron en un molino tipo "Wiley" intermedio. Se pesó 1 g del material seco, el cual por medio de una mezcla de ácidos perclórico nítrico fue digerido. Después de aforar y filtrar se analizó la solución obtenida para los elementos K, Ca y Mg en la forma anteriormente descrita (19).

VI. Evaluación de los datos obtenidos

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos en los diferentes experimentos, se utilizó la prueba de "t" con las siguientes características:

En el estudio de la influencia de la luz-oscuridad en la pérdida de nutrimentos por lixiviación del follaje de plantas de cacao, se hicieron comparaciones con los valores en $\text{mg}/\text{dm}^2/24$ horas (promedios de 5 plantas) entre los tratamientos A y B, independientemente para cada elemento en estudio: potasio, magnesio y calcio.

En el estudio de la influencia de la edad fisiológica de las hojas en la pérdida de nutrimentos por lixiviación, se hicieron comparaciones con los valores en $\text{mg}/\text{dm}^2/24$ horas (promedios de 5 plantas) entre las hojas jóvenes y las viejas dentro de la misma planta, independientemente para cada uno de los elementos minerales considerados y también para cada uno de los experimentos A y B.

En el estudio de la influencia de la duración del período de lixiviación en la pérdida de nutrimentos en el follaje de plantas de cacao, se hicieron comparaciones (de las tres primeras horas de lavado) con los

valores en $\text{mg/dm}^2/24$ horas (promedio de 5 plantas) entre los tratamientos A y B, siguiendo el mismo sistema de análisis mencionado. Para el estudio de este último factor de la lixiviación se consideraron los mismos resultados del factor luz-oscuridad.

RESULTADOS

Los resultados de los experimentos se resumen a continuación:

I. Influencia del ciclo luz-oscuridad

Experimentos A y B.

Estos experimentos fueron diseñados con el objeto de estudiar la influencia de la duración y reversión del período del luz y de oscuridad en relación con el incremento de las pérdidas de los nutrimentos por lixiviación del follaje de plantas de cacao, en los que se determinaron mayores pérdidas para las plantas lixiviadas comenzando de día, en comparación con las plantas lixiviadas comenzando en la noche. Se detectó significancia estadística para el calcio al nivel del 1%, para el potasio al nivel del 10% y no para el magnesio (Cuadro 1).

Cuadro 1. Influencia del ciclo luz-oscuridad en la pérdida de nutrimentos por lixiviación del follaje de plantas de cacao.

Número de Plantas	mg/dm ² /24 horas					
	Potasio		Magnesio		Calcio	
	Luz	Oscuridad	Luz	Oscuridad	Luz	Oscuridad
1	0.8244	0.2078	0.1250	0.0588	0.2995	1.1574
2	0.7333	0.1865	0.1692	0.0695	0.3214	0.1050
3	0.3424	0.2439	0.0888	0.0980	0.1995	0.1084
4	0.3511	0.3260	0.1289	0.1277	0.2545	0.1445
5	0.3655	0.4897	0.1177	0.1346	0.3006	0.1743
Totales	2.6167	1.4539	0.6296	0.4886	1.3755	0.6896
Promedios	0.52334*	0.29078	0.1259	0.09772	0.2754**	0.1375

* Significativo al nivel del 10% de probabilidad estadística

** Significativo al nivel del 1% de probabilidad estadística.

La figura 2, ilustra los resultados obtenidos en el Cuadro 1, en la que se pueden apreciar la tendencia de pérdidas mayores en favor de las plantas lixiviadas comenzando de día, que en las que se comenzaron de noche. Por otra parte, este mismo gráfico nos permite comparar claramente las diferencias de las cantidades perdidas entre los 3 elementos en estudio, en los que se encontró la siguiente relación: la pérdida de potasio es mayor que la de calcio y muchísimo mayor que la de magnesio; o sea que las diferencias entre las cantidades perdidas de potasio y de magnesio son extremadamente grandes.

II. Influencia de la edad fisiológica de las hojas

Experimento A.

Se llevó a cabo este experimento con el fin de evaluar la influencia de la edad fisiológica de las hojas en relación con el incremento de la pérdida de los nutrimentos por lixiviación de plantas de cacao, para lo cual se sometió a las hojas viejas a una aspersion por un tiempo de 24 horas, y luego inmediatamente las hojas jóvenes de la misma planta por un tiempo igual.

En este caso, comparando las cantidades perdidas por las hojas viejas (más de 50 días de edad), que fueron lixiviadas primero, y las hojas jóvenes (de 22 a 25 días de edad) que fueron lixiviadas después, se observó mayor pérdidas en las primeras que en las segundas, sin haberse encontrado significancia estadística para ninguno de los elementos (Cuadro 2).

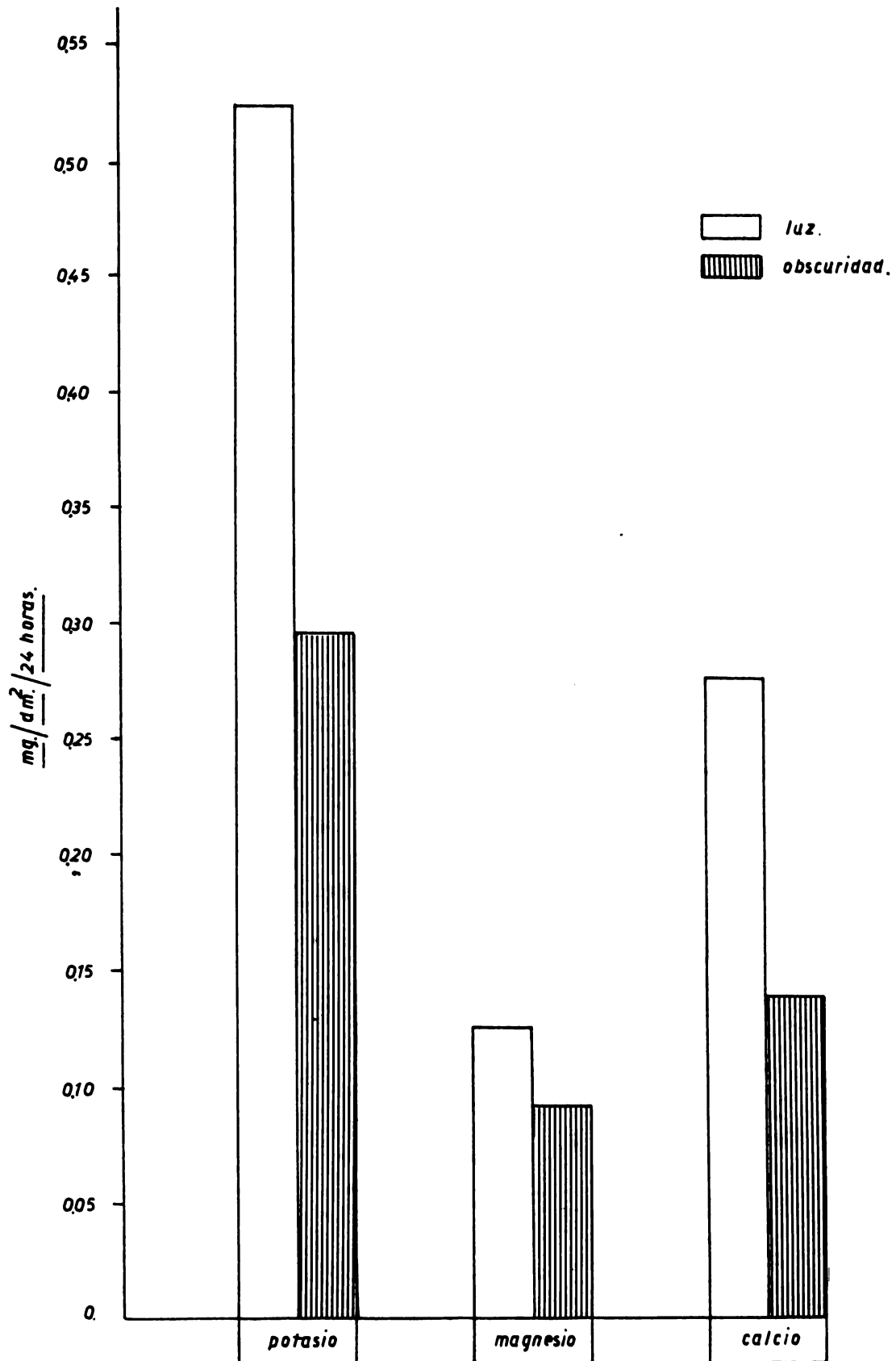


Figura 2-Influencia del ciclo luz-obscuridad en las pérdidas de potasio, magnesio y calcio por lixiviación del follaje de plantas de cacao.

Cuadro 2. Influencia de la edad fisiológica de las hojas en la pérdida de nutrimentos por lixiviación de plantas de cacao comenzando por las hojas viejas.

Número de Plantas	mg/dm ² /24 horas					
	Potasio		Magnesio		Calcio	
	Viejas	Jóvenes	Viejas	Jóvenes	Viejas	Jóvenes
1	2.0143	1.7350	0.2307	0.2097	0.328	0.332
2	4.5181	2.6643	0.5116	0.8565	0.811	0.363
3	6.7630	2.6096	2.5629	0.8151	0.568	0.218
4	1.6625	3.8982	0.4759	1.1178	0.167	0.466
5.	1.3347	2.0277	0.3504	0.5209	0.145	0.216
Totales	16.2926	12.9348	4.1315	3.5200	2.019	1.595
Promedios	3.25852	2.58696	0.8263	0.7040	0.404	0.319

La figura 3 ilustra los resultados obtenidos en el Cuadro 2, en la que se puede observar una tendencia de mayores pérdidas en las hojas viejas que en las jóvenes. También se observa nítidamente las diferencias de cantidades entre los 3 elementos en estudio, en las que la pérdida de potasio es mayor que la de magnesio y muchísimo mayor que la de calcio, o sea que las diferencias entre las cantidades perdidas de potasio y de calcio son considerablemente grandes.

Experimento B.

La diferencia entre este experimento y el anterior está simplemente en el turno de lixiviación de las hojas de diferente edad fisiológica. En efecto, se sometió a una aspersión primeramente las hojas jóvenes por un tiempo de 24 horas, y luego inmediatamente las hojas viejas de la misma planta por igual tiempo.

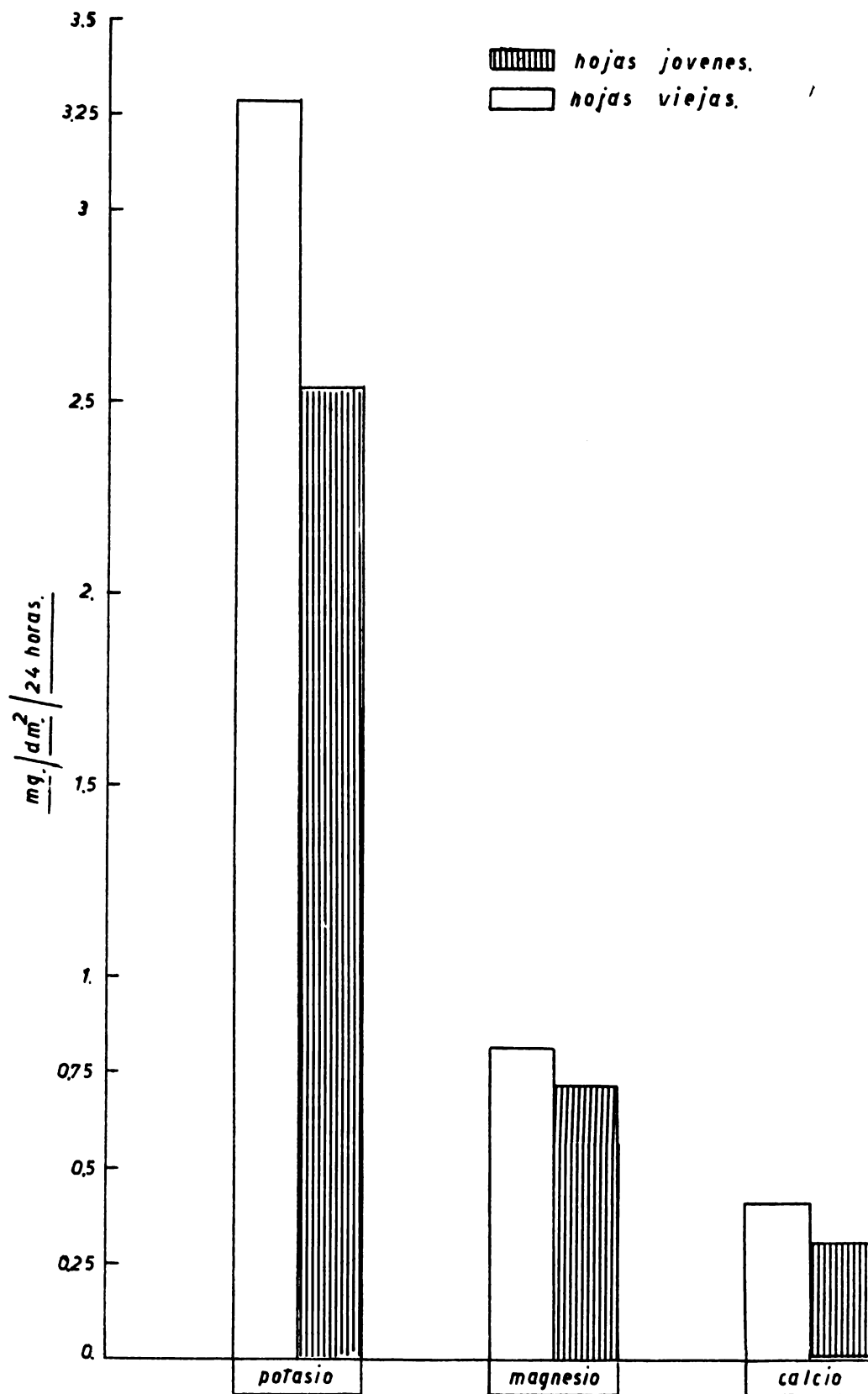


Figura 3 -Influencia de la edad fisiológica de las hojas en las pérdidas de potasio magnesio y calcio por lixiviación de plantas de cacao comenzando por las hojas viejas.

En este caso se observó pérdidas mayores en las hojas jóvenes, que en las hojas viejas. Sin embargo, tampoco se acusó significancia estadística para ninguno de los 3 elementos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Influencia de la edad fisiológica de las hojas en la pérdida de nutrimentos por lixiviación de plantas de cacao, comenzando por las hojas jóvenes.

Número de Planta	mg/dm ² /24 horas					
	Potasio		Magnesio		Calcio	
	Jóvenes	Viejas	Jóvenes	Viejas	Jóvenes	Viejas
1	1.6040	0.6186	0.3645	0.1376	0.656	0.191
2	1.0338	0.7152	0.2000	0.1710	0.349	0.226
3	1.1108	0.6226	0.2920	0.1126	0.488	0.225
4	1.2216	0.8169	0.2065	0.1161	0.301	0.154
5	1.4867	2.1390	0.2223	0.2884	1.093	1.438
Totales	6.4569	4.9123	1.2853	0.8257	2.887	2.234
Promedios	1.2914	0.9824	0.25706	0.16514	0.5774	0.4468

La representación esquemática de estos resultados se encuentra en el gráfico 4 donde se puede observar que esta vez la tendencia de las pérdidas mayores, se inclina en favor de las hojas jóvenes que en las más viejas. Se observa las diferencias en las cantidades perdidas entre los tres elementos considerados; en las que la pérdida de potasio es mayor que la de calcio y muchísimo mayor que la de magnesio; o sea que las diferencias entre las cantidades perdidas de potasio y de magnesio son considerablemente grandes.

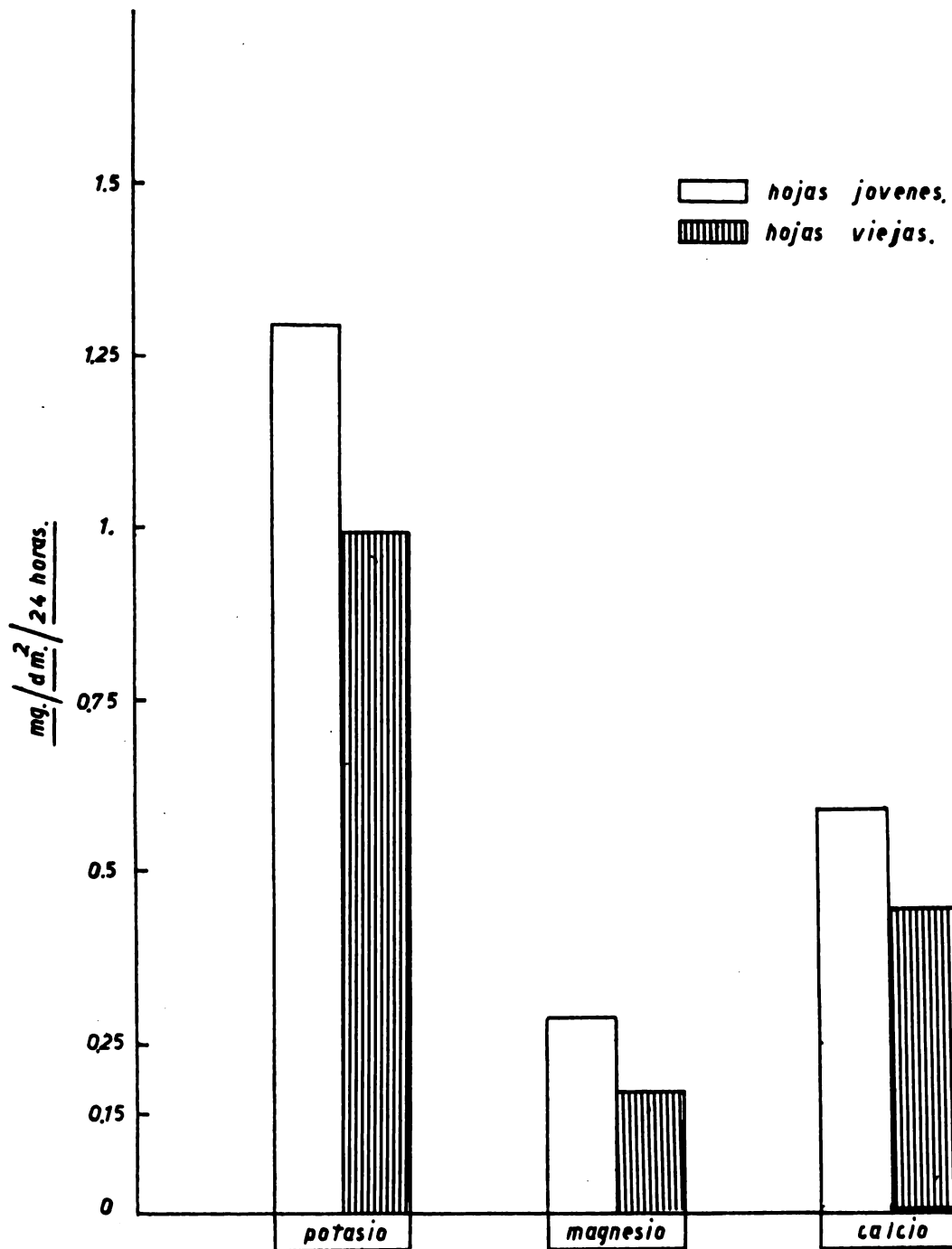


Figura 4 -Influencia de la edad fisiológica de las hojas en las pérdidas de potasio, magnesio y calcio por lixiviación de plantas de cacao comenzando por las hojas jóvenes.

III. Influencia de la duración del período de lixiviación

Experimentos A y B.

Analizando los resultados de la influencia de la duración del período de lixiviación en relación con el incremento de las pérdidas de los nutrimentos en estudio, se observa que las pérdidas para cada uno de los elementos es considerable durante la primera hora de lixiviación; después de dos y luego tres horas, estas pérdidas acumulativas se tornan cuantitativamente importantes. En efecto, la tendencia de las pérdidas acumulativas es una función directa del tiempo a lo largo de la mayor parte del período de lixiviación, excepto para las últimas pocas horas del experimento.

Comparando las cantidades perdidas y considerando sólo las 3 primeras horas de lixiviación (Cuadro 4), resulta que la primera hora es la de mayor pérdida; le sigue la 2ª hora y luego la 3ª hora; sin embargo, no se detectó significancia estadística para ninguna de las 3 horas y tampoco para ninguno de los elementos, con excepción del Ca que es significativo al nivel del 5%.

Cuadro 4. Pérdida de nutrimentos del follaje de plantas de cacao durante las tres primeras horas de lixiviación (los datos son promedios de 5 plantas).

Nutri- mentos	Períodos de lixiviación					
	1 hora		2 horas		3 horas	
	Luz	Oscuridad	Luz	Oscuridad	Luz	Oscuridad
K	0.0726	0.0421	0.1257	0.0703	0.1745	0.0922
Mg	0.0207	0.0134	0.0351	0.0240	0.0442	0.0320
Ca	0.0517	0.0190	0.0952	0.322	0.0832	0.0449

* Significativo al nivel del 5% de probabilidad estadística.

En el análisis de una lixiviación completa a lo largo de 24 horas (Cuadro 5), la distribución de pérdidas obtenidas en relación al tiempo, es la siguiente: para las 3 primeras horas se obtuvo valores separados de hora en hora; luego se tiene 3 períodos de 2 horas, cuyos resultados se dividen entre 2 para obtener valores de cada hora. Seguidamente se tienen 2 períodos, cada uno de 3 horas; un período de 4 horas, y por último un período de 5 horas de lixiviación, cuyas pérdidas se dividen entre 3, 4 y 5 respectivamente, para obtener en cada uno de ellos valores por hora.

La lixiviación en las 24 horas, fue dividida en períodos cada vez mayores debido a que las pérdidas por hora resultaban progresivamente menores a medida que aumentaba el período de lixiviación, de este modo los períodos se tomaron de acuerdo a la significancia de las pérdidas.

Cuadro 5. Pérdida de los nutrimentos de follaje de plantas de cacao durante varios períodos de lixiviación (los datos son promedios de 5 plantas).

Horas de Lixiviación	Períodos	mg/dm ² /24 horas					
		Potasio		Magnesio		Calcio	
		Luz	Oscuridad	Luz	Oscuridad	Luz	Oscuridad
6-7 a.m.	1 ^o	0.0730	0.0422	0.0210	0.0135	0.0317	0.0199
7-8 "	2 ^o	0.0531	0.0288	0.0144	0.0108	0.0275	0.0132
8-9 "	3 ^o	0.0490	0.0220	0.0091	0.0085	0.0240	0.0127
9-11 "	4 ^o -5 ^o	0.0622	0.0250	0.0096	0.0070	0.0294	0.0156
11-1 p.m.	6 ^o -7 ^o	0.0546	0.0290	0.0080	0.0104	0.0320	0.0126
1-3 "	8 ^o -9 ^o	0.0420	0.0400	0.0072	0.0112	0.0262	0.0120
3-6 "	10 ^o -12 ^o	0.0432	0.0255	0.0093	0.0087	0.0234	0.0174
6-9 "	13 ^o -15 ^o	0.0405	0.0240	0.0054	0.0093	0.0252	0.0123
9-1 a.m.	16 ^o -19 ^o	0.0440	0.0300	0.0152	0.0096	0.0316	0.0136
1-6 "	20 ^o -24 ^o	0.0605	0.0315	0.0120	0.0075	0.0250	0.0125
Totales		0.5221	0.3040	0.1112	0.0961	0.2754	0.1375

La curva de pérdidas de los nutrimentos del follaje de las plantas por la acción de la lixiviación, posee la típica forma de una escalera descendente (Figura 5), en la que, a lo largo de un período de lixiviación de 24 horas podemos distinguir 3 etapas: 1) una etapa inicial de las pérdidas máximas; 2) una etapa intermedia de pérdidas más o menos considerables; y 3) otra final en que ésta se vuelve mínima y constante. (La figura 5 está representada en escala semilogarítmica).

1ª Etapa. Corresponde a las 3 primeras horas de lixiviación, donde la curva acusa un descenso casi vertical hasta llegar a la cuarta hora.

2ª Etapa. A partir de la cuarta hora y más o menos hasta la décima hora de lixiviación, el ritmo de las pérdidas continúa con menor intensidad y, en esta zona la curva se proyecta irregular.

Las dos primeras etapas transcurren durante las horas de luz.

3ª Etapa. En las restantes horas, de la undécima hasta la vigésima cuarta horas de lixiviación, las que transcurren en la oscuridad (para las lixiviadas comenzando de día), se observa que la curva se hace horizontal, permaneciendo más o menos constante hasta el final, donde se presentan a veces irregularidades, las mismas que están implicadas a un ligero aumento o disminución de tales pérdidas. Durante esta etapa, las pérdidas son mínimas, llegando incluso a veces a aproximarse a cero.

De las 3 curvas pertenecientes a los 3 elementos en estudio, la mayor corresponde al potasio, la que acusa las mayores pérdidas; luego le sigue la de calcio y a ésta la de magnesio.

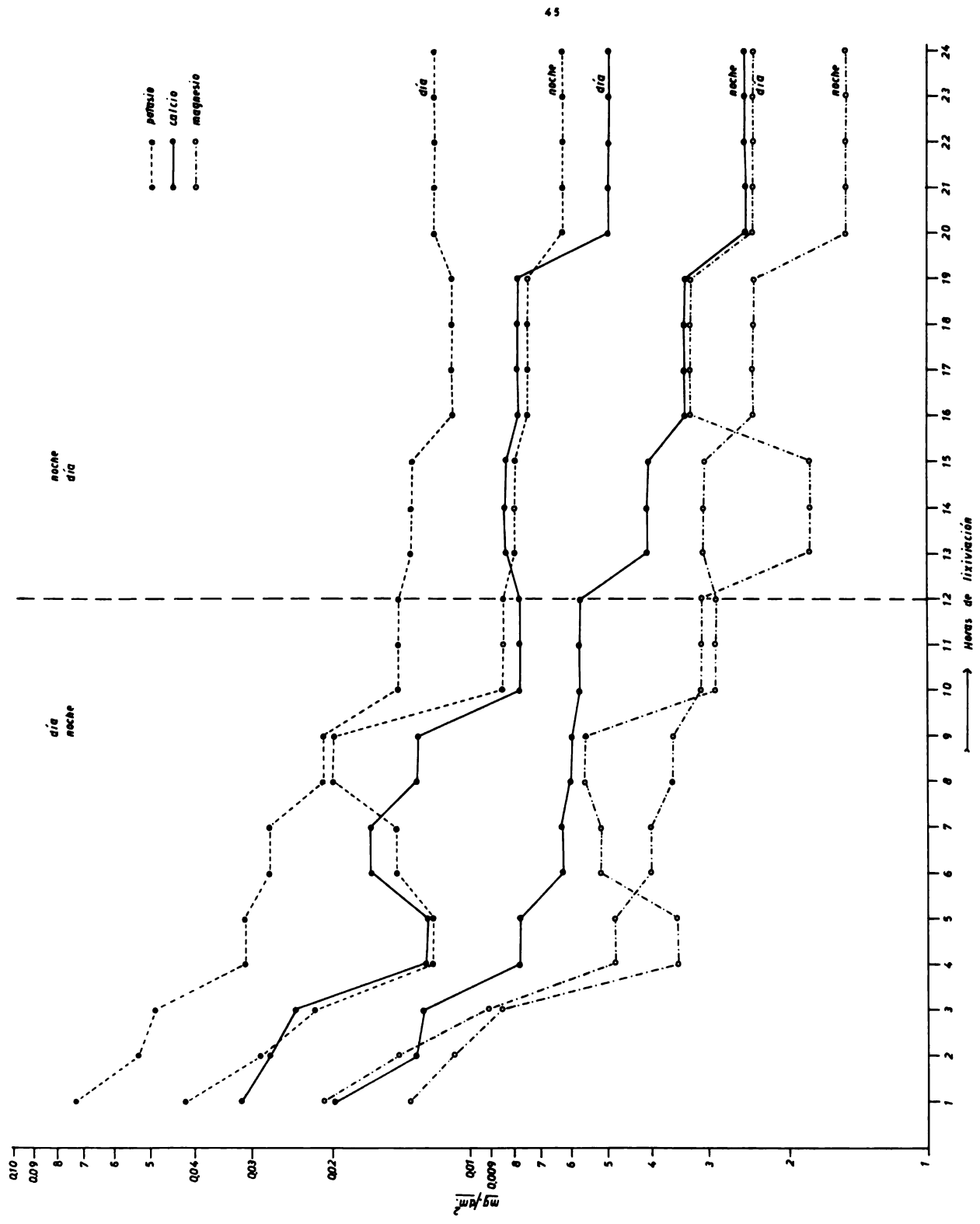


Figura 5 - Influencia de la duracion del periodo de lixiviation en las pérdidas de potasio calcio y magnesio del folioje de plantas de cacao.

VI. Análisis químico del material vegetal

Las plantas que fueron sometidas a la lixiviación mostraron manchas necróticas acompañadas de defoliación. Es de importancia aclarar que tales síntomas se observaron después de unas dos semanas de concluido el experimento de lavado. Se atribuyó la presencia de dichas manchas a la deficiencia de uno o varios nutrimentos como consecuencia de las pérdidas inducidas por la lixiviación.

Para la identificación de los elementos minerales responsables de estos síntomas, se usó una clave de los síntomas visibles de deficiencias minerales, en forma de láminas a color, establecidas para plantas de cacao (9, 10, 13). Desafortunadamente, dicho método de identificación requiere bastante práctica debido a que las diferencias entre los síntomas visibles no son muy marcadas para los tres elementos estudiados.

Se describe a continuación los síntomas más características observados en las hojas de las plantas lixiviadas, sin tener evidencia cierta cual o cuales elementos pudieran ser los responsables de dichos síntomas. Un grupo numeroso de hojas viejas presentaba necrosis principalmente en el borde y el ápice foliar, existiendo una línea divisoria de color amarillento y de forma ondulada entre el tejido necrótico y la parte sana. En otro grupo de hojas viejas presentaba los mismos síntomas y además clorosis moteada entre las nervaduras. También se observó en varias plantas caída prematura de hojas (Figuras 6 y 7).

Con el fin de establecer una correlación entre estos síntomas de deficiencia y los posibles elementos responsables, se realizó el análisis químico -unas dos semanas más tarde- de las hojas cuyos resultados se resumen en el Cuadro 6.



FIGURA 6

Planta de cacao, unas 4 semanas después de someterla a la lixiviación.



FIGURA 7

Hoja vieja de una planta de cacao, unas cuatro semanas después de someterla a la lixiviación. Notese la fina zona amarillenta entre la parte necrótica y el resto del limbo.

Cuadro 6. Composición comparativa de las hojas de plantas sometidas a la lixiviación y plantas no sometidas a la lixiviación (Los datos son promedios de dos muestras).

Clase de Muestras	% de nutrimentos		
	K	Mg	Ca
Hojas con síntomas	2.2	0.37	1.25
Hojas sin síntomas	2.3	0.44	0.93
Hojas no lixiviadas	2.2	0.41	1.88

Comparando los resultados obtenidos se observa pequeñas diferencias una de otra, siendo algo mayor para el Ca en comparación con las hojas no lixiviadas, sin llegar a ser lo suficiente como para deducir que dicho elemento pueda ser el responsable de la presencia de tales síntomas.

Sin embargo, pese a estos resultados, los cuales no indican deficiencia en ninguno de los tres elementos estudiados, presentamos a continuación una relación de estos valores con las cantidades perdidas por las plantas lixiviadas, o sea aquellas que presentaron los síntomas (plantas lixiviadas comenzando por las hojas viejas). Las cantidades presentes en las hojas antes de someterlas a la lixiviación son valores estimados, basadosé en la composición promedia de plantas similares (Cuadro 7).

Cuadro 7. Pérdida de los nutrimentos: K, Mg y Ca de plantas sometidas a la lixiviación por un tiempo de 24 horas. (Los datos son promedios de 5 plantas).

Elementos	Cantidad presente en las hojas de una planta antes de la lixiviación (para 6,6 g de peso seco)	Cantidad lixiada por planta	Pérdida en % del contenido inicial
K	145 mg	54 mg	37.2
Mg	.26 "	14 "	53.8
Ca	132 "	7 "	5.3

Se demuestra que evidentemente las pérdidas de K y especialmente de Mg son suficientemente grandes para provocar los síntomas de deficiencias observadas.

DISCUSION

Los resultados obtenidos en los trabajos citados en la revisión de literatura y los observados en el presente estudio, demuestra claramente que la parte aérea de las plantas, y muy particularmente las hojas, sometidos a la lixiviación tanto en forma natural como artificial, sufren pérdidas bastante considerables de nutrimentos inorgánicos y orgánicos, las que afectan cualitativa y cuantitativamente el comportamiento de las plantas y que en última instancia se traducen en pérdidas económicas.

Numerosas investigaciones (28, 29, 33, 35) encontraron entre las plantas diferencias en el grado de susceptibilidad y facilidad de pérdida de nutrimentos por lixiviación. Esta variabilidad se debe precisamente a que en la lixiviación considerada como un proceso complejo, intervienen numerosos factores, entre ellos unos son propios de la planta y otros del medio ambiente.

Por lo tanto, existen diferencias en el grado de lixiviación entre las diferentes especies de plantas y aún entre los cultivares de la misma especie.

El análisis cuantitativo de los nutrimentos catiónicos lavados del follaje de las plantas de cacao: potasio, magnesio y calcio, obtenidos en los experimentos de laboratorio para una planta con 16,5 dm² de superficie foliar (6.6 g. peso seco) y con una intensidad de precipitación de 0.6 mm por minuto durante 24 horas de lixiviación, arrojó los siguientes resultados: 54 mg de K, 14 mg de Mg y 7 mg de Ca.

En los experimentos realizados para evaluar el efecto de la duración y reversión del ciclo luz-oscuridad, en relación con el incremento de la pérdida de los nutrimentos en estudio, se observó una tendencia de pérdidas mayores para las plantas que se lixiviaron, comenzando de día en comparación con las que se lixiviaron comenzando de noche. Se encontró significancia estadística para el Ca al nivel del 1% y para el K al nivel del 10% y ninguna para el Mg.

En la revisión de literatura se citan numerosas investigaciones bastante contradictorias al respecto, las mismas que se resumen a continuación: algunos investigadores (18, 39) indican que las pérdidas de nutrimentos inorgánicos son mayores en la oscuridad que en la luz. Tukey Sr., et al. (36) informan que la luz y oscuridad al parecer no tienen influencia en la pérdida de nutrimentos inorgánicos con excepción del P. y S. que son mayores en la oscuridad que en la luz. Por su parte otros autores (28, 33, 37) afirman que la pérdida de los nutrimentos inorgánicos incluyendo el P, S y carbohidratos es relativamente mayor en la luz que en la oscuridad.

Si se relacionan estos conocimientos con los resultados obtenidos, tácitamente queda incluido en el grupo de los que sostienen que las pérdidas mayores ocurren en la luz. Esta hipótesis es apoyada por las siguientes razones: 1) varias investigaciones tienen demostrado, que el incremento de luz estimula la apertura de mayor número de conexiones plasmodesmales de las células de la superficie de la hoja. A través de éstos se establece una vía más, a las ya existentes por las cuales pueden ser lixiviados los nutrimentos (28, 33, 37); 2) está ampliamente reconocido que la velocidad de transporte de nutrimentos es mayor a temperaturas de 20° a 30°C, como las registradas durante el día que en la noche

(18° a 20°C). Por lo tanto, existe la posibilidad de que las plantas sufran pérdidas mayores en el día que en la noche; las sales son perdidas más rápidamente a altas temperaturas que a bajas. El humedecimiento incrementa con la alta temperatura y las sales son disueltas más rápidamente (26); 3) el incremento de la luz solar estimula un aumento de la actividad fotosintética de la hoja. Esta a su vez estimula mayor traslado y luego mayor absorción de nutrimentos, situación que se presta a mayores pérdidas cuando las plantas son sometidas a la lixiviación (2, 22); 4) la intensidad del proceso transpiratorio es mayor en la luz que en la oscuridad puesto que la corriente transpiratoria que tiene lugar a través del xilema desde las raíces hasta las hojas, arrastra consigo gran variedad de sustancias disueltas; entre las cuales los minerales absorbidos del suelo por las raíces son las más importantes, habrá en esta forma mayor acumulación de sales en las hojas durante el día (2, 22, 26).

El estudio de la evaluación de la influencia de la edad fisiológica de las hojas en relación con el incremento de las pérdidas de nutrimentos en estudio, se observó una tendencia de mayores pérdidas para las hojas viejas que en las hojas jóvenes. Esta diferencia se presentó en el primer experimento donde el turno de lixiviación se realizó comenzando por las hojas viejas y luego seguidamente las hojas jóvenes. En cambio en el segundo experimento se presentó el fenómeno contrario, es decir, la tendencia de pérdidas mayores fue para las hojas jóvenes que en las viejas, ya que el turno de lixiviación fue realizado comenzando por las hojas jóvenes y luego las viejas. Sin embargo, en ninguno de los dos experimentos las diferencias fueron estadísticamente significativas para ninguno de los elementos.

hecho. Tanto las hojas viejas como las jóvenes son fácilmente humedecibles en el agua (hidrófilas), característica física que determina el aumento del grado de susceptibilidad a la pérdida de nutrimentos por lixiviación (26, 39, 40). Hasta este punto es poco todavía lo que se sabe sobre la influencia de la edad fisiológica en la lixiviación; el problema es bien complicado y merece más estudio.

Analizando los resultados del estudio de la influencia de la duración del período de lixiviación en relación con el incremento de las pérdidas de los nutrimentos en estudio, se observó que la tendencia de las pérdidas totales acumulativas es función directa del tiempo a lo largo de la mayor parte del período de lixiviación, excepto para las últimas pocas horas del experimento. Las pérdidas son considerables durante las primeras horas, para luego declinar rápidamente hacia el final. Tal incremento de las pérdidas por lavado en relación al tiempo de lixiviación es aceptado por muchos investigadores (8, 32, 33, 35, 36, 38). Lausberg, citado por Tukey Jr., et al (36) agregan que si la lixiviación es continuada por un período más largo de tiempo, las pérdidas totales acumulativas alcanzarían varias veces la cantidad de nutrimentos en comparación con el contenido original encontrado en las hojas; el mismo autor agrega que las hojas sufren pérdidas significativas, aún después de pocas horas de inmersión en agua.

Comparando las cantidades perdidas entre los 3 elementos en el estudio del ciclo luz-oscuridad, se observó que la pérdida de Ca fue mayor que la de K y ésta mayor que la de Mg. En cambio, en el estudio de la influencia de la edad fisiológica de las hojas, la mayor pérdida corresponde al K. El segundo lugar, sigue la de Mg en el caso de las plantas lixiviadas, comenzando por las hojas viejas, o le sigue la de Ca en el caso

de las plantas lixiviadas comenzando por las hojas jóvenes; este comportamiento diferente es difícil de explicar. La pérdida de los nutrientes por lixiviación está relacionada directamente con la función de los mismos en los procesos metabólicos. También influye la facilidad de absorción por las raíces, forma en que ellos son incorporados dentro la planta, grado de solubilidad, facilidad de traslado dentro la planta, y la forma química en que ellos se encuentran en los tejidos vegetales (21, 35, 36). Tukey Jr., et al (36), establecieron la siguiente clasificación de los nutrientes minerales de acuerdo con la facilidad de lixiviación de hojas jóvenes por un tiempo de 24 horas de lluvia artificial: 1) elementos fácilmente lixiviables como el Na^{45} y Mn^{54} ; 2) elementos moderadamente lixiviables como el Ca^{45} , Mg^{28} , S^{35} , K^{42} , Sr^{80} y I^{90} ; 3) elementos difícilmente lixiviables como el Fe^{55} , Zn^{65} , P^{32} y Cl^{36} .

Por lo expuesto anteriormente se demuestra que los tres elementos minerales que fueron objeto de estudio en el presente trabajo, pertenecen al grupo de los elementos moderadamente lixiviables, es decir, tienen más o menos el mismo grado de lixiviación.

Con respecto a los resultados obtenidos en el análisis químico del material vegetal, nos muestra que la presencia de los síntomas de necrosis observadas en las hojas de plantas lixiviadas, realmente eran debidas a causa de las diferencias de Mg o K. Mann y Wallace, citados por Tukey Sr. y Tukey Jr. (38) observaron similares manchas en hojas de árboles de manzano, crecidos en el campo y no en los crecidos en el invernadero. Posteriormente ellos comprobaron que ellas se debían a la pérdida de nutrientes por lixiviación por efecto de la lluvia natural.

Por lo general se acepta un ámbito del 0,2 al 0,3% de Mg como normal, en cambio, niveles de 0,15 a 0,1% son deficientes. En el caso del K, una concentración del 2 al 2,5% es suficiente para asegurar una excelente cosecha; si el nivel está debajo del 1,5%, la hoja está deficiente. El porcentaje promedio del Ca en las hojas jóvenes tiene generalmente entre 1 a 1,5% y las hojas adultas 2% o más; en caso de deficiencia el nivel crítico está por debajo de 0,8% (10, 13).

La razón de que no se hubiera encontrado deficiencias en el contenido mineral en las plantas lixiviadas, se explica debido al hecho de no haberse realizado dicho análisis en su oportunidad, es decir, poco tiempo después de terminado el lavado de las plantas. El atraso se debió a que los síntomas tardaron varias semanas hasta presentarse bien marcadamente. Este tiempo se considera como suficiente para que la planta se hubiese recuperado en los nutrimentos perdidos, compensados por redistribución desde otras partes de la planta o más bien, por absorción a través de las raíces, reemplazando así las cantidades perdidas. Las plantas experimentan esta recuperación siempre y cuando el espacio radical contenga los nutrimentos en abundancia, tal como ocurrió en nuestro experimento. Esta explicación es confirmada por los trabajos realizados por varios investigadores (20, 21, 31, 35, 36) los que demostraron, utilizando trazadores radiactivos, que existe en reemplazo de nutrimentos por traslado desde el tallo y raíces.

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos en el presente trabajo demuestra claramente que las plantas de cacao (Clon UF. 667) son consideradas como susceptibles al proceso de lixiviación y como consecuencia a sufrir pérdidas considerables de nutrimentos inorgánicos y orgánicos.

2. Durante el crecimiento y desarrollo de las plantas, la pérdida de algunos de los elementos que participan en el proceso metabólico, particularmente durante su período crítico, influencia grandemente el subsecuente comportamiento de la planta. En efecto, poco tiempo después de terminado el lavado de las plantas, éstas mostraron síntomas de necrosis y defoliación, posiblemente atribuibles a la pérdida de nutrimentos por el lavado. Sin embargo, esta sugestión no se pudo comprobar a través del análisis químico de los tejidos foliares, pues desafortunadamente este no fue realizado en su debida oportunidad por falta de información; por lo que los síntomas de deficiencia pasaron desapercibidos más o menos por un tiempo de unos dos semanas en el que las plantas lograron recuperarse por compensación de nutrimentos desde otras partes.

3. Se observó una tendencia de mayores pérdidas de nutrimentos en las plantas lixiviadas comenzando de día, que en las plantas lixiviadas comenzando de noche; en efecto se consiguieron respuestas estadísticamente significativas para los elementos considerados con excepción del magnesio.

4. La comparación de las pérdidas entre las hojas viejas y jóvenes o viceversa, parece indicar que las diferencias son relativamente pequeñas por lo menos en lo que respecta al cacao, tanto las unas como

las otras presentan más o menos el mismo grado de susceptibilidad a la lixiviación. Sin embargo, se observa una tendencia de mayores pérdidas en las hojas viejas que en las jóvenes cuando el turno de lixiviación se comienza precisamente con las primeras; y viceversa, las pérdidas son mayores en las hojas jóvenes que en las viejas cuando el turno de lixiviación se comienza por aquéllas. En ninguno de los dos casos las pérdidas son significativas.

5. Se ha encontrado que en un período de 24 horas, las pérdidas acumulativas de nutrimentos perdidos son una función directa del tiempo a lo largo de la duración del período de lixiviamiento, excepto para las últimas horas en que las pérdidas declinan rápidamente. En efecto, las pérdidas totales para cada uno de los nutrimentos lavados durante las 24 horas de lixiviación se tornan cuantitativamente importantes para el subsecuente comportamiento de la planta.

6. En el estudio de la influencia del ciclo luz-oscuridad, al comparar las pérdidas de los tres elementos, se observó las siguientes diferencias: las mayores pérdidas corresponden al potasio, luego sigue las de calcio y a éstas siguen las del magnesio. Las diferencias entre el calcio y el magnesio son considerablemente grandes.

En cambio en el estudio de la influencia de la edad fisiológica de las hojas, se presentó la siguiente secuencia de pérdidas: las mayores pérdidas corresponden al K. En segundo lugar le sigue la de Mg en el caso de las plantas lixiviadas, comenzando por las hojas viejas; o le sigue el Ca en el caso de las plantas lixiviadas, comenzando por las hojas jóvenes.

7. A pesar de que el material vegetal usado fue aparentemente uniforme, se observó hasta cierto punto variabilidad en las cantidades perdidas, por el cual el error experimental fue relativamente alto en los análisis estadísticos.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo principal investigar el grado de susceptibilidad de cacao a la lixiviación y la evaluación de algunos factores que pueden afectar la pérdida de los nutrimentos inorgánicos: potasio, magnesio y calcio, a saber: duración y reversión del período de luz y de oscuridad, edad fisiológica de las hojas y duración del período de lixiviación - en relación con el incremento de las pérdidas de los nutrimentos K, Mg y Ca.

Se usaron plantas de cacao de 10 a 14 meses de edad, provenientes de semillas del Clon UF. 667, que fueron cultivadas en el invernadero en macetas de hojalata.

El procedimiento experimental empleado en el presente trabajo consistió en someter las plantas de cacao al proceso de lixiviación por la acción de una llovizna artificial de agua desmineralizada, aplicado por un sistema de cuatro atomizadores a presión. Esta agua de lixiviación pasó después a través de una columna de resina catiónica Amberlita IR-120. En la misma se adsorbían los nutrimentos catiónicos lixiviados del follaje de las plantas. Luego la resina fue eluída con HCl al 10% obteniéndose un extracto del lavado. Por último, siguiendo métodos de análisis químicos corriente se determinó la cantidad del potasio, calcio y magnesio lavados. Se expresaron tales pérdidas en miligramos por unidad de superficie foliar y por unidad de tiempo de lixiviación.

En general, los resultados parecen indicar que las plantas de cacao pueden considerarse relativamente susceptibles a la lixiviación y por lo tanto sufren pérdidas considerables de nutrimentos con una lluvia fuerte.

Se determinó que existe una tendencia de sufrir mayores pérdidas en la luz que en la oscuridad.

No se pudo observar diferencias significativas en las cantidades perdidas entre las hojas de diferente edad fisiológica.

Las pérdidas totales durante las 24 horas de lixiviación se tornan cuantitativamente importantes para cada uno de los nutrimentos la vados.

Las pérdidas de K fueron mayores que las de Ca y Mg en todos los experimentos realizados.

SUMMARY

The principal objectives of this study were to investigate the degree of susceptibility of cacao plants to leaching and the evaluation of some factors which affect the loss of the inorganic nutrients: potassium, calcium and magnesium such as the duration and reversion of the light and dark period, physiological age of the leaves and duration of the leaching period.

Cacao plants of Clone UF 667 were used, with an average age between 10 and 14 months. They were grown in the greenhouse in tin pots from seedlings.

The experimental procedure employed in the present study consisted in submitting the cacao plants to a process of leaching of artificial rain of demineralized water, applied by a system of four pressure nozzles. The leaching water passed then through a column of cationic ion exchange resin, Amberlite IR-120. In this the cationic nutrients leached from the foliage of the plants were adsorbed.

The resin was then eluted with 10% HCl, resulting in an extract. This was chemically analyzed by the usual methods for the amounts of potassium, magnesium and calcium. The losses were expressed in milligrams per unit leaf surface and per unit time of leaching.

In general the results seem to indicate that cacao plants can be considered rather susceptible to leaching and thus suffer considerable losses of nutrients by a strong rain.

It appears that there exists a tendency that losses are heavier during the light period than in darkness.

No significant differences could be observed as to the amounts lost by leaves of different physiological age.

The total losses during a 24 hour period of leaching become quantitatively important for each of the leached nutrients.

The losses of potassium were higher than for calcium and magnesium in all of the experiments carried out.

LITERATURA CITADA

1. BHAN, K. C., et al. Some mineral losses from leaves by leaching. Proceedings of the American Society for Horticultural Science 73:289-293. 1959.
2. BONNER, J. Y GALSTON, A. W. Principios de fisiología vegetal. Madrid, Aguilar. 1961. 485 p.
3. BOROUGHS, H. y LABARCA, C. El uso de humectantes en nutrición foliar. Turrialba (Costa Rica) 12(4):204-208. 1962.
4. BUDOWSKI, G. y SCHREUDER, G. H. The climate at Turrialba. Communications from Turrialba (Costa Rica). nº 68. 1962. 35 p.
5. CASSIDY, H. G. Adsorption and chromatography. New York, Interscience, 1951. pp:267-286. (Technique of Organic Chemistry v. 5).
6. CROCCOMO, O. J. y MENARD, L. N. Estudio sobre la distribución de S³⁵ en café. Anales de la Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Brasil) 18:169-181. 1961.
7. CURTIS, L. C. Deleterious effects of guttated fluids on foliage. American Journal of Botany 30:778-781. 1943.
8. DALBRO, S. Leaching of apple foliage by rain. In International Horticultural Congress, 14th, Netherland, Aug. 29 - sept. 6, 1955. Report Wageningen, Netherlands, 1955. pp:770-778. v. 1.
9. EVANS, H. y FENNAH, R. G. Investigations on the mineral nutrition of cacao. In Imperial College of Tropical Agriculture. A report on cacao research, 1945-1951. St. Augustine, Trinidad, The Imperial College of Tropical Agriculture, 1953. pp:38-52.
10. _____ y MURRAY, D. B. A colour-illustrated guide to the diagnosis of mineral deficiencies in cacao. In Imperial College of Tropical Agriculture. A report on cacao research, 1945-1951. St. Augustine, Trinidad, The Imperial College of Tropical Agriculture, 1953. pp:65-66.
11. GUILBERT, H. R. y MEAD, S. W. The digestibility of bur clover as affected by exposure to sun light and rain. Hilgardia 6(1): 1-12. 1931.
12. _____, MEAD, S. W. y JACKSON, H. C. The effect of leaching on the nutritive value of forrage plants. Hilgardia 6(1):13-26. 1931.

13. ✓ HARDY, F. Manual de cacao. Turrialba (Costa Rica), Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1961. 439 p.
14. _____. Soil conditions at I.A.I.A.S. and suggestions for future soil research. Turrialba (Costa Rica), Interamerican Institute of Agricultural Science, 1963. 7 p. (Mimeographed).
15. ✓ HELFFERICH, F. Ion exchange. New York, Mc Graw-Hill, 1962. 624 p.
16. HOLDRIDGE, L. R. Determination of world plant formation from simple climate data. Science 105(2727):367-368. 1947.
17. HUNTER, A. H. y COLEMAN, N. T. Ion exchange separations in the determination of some polyvalent metal ions in plant tissue. Soil Science 90(4):214-215. 1960.
18. LONG, W. G., SWEET, D. V. y TUKEY, H. B. The loss of nutrients by leaching of the foliage. Michigan. Agricultural Experiment Station. Quarterly Bulletin 38(4):528-532. 1956.
19. ✓ LOTT, W. L., et. al. La técnica del análisis foliar en los estudios del café. New York. Instituto IBEC de Investigaciones Técnicas. Boletín nº 9. 1959. 29 p.
20. MECKLENBURG, R. A. y TUKEY, H. B., Jr. Influence of foliar leaching on root uptake and translocation of calcium -45 to the stems and foliage of Phaseolus vulgaris. Plant Physiology 39(4):533-536. 1964.
21. _____ y TUKEY, H. B., Jr. Uptake by the root and subsequent distribution within the potato plant of strontium - 89 leached from the foliage. Nature 198(4880):552-563. 1963.
22. MEYER, B., et. al. Introduction to plant physiology. Princenton, N.J., D. van Nostrand.
23. MORGAN, J. V. y TUKEY, H. B., Jr. Characterization of leachate from plant foliage. Plant Physiology 39(4):590-593. 1964.
24. ROMBERGER, J. A. A suggested method for fractionation of plant extracts. Berkeley, California, N. S., Forest Service, Pacific South West Forest and Range Experiment Station. 1960. 15 p.
25. SAMUELSON, O. Ion exchange separations in analytical chemistry. New York, Wiley, 1963. 474 p.
26. STENLID, G. Salt losses and redistribution of salts in higher plants. In Ruhland, W. et al. Handbuch der Pflanzenphysiologie. Berlin, Springer, 1958. v. 4. pp:615-633.

27. SWEET, D. V. y TUKEY, H. B., Sr. The loss of nutrients by leaching of the foliage. Michigan Agricultural Experiment Station. Quarterly Bulletin 38(4):528-532. 1956.
28. TUKEY, H. B., Jr. Leaching of metabolites from above ground plant parts, with special reference to cuttings used for propagation. Reimpreso de Proceedings. Plant Propagators Society 1962:63-70.
29. _____ . Leaching of nutrients from plant foliage by rain and mist. Reimpreso de American Rose Annual. 1964:102-111.
30. _____ y ANLING, H. J. Leaching of foliage by rain and dew as an explanation of differences in the nutrient composition of greenhouse and field-grown plants. Michigan, Agricultural Experiment Station. Quarterly Bulletin 40(4):876-881. 1958.
31. _____ y MECKLENBURG, R. A. Leaching of metabolites from foliage and subsequent reabsorption and redistribution of the leachate in plants. American Journal of Botany 51(7): 737-742. 1964.
32. _____ y MORGAN, J. V. Injury to foliage and its effect upon the leaching of nutrients from above-ground plant parts. Physiologia Plantarum 16:557-564. 1963.
33. ✓ _____ y MORGAN, J. V. The occurrence of leaching from above-ground parts and the nature of the material leached. In International Horticultural Congress, 16th., Brussels, Aug. 31 - Sept. 8, 1962. Belgium, J. Duculot, 1962. pp:153-160.
34. ✓ _____ y ROMBERGER, J. A. The nature of substances leached from foliage. Pasadena (California), Institute of Technology, 1959. 1 p.
35. ✓ _____ y TUKEY, H. B., Sr. The loss of organic and inorganic materials by leaching from leaves and other above-ground plant part. Viena, International Atomic Energy Agency, 1962. pp:289-302.
36. ✓ _____, TUKEY, H. B., Sr. y WITTWER, S. H. Loss of nutrients by foliar leaching as determined by radioisotopes. Proceedings of the American Society for Horticultural Sciences 71:496-506. 1958.
37. _____, WITTWER, S. H. y TUKEY, H. B., Sr. Leaching of carbohydrates from plant foliage as related to light intensity. American Association for the Advancement of Science 126:120-121. 1957.

38. TUKEY, H. B., Sr. y TUKEY, H. B., Jr. Practical implications of nutrient losses from plant foliage by leaching. Proceedings of the American Society for Horticultural Science 74:671-676. 1959.
39. TUKEY, H. B., Sr. et al. Utilization de los isótopos radiactivos en el estudio del grado de efectividad de la absorción foliar de los elementos nutritivos por las plantas. In Conferencia Internacional sobre la Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos, Ginebra, agosto 8-20, 1955. Actas, Ginebra, Naciones Unidas, 1956. v. 12. pp: 154-160.
- ✓ 40. WITTWER, S. H. y TEUBNER, F. G. Foliar absorption of mineral nutrients. Annual Review of Plant Physiology 10:13-27. 1950.