



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"CUAUTITLAN"

EFFECTO DEL pH EN EL ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS DE ALGUNAS ESPECIES FRUTALES Y ORNAMENTALES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRICOLA

P R E S E N T A :

MARIA ESTHER MARTINEZ BARRAGAN

DIRECTOR DE TESIS: M.C. ANGEL VILLEGAS MONTER



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	3
REVISION DE LITERATURA	4
1. Generalidades sobre el Enraizamiento de Estacas	4
1.1 Tipo de Estaca	4
1.2 Ventajas del Enraizamiento de Estacas	5
1.3 Desventajas del Enraizamiento de Estacas	6
2. Desarrollo Anatómico de Raíces	6
2.1 Formación de Raíces Adventicias	6
3. Bases Fisiológicas de la Iniciación de Raíces	7
3.1 Sustancias del Crecimiento	7
3.1.1 Auxinas	7
3.2 Cofactores de Enraizamiento	10
4. Factores que influyen en el Enraizamiento de Estacas	12
4.1 Influencia de la Especie y el Cultivar	12
4.2 Condición Fisiológica de la Planta Madre	12
4.3 Juvenilidad o Edad de la Planta Madre	13
4.4 Tipo de Estaca por su Posición en la Rama	14

	Pág.
4.5 Efecto de Hojas y Yemas	15
4.6 Epoca del Año en que se Tomen las Estacas	15
4.7 Condiciones Ambientales para el Enraizamiento de Estacas	16
4.7.1 Agua	16
4.7.2 Temperatura	17
4.7.3 Luz	18
4.7.4 Medio de Enraizamiento	19
5. pH como Parte Integrante del Medio de Enraizamiento	21
5.1 Efecto del pH del Sustrato	22
5.1.1 Efecto del pH del Medio en la Producción de Raíces	22
5.1.2 Efecto del pH del Sustrato en el Transporte de Iones	25
5.1.3 Daños del Ión Hidrógeno	28
5.1.4 Efectos de la Actividad de la Raíz en el pH del Sustrato	29
6. Técnicas Utilizadas para Mejorar el Enraizamiento de Estacas	32
6.1 Uso de Auxinas y Cofactores para el Enraizamiento	32
6.2 Lesionado de Estacas	33
6.3 Etiolación - Centrifugación	33

	Pág.
6.4 Utilización del pH para Mejorar el Enraizamiento de Estacas	34
6.4.1 Pretratamientos Acidos y Básicos	34
6.4.2 Pretratamientos de Remojo en Agua a Diferentes Valores de pH	39
6.4.3 Pretratamientos con Productos Químicos	40
MATERIALES Y METODOS	44
Primera Parte	45
Experimento 1	45
Experimento 2	47
Experimento 3	49
Segunda Parte	51
Experimento 1	51
Experimento 2	53
Tercera Parte	55
RESULTADOS	61
Primera Parte	61
Experimento 1	61
Experimento 2	61
Experimento 3	62
Segunda Parte	62

	Pág.
Experimento 1	62
Experimento 2	63
Tercera Parte	63
GRAFICAS	
Primera Parte	65
Experimento 1	65
Experimento 2	67
Experimento 3	69
Segunda Parte	71
Experimento 1	71
Experimento 2	73
Tercera Parte	75
ANALISIS	76
Primera Parte	76
Experimento 1	76
Experimento 2	80
Experimento 3	82
Segunda Parte	83
Experimento 1	83
Experimento 2	85

	Pág.
Tercera Parte	86
ANALISIS GENERAL	90
CONCLUSIONES	93
Primera Parte	93
Experimento 1	93
Experimento 2	93
Experimento 3	94
Segunda Parte	95
Experimento 1	95
Experimento 2	95
Tercera Parte	95
CONCLUSIONES GENERALES	97
SUGERENCIAS	98
ANEXOS	99
BIBLIOGRAFIA	106

I N T R O D U C C I O N

El conocimiento de la forma de reproducción de las plantas es importante, ya que en base a esto se puede optimizar el uso del material vegetal para obtener un mayor beneficio en su propagación, por ejemplo, una mayor eficiencia en la multiplicación de algún material de importancia económica o para perpetuar una especie a través del tiempo.

Una de las formas de propagación de plantas es el enraizamiento de estacas, que se utiliza principalmente en aquellas donde se presentan dificultades en la germinación de semillas, además es fácil, rápida y económica. La mayoría de las especies pueden ser objeto de propagación por estacas, lo importante es conocer los factores que la condicionan y el empleo de las técnicas convenientes, para tener éxito en esta forma de propagación.

Uno de los factores que se pueden considerar en el enraizamiento de estacas es la reacción pH, pudiéndose aprovechar para la estimulación del enraizamiento.

Por un lado, el pH del sustrato es uno de los factores más importantes que influyen en el enraizamiento porque puede afectar al tipo de sistema radical que se origine de la estaca. Son pocos los estudios que se han realizado al respecto y se basan en la estrecha relación que se establece entre la estaca y el pH del sustrato, originándose cambios que favorecen o anulan el enraizamiento. Generalmente se le resta atención a este factor o se piensa que el sustrato debe tener un pH cer-

cano a la neutralidad, sin embargo, se ha comprobado que cuando la estaca se encuentra en un medio con pH cercano al pH del suelo nativo se obtiene un mejor enraizamiento.

Por otro lado, la aplicación de soluciones ácidas o alcalinas originan daños en la estaca dependiendo de su intensidad, en base a esto, varios autores han demostrado la influencia de la utilización del pH en técnicas que mejoran en forma significativa el enraizamiento de estacas, ya sea operando con tratamientos rápidos en soluciones fuertemente ácidas o alcalinas (pretratamientos ácidos y básicos), o bien con tratamientos no tan drásticos, pero por períodos de tiempo más largos (pretratamientos de remojo de estacas en agua a diferentes valores de pH). Estos tratamientos se aplican antes de los reguladores de crecimiento y se ha visto que provocan un efecto sinérgico en el enraizado. Inclusive el pH de los tratamientos con reguladores de crecimiento puede afectar el enraice, aunque éste todavía no está comprobado.

Considerando lo anterior, en este trabajo se analizará la influencia del pH del sustrato en el enraizamiento de estacas y la utilización de pretratamientos ácidos y básicos como una técnica para mejorar el enraizado en especies frutales y ornamentales.

OBJETIVOS

1. Evaluar las variaciones que existen en el pH del sustrato de enraizamiento durante el proceso de iniciación y desarrollo de raíces en estacas de Sauce, Hiedra y Violeta Africana.
2. Evaluar el comportamiento de estacas sometidas a un pH constante de 3, 5, 7, 9 y 11, durante el período de enraizamiento en Hiedra y Sauce.
3. Observar la respuesta a la aplicación de pretratamientos ácidos y básicos, bajo la influencia de 5 diferentes rangos de pH del medio de enraizamiento en estacas de Manzano, Ciruelo y Bugambilia.

REVISIÓN DE LITERATURA

1. Generalidades sobre el Enraizamiento de Estacas.

El estacado es una técnica completa que aprovecha la capacidad de las plantas para formar raíces adventicias en distinto tipo de material fraccionado de la planta madre, las cuales llegan a formar el sistema radical y foliar de una nueva planta.

El enraizamiento de estacas se empleaba muy comúnmente en árboles con gran facilidad para formar raíces como olivo, higuera y membrillo (Calderón, 1977).

1.1 Tipo de Estaca.

Hartmann y Kester (1977) mencionan que las estacas pueden ser de hoja, raíz o tallo, dependiendo de la especie que se quiere propagar.

Las estacas de tallo son el tipo más importante y se dividen en cuatro grupos de acuerdo a la naturaleza de la madera usada.

De Madera Dura. Las estacas se preparan en la estación de reposo, se usan frecuentemente en la propagación de plantas leñosas y arbustos ornamentales caducifolios.

De Madera Semidura. Las estacas de este tipo, por lo general se obtienen de especies leñosas siempre verdes de hoja ancha,

las cuales se toman durante los meses del verano de las ramas nuevas. Las estacas se hacen dejando hojas en el extremo superior. Son propagados por este tipo de estacas muchos arbustos ornamentales y algunos frutales como los cítricos y el olivo.

De Madera Suave. Son estacas preparadas del crecimiento primaveral nuevo, suave y succulento, por lo general enraizan con más facilidad y rapidez que las de otro tipo. Son apropiadas para arbustos ornamentales, aunque algunas especies frutales como el manzano, peral, durazno y ciruelo son propagados por estacas de este tipo bajo nebulización.

Herbáceas. Son estacas con hojas, la mayor parte de las estacas para flores se propagan por este método, necesitan alta humedad ambiental para enraizar.

1.2 Ventajas del Enraizamiento de Estacas.

- Es prácticamente el único método de propagación de plantas arbóreas que puede competir económicamente contra la reproducción por semillas y pegaría aún cuando solo hubiera - prendimiento de un 25%.
- Se pueden propagar vegetativamente muchas plantas en un espacio limitado y partiendo de pocas plantas madres.
- Es barato, rápido y simple.

- La uniformidad genética es mayor, ya que la planta madre suele regenerarse con exactitud (Hernández, 1977).

1.3 Desventajas del Enraizamiento de Estacas.

- Posible propagación de patógenos.
- Reducidos porcentajes de prendimientos en algunas especies y variedades (Hernández, 1977).

2. Desarrollo Anatómico de Raíces.

2.1 Formación de Raíces Adventicias.

La iniciación de raíces adventicias se presenta en células localizadas en el exterior y entre los haces vasculares; en las estacas de tallo, el origen de la mayoría de las raíces adventicias se encuentra en grupos de células que son capaces de volverse meristemáticas, localizadas en tejidos de floema joven secundario, de los radios vasculares, del cambium o de la médula (Hartmann y Kester, 1977).

En los iniciales de raíz continúa la división celular y se forma el primordio de la raíz, que por constante división adquiere el aspecto de una punta de raíz, donde se forma un sistema vascular que se conecta con el haz vascular adyacente.

La punta de la raíz seguirá creciendo hacia afuera, a través de la corteza, saliendo de la epidermis del tallo (Hartmann

y Kester, 1977).

En algunas plantas, las raíces adventicias se forman durante los primeros períodos de desarrollo del tallo intacto y están presentes cuando se hacen las estacas. Estas estructuras son llamadas INICIALES DE RAIZ PREFORMADAS, se presentan en plantas que enraizan con facilidad como el sauce, álamo, jazmín, grosello y acitrón (Hartmann y Kester, 1977).

3. Bases Fisiológicas de la Iniciación de Raíces.

3.1 Reguladores del Crecimiento.

Existen varios grupos de reguladores naturales vegetales que promueven el crecimiento, de las cuales las auxinas son las más importantes en la formación de raíces (Hartmann y Kester, 1977).

3.1.1 Auxinas. La auxina natural es sintetizada principalmente en las yemas apicales y en las hojas jóvenes.

Hay una variedad de compuestos químicos que tienen actividad de auxina, el ácido indolacético que ha sido aislado de tejidos vegetales, y otros compuestos químicos que no han sido aislados de tejidos vegetales, entre los que se encuentran el ácido naftalenacético, ácido indolbutírico y el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (Hartmann y Kester, 1977).

La función de la auxina más extensamente investigada es la que se refiere al crecimiento celular. La auxina se requiere para el aflojamiento de la pared celular y no para el alargamiento celular propiamente dicho.

Durante el proceso de crecimiento celular por aflojamiento de la pared celular sucede:

- La auxina provoca el aflojamiento de la pared celular, bajando así la resistencia de la misma.
- El potencial de presión decrece, el potencial hídrico interno disminuye y el agua se mueve hacia adentro, debido a la diferencia de potencial hídrico interno y externo.
- El volumen celular se incrementa y la pared se endurece irreversiblemente (Grajales y Martínez, 1982).

Existen diferentes teorías acerca del mecanismo de acción de las auxinas. Hager, et. al. (1971) citado por Uhrström (1974) han sugerido que la auxina podría actuar como promotor de la enzima ATP-asa ligada a la membrana o una bomba de protones, la cual aumenta la concentración de protones en la pared celular, esto lleva a un incremento en la actividad de las enzimas que originan el aflojamiento de la pared. Reayle y Cleland (1970) citados por Uhrström (1974) sugieren que los H^+ no activan las enzimas asociadas a la pared, pe-

ro en su lugar hidrolizan algunos enlaces ácidos lábiles en la pared celular no enzimáticamente.

Galston et. al. (1980) en relación a la "Teoría de la Bomba de Protones" sugieren un modelo para explicar la elongación de la pared celular bajo la influencia de las auxinas:

Como las paredes celulares se extienden a lo largo, es necesario que las fibrillas de celulosa puedan deslizarse entre sí. Una pared se distiende como resultado del rompimiento de uniones entre polímeros, por lo que debe existir un mecanismo que forme nuevamente las uniones después de la expansión. Las uniones no covalentes que existen entre estos polímeros son los puentes de hidrógeno. Este movimiento podría llevarse a cabo por un mecanismo que catalice el rompimiento y reformación de estos puentes de hidrógeno. Se ha visto que la velocidad de movimiento se incrementa al disminuir el pH. Por lo que se sugirió que posiblemente la auxina activa una bomba de protones a nivel de plasmalema, provocando un descenso en el pH de la solución en la matriz de la pared celular. Con esto, alguna enzima o enzimas se activan (por el pH bajo) en la pared celular, rompiendo las uniones de polisacáridos y permitiendo que las fibrillas de celulosa se deslicen

entre sí bajo la influencia de la presión que provoca la entrada de agua.

El conocimiento acumulado de la acción de las auxinas se ha traducido en diversas aplicaciones prácticas, una de las cuales es promover la iniciación de raíces en las estacas. Thimann y Went (1934) citados por Hartmann y Kester (1977) fueron los primeros en demostrar que las auxinas estimulan la formación de iniciales de raíz.

La confirmación la obtuvieron Kögl, Thimann y Koepfli (1935) citados por Hartmann y Kester (1977) con una prueba en la que se vió que el ácido indolacético sintético era tan activo en la formación de raíces como la auxina natural. Así se supo en forma definitiva que cuando menos una de las hormonas que inducen la formación de iniciales de raíz era idéntica a la auxina. A partir de entonces se ha comprobado que el ácido indolacético, el ácido naftalenacético y el ácido indolbutírico son promotores del enraizamiento en estacas.

3.2 Cofactores de Enraizamiento.

Sachs (1882) citado por Hartmann y Kester (1977) postuló la existencia de una sustancia formadora de raíces elaborada en

las hojas, que se movía hacia abajo de la base del tallo en donde estimulaba la formación de raíces.

Bouillenne y Went (1933) citados por Hartmann y Kester (1977) encontraron en cotiledones, hojas y yemas, sustancias que estimulaban el enraizamiento de estacas, a las que llamaron Rizocalinas.

Bouillenne y Walrand (1955) citados por Hartmann y Kester (1977) llegaron a proponer que la rizocalina podría ser considerada como un complejo de tres componentes:

- Un factor específico, traslocado de las hojas y caracterizado químicamente como orto-dihidroxifenol.
- Un factor no específico (auxina) que es traslocado y se encuentra a bajas concentraciones y
- Una enzima específica que se encuentra en las células de ciertos tejidos (periciclo, floema, cambium), que tal vez sea del tipo polifenol-oxidasa.

La rizocalina puede ser considerada como un paso en la cadena de reacciones que termina en la diferenciación de tejidos y finalmente en la organización de una estructura radicular (Hartmann y Kester, 1977).

Hess (1963) citado por Hartmann y Kester (1977) aisló cofactores de enraizamiento de las estacas, las sustancias de procedencia natural que localizó, parecen actuar como cofactores

del ácido indolacético en la estimulación de raíces.

4. Factores que Influyen en el Enraizamiento de Estacas.

4.1 Influencia de la Especie y el Cultivar.

La capacidad para formar raíces adventicias es diferente entre especies y cultivares de las mismas, ya que algunas plantas pueden producirlas en forma abundante y otras presentar dificultades para hacerlo. Estas variaciones obedecen a diferencias anatómicas, fisiológicas y bioquímicas entre especies y cultivares, por lo que es necesario hacer pruebas con cada clon que se desea propagar (Hartmann y Kester, 1977).

4.2 Condición Fisiológica de la Planta Madre.

La nutrición de la planta madre ejerce una fuerte influencia sobre el desarrollo de las raíces y ramas en las estacas tomadas de ellas (Hartmann y Kester, 1977).

Cheffins (1975) dice que después del enraizamiento, las estacas serán transferidas al vivero, donde comenzará el crecimiento iniciada la primavera y la sobrevivencia dependerá de las reservas de carbohidratos; si las estacas no poseen adecuadas reservas de carbohidratos, morirán.

Hartmann y Kester (1977) mencionan que en muchos casos se puede favorecer el enraizamiento de estacas, si en las plantas

madres existe un equilibrio de bajo contenido de nitrógeno y elevado de carbohidratos, esto se puede lograr de diversas maneras:

- Reduciendo la provisión de nitrógeno a la planta madre, con lo que se reduce el crecimiento de las ramas y se permite la acumulación de carbohidratos.
- Escoger ramas que estén en estado nutritivo adecuado, por ejemplo, tomar ramas laterales en las que ha disminuido el crecimiento rápido y se han acumulado carbohidratos.
- Seleccionar regiones de ramas que poseen altos contenidos de carbohidratos. Generalmente, existe una mayor acumulación de carbohidratos en las partes basales de las ramas.

4.3 Juvenilidad o Edad de la Planta Madre.

Las plantas que se encuentran en estado juvenil enraizan mejor, que aquellas que están en la fase adulta del crecimiento (Hartmann y Kester, 1977).

La planta debe alcanzar cierto tamaño antes de pasar al estado adulto y de esa altura hacia abajo prevalece la condición de juvenilidad (Hernández, 1977).

La juvenilidad en algunas plantas es caracterizada por su gran facilidad para formar raíces adventicias e inhabilidad para formar flores, la habilidad de plantas juveniles a producir

raíces adventicias con facilidad es un proceso común en algunas especies y decrece o es baja en formas adultas (Janick, 1979).

4.4 Tipo de Estaca por su Posición en la Rama.

En la formación de raíces, también influye la porción de la rama de donde se tomen las estacas, ya que en la composición química de la rama hay marcadas diferencias de la base a la punta. Para estacas de madera dura se prefiere usar partes basales y para estacas de madera suave, partes apicales. Esto probablemente se deba a que en tallos leñosos de un año o más de edad, los carbohidratos se han acumulado en la parte basal, donde se pueden formar iniciales de raíz bajo la influencia de sustancias promotoras de raíces, procedentes de yemas y hojas. En el caso de las estacas de madera suave, su situación fisiológica es diferente, en ellas no se encuentran iniciales preformadas de raíz, ni hay almacenamiento de carbohidratos. El mejor enraizamiento de las puntas de las ramas puede ser explicado por la posibilidad de que en la porción terminal de ellas, se encuentra una mayor concentración de algunas sustancias endógenas promotoras del enraizamiento originadas en la sección terminal o bien, por la menor diferenciación y la mayor capacidad de las células a volverse meristemáticas (Hartmann y Kester, 1977).

4.5 Efecto de Hojas y Yemas.

Para estacas con hojas, éstas son importantes porque constituyen la fuente principal de carbohidratos y de auxinas; los carbohidratos proporcionan la energía y las auxinas promueven la elongación celular en el enraizamiento. La presencia de yemas en las estacas es definitiva para un buen enraizamiento. Went (1929) y O'Rourke (1940) citados por Hartmann y Kester (1977) consideran que una estaca sin yemas no forma raíces, aún cuando se trate con soluciones ricas en auxinas. Esto indica la presencia de cofactores en las yemas, que son necesarios para la formación de raíces.

La brotación temprana de las yemas puede ser un factor que influya en el enraizamiento de las estacas, puesto que las reservas de energía que poseen se destinan a la brotación, en lugar de promover el enraizamiento (Ruelas, 1976).

4.6 Época del Año en que se Tomen las Estacas.

La época del año en que se tomen las estacas, puede ejercer una gran influencia sobre el enraizamiento, ya que de ésta depende el estado fisiológico de la estaca. Las estacas de madera dura pueden tomarse en la estación de reposo, las de madera semidura o aquellas de madera suave con hojas, pueden ser preparadas durante la estación de crecimiento, usando madera suculenta o parcialmente madura, las especies siempre verdes

tienen durante el año uno o más períodos de crecimiento y se pueden obtener estacas en diversas épocas relacionadas con esas temporadas de desarrollo (Hartmann y Kester, 1977).

Howard y Nahlawi (1969) confirman que la colección de material en otoño, hace posible un período suficientemente largo para propagación, pero la relativa habilidad de las estacas para enraizar puede ser determinada a diferentes fechas; obtuvieron que para ciruelo, el tomar material en octubre, febrero y marzo, las estacas son capaces de enraizar en un mes, sin embargo, si se toman a la mitad del invierno, el enraizamiento puede ser nulo. Las estacas colectadas en marzo tienen la desventaja de que el crecimiento de los brotes muere rápido, antes de que se desarrollen nuevas raíces.

Howard (1978) considera que la propagación de portainjertos de manzano a nivel de campo es mejor cuando se realiza en febrero, pues el enraizamiento es más rápido por tomarse las estacas en período de invierno, cuando sus requerimientos de estimulación son mínimos y conservan las estacas suficientes reservas para sobrevivir; en marzo se obtienen sobrevivencias pobres, debido a la presencia de yemas en desarrollo y con ello grandes consumos de carbohidratos, sin existir raíces.

4.7 Condiciones Ambientales para el Enraizamiento de Estacas.

4.7.1 Agua. La falta de humedad ambiental y agua en el me-

dio de enraizamiento, pueden considerarse como factores limitantes, sobre todo cuando se trabaja con estacas de hoja, puesto que la provisión de agua que contiene la estaca se pierde por transpiración y puede ocasionar la reducción del nivel hasta un punto en que se presente la muerte antes de que se formen las raíces. En especies de fácil enraizamiento, la formación de raíces pronto permite que la absorción de agua compense la cantidad que es eliminada por las hojas, pero en especies de enraizamiento lento, la transpiración de las hojas se debe reducir a una cantidad muy baja hasta que se formen las raíces, esto se puede lograr utilizando por ejemplo, la nebulización y en algunos casos anti-transpirantes (Hartmann y Kester, 1977).

4.7.2 Temperatura. Ortega (1977) citado por Salazar (1982) dice que la temperatura óptima para el enraizamiento depende de la especie y de otros factores, pero por lo general, la temperatura del sustrato debe ser mayor que la ambiental en 5°C para estimular mayor actividad en la parte basal de la estaca.

Hartmann y Kester (1977) mencionan que en la cama de enraizamiento, las temperaturas diurnas de 21° a 27°C, con temperaturas nocturnas de alrededor de 15°C, son satisfactorias para hacer enraizar a la mayoría de las

especies, aunque algunas enraicen mejor a temperaturas mas bajas.

Howard (1968) al trabajar con estacas de madera dura de portainjertos de manzano, señala que un gran número de estacas enraizaron con incrementos de temperatura en el medio de enraizamiento de 21°C.

4.7.3 Luz. La luz es un factor primordial para las plantas, ya que es la fuente de energía para la fotosíntesis.

En el enraizamiento de estacas con hojas, los productos de la fotosíntesis son importantes para la iniciación y crecimiento de raíces. La intensidad y la duración de la luz debe ser de magnitud suficiente para que se produzcan carbohidratos en cantidades superiores a los que se usen en la respiración. En las estacas de madera dura, sin hojas, se dependerá de los carbohidratos almacenados (Hartmann y Kester, 1977).

Stoutemyer y Close (1964) citados por Hartmann y Kester (1977) demostraron que la radiación rojo-naranja del espectro, favorece más el enraizamiento de estacas, que la de la zona azul.

El fotoperíodo en que se desarrolle la planta madre, también puede ejercer influencia sobre el enraizamiento de las estacas de ellas obtenidas. En algunos casos,

esto puede estar relacionado con la acumulación de carbohidratos, obteniéndose el mayor enraizamiento con fotoperíodos largos (Hartmann y Kester, 1977).

Se tiene conocimiento que el ahilamiento de los tejidos de tallo en las regiones donde se espera que se formen raíces, conduce a la iniciación de primordios radicales por la desdiferenciación de los tejidos (Hartmann y Kester, 1977).

Kawase (1976) sugiere que la luz probablemente afecte a la raíz a través de la modificación del metabolismo de la auxina. Los cortes bajo etiolación retienen un nivel más alto de ácido indolacético en el lugar de la etiolación durante el enraizamiento, que en los cortes no etiolados.

Galston y Baker (1953) citados por Kawase (1976 mencionan que los tallos de chícharo producidos bajo la luz, tuvieron menos capacidad para absorber ácido indolacético de la solución que aquellos que habían crecido en la oscuridad.

4.7.4 Medio de Enraizamiento. El medio de enraizamiento es un factor muy importante, porque puede afectar al sistema radical que se genere de la estaca. Tiene tres funciones primordiales: es sostén de la estaca durante

el período de enraizamiento; proporciona humedad a la estaca y permite la penetración de aire a la base de las mismas (Hartmann y Kester, 1977).

Hernández (1977) dice que las estacas muestran diferente grado de exigencia con respecto al medio de enraizamiento, pero se puede señalar que para este factor, las características más deseables son:

- Ser lo suficiente firme y denso para mantener en su lugar a la estaca; que su volumen no varíe muy seco o mojado.
- Retener bastante humedad para un mayor espaciamiento en los riesgos.
- Ser poroso para que la aereación y el escurrimiento del exceso de agua se faciliten.
- Estar libre de malezas, nemátodos y otros patógenos.
- Se debe poder esterilizar con vapor sin sufrir efectos nocivos.

Entre los sustratos más comúnmente usados en la propagación por estacas están: suelo, arena, tierra de monte, acerrín, residuos vegetales, musgo turboso, musgo esfagníneo desmenuzado, vermiculita, piedra pomez, agrolita, agua, aire saturado de humedad y las combinaciones de éstos (Hernández, 1977).

El medio de arraigo no es necesario que sea rico en nutrientes, porque en la fase de enraizamiento éstos no son tomados del medio, sino de las reservas presentes en las estacas (Hernández, 1977).

5. pH como Parte Integrante del Medio de Enraizamiento.

Existe una relación muy estrecha entre las raíces de las plantas y el sustrato donde se desarrollan, estableciendo un fenómeno de asociación raíz-sustrato, que origina procesos de intercambio en los cuales, las raíces juegan un papel muy activo. Dentro de estos procesos, puede mencionarse el hecho de que las raíces excretan grandes cantidades de anhídrido carbónico, sustancias ácidas y sustancias orgánicas, debido a ésto se facilita la entrada de iones del sustrato a la raíz (Buckman y Brady, 1977).

De acuerdo a esta estrecha relación, el pH del medio influye en las raíces de varias maneras: puede afectar la emergencia de iniciales de raíz, a través del efecto directo del H^+ , que influye indirectamente en la asimilación de nutrientes y en la presencia de iones tóxicos (Buckman y Brady, 1977).

Hernández (1977) señala que la mayoría de las plantas prefieren un pH en el medio de enraizamiento cercano a la neutralidad. Sin embargo, algunos estudios indican la tendencia de las plantas a formar raíces en un rango aproximado al suelo nativo, por ejemplo, Gypsophila paniculata es una planta originaria de suelos calcáreos

y los mejores crecimientos en producciones comerciales se obtienen a un pH de 6.5 a 7.5, por lo que su enraizamiento óptimo ocurre a un pH en el medio de enraizamiento de neutro a básico y los valores de pH ácido lo inhiben (Locklear y Prece, 1983).

Estudios realizados con azalea, bugambilia, liquidambar y pino, indican que estas especies enraizan mejor en medios de enraizamiento ácidos (Lee et. al. 1977).

5.1 Efectos del pH del Sustrato.

5.1.1 Efecto del pH del Medio en la Producción de Raíces.

Kerridge (1969) citado por Moore (1974) menciona que las pequeñas reducciones en la producción y la elongación de la raíz son debidas a la concentración del H^+ .

Bruckel y Johnson (1969) citados por Hartmann y Kester (1977) mencionan que el pH del medio de enraizamiento puede ser un factor de importancia para la producción de raíces adventicias.

Los estudios con estacas de Tuja orientalis enraizadas en perlita saturada con soluciones a diversos valores de pH, indicaron que el mejor enraizamiento se conseguía con pH 7. El incremento de la acidez del medio en forma marcada inhibió el enraizamiento, pero los altos niveles de alcalinidad no lo redujeron en forma significativa.

Zucconi y Pera (1977) experimentaron el efecto del pH y de la nutrición mineral sobre el enraizamiento. - Trabajaron con estacas de frijol "mungo", a las que se les suministró una solución nutritiva (N,P,K). Obteniendo que la actividad depende estrictamente del pH con una máxima respuesta a pH 6.5. Este efecto de dependencia al pH prevaleció por sobre las variaciones de los elementos químicos y de sus concentraciones. - Concluyen que la función estimuladora del pH en el -- enraizamiento parece excluir el papel nutricional de los elementos suministrados.

El crecimiento de la raíz es afectada por valores de pH extremos. Un efecto directo del pH en el crecimiento de raíces ha sido ilustrado en experimentos hechos por Arnon y Johnson (1942) citados por Moore --- (1974) en tres especies, zacate bermuda (Cynodon dactylon), tomate (Lycopersicum esculentum Mill.) y lechuga (Lactuca sativa) que crecieron en soluciones nutritivas en las cuales el pH tuvo variaciones de 3 a 9, el pH de cada tratamiento se mantuvo ajustado. A pH 3, las tres especies mostraron una falta completa de crecimiento de la raíz. Las raíces de las plántulas tenían daños severos y mostraron decaimiento poco después de su exposición a este pH. A pH 4 ocurrió un sustancial crecimiento de raíces, y en el caso del za-

cate bermuda, el máximo crecimiento de raíz sucedió a este pH. En lechuga y tomate, el mayor crecimiento se obtuvo a pH 5. A partir de estos valores se presenta una declinación del crecimiento, siendo muy drástico a pH 9, para las tres especies.

Nowaczyk y Borys (1978) trabajaron con Saintpaulia ionantha (estacas de hoja) y Coleus blumei (estacas de talo), utilizaron como medio de enraizamiento soluciones nutritivas a pH 4.5-5.8 y 3.5-5.5, respectivamente. Encontraron que para C. blumei el pH bajo tuvo un efecto benéfico en el número de raíces producidas y para S. ionantha el pH de 4.5 incrementó el largo de la raíz. Existen pruebas de que el pH del medio de enraizamiento puede influir sobre el tipo de callo que se produzca, el cual a su vez puede afectar la emergencia de raíces adventicias de nueva formación; en estudios realizados por Cormack (1965) y Lemay (1966) citados por Hartmann y Kester (1977) se usaron estacas de élamo de bálsamo (Populus balsamifera), se encontró que con un pH de 6.0, las células del callo eran grandes y algo suaves y las estacas enraizaron con facilidad. Con el aumento de la alcalinidad, la masa de callo se volvió más pequeña hasta que a pH 11, las células del callo eran pequeñas y estaban dispuestas en forma compacta en una

estructura macisa calcárea. Esas estacas no mostraron raíces; aunque al seleccionarlas se encontraron debajo del callo iniciales de raíz bien formadas.

3.1.2 Efecto del pH del Sustrato en el Transporte de Iones

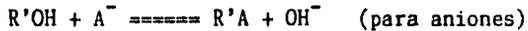
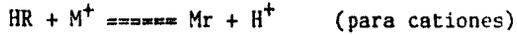
Moore (1974) indica que el pH de la solución o del suelo, afectan marcadamente la absorción de cationes y aniones por las raíces. Encontró que el máximo porcentaje de absorción de cationes sucedió en valores de pH de 5 a 7, a valores menores de pH 5, la absorción es muy reducida por la alta concentración de H^+ . Varios autores citados por Moore (1974) anuncian este comportamiento en la absorción de potasio, litio, sodio rubidio, cesio, magnesio, calcio y manganeso. Los valores mas altos de pH materialmente no abaten la obtención de cationes. Aparentemente el mecanismo de absorción de cationes no es afectado por OH^- , Jacobson et. al. (1957) citado por Moore (1974) dicen que la entrada de potasio por raíces de cebada, casi mantienen máximos porcentajes a partir de pH 6 por encima de pH 10. Similares resultados fueron obtenidos por Moore et. al. (1961) para magnesio, y por Jacobson et. al. (1960) citados por Moore (1974) para litio, sodio, rubidio y cesio.

En contraste, la absorción de aniones es relativamente menos afectada por H^+ , pero mas afectada por OH^- . Jacobson et. al. (1957) citado por Moore (1974) trabajando con cebada encontraron que la absorción de bromo fué máxima a un pH cercano a 5 y declinó constantemente a medida que el pH fué incrementado a 10.5, a valores menores a pH 5 la absorción decreció, pero no tan marcada como la absorción de potasio. Resultados similares se mencionan para cloro absorbido en raíces de maíz (Zea mays) en comparación con la obtención de calcio.

Hagen y Hopkins (1955) citados por Moore (1974) señalan que la absorción de $H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-} por raíces de cebada fué afectada por valores de pH alcalino, y esto fué atribuido a la competencia del OH^- .

Moritsugu y Kawasaki (1982) trabajando con plantas de arroz, cebada, frijol, pepino, maíz y tomate, encontraron que la absorción de cationes (magnesio, manganeso, zinc, calcio) no es afectada a pH mayor a 5.5 y fué disminuída a un pH de la solución nutritiva mas baja. En cambio, en maíz y arroz la obtención de fosfato (PO_4^{-3}) fué ligeramente estimulada a pH 3.

Jacobson et. al. (1950) citado por Moore (1974) formulan la "teoría portadora", en donde toman en consideración los efectos del H^+ y OH^- en la absorción de iones



donde M^+ es el catión, A^- es el anión y R y R' son los transportadores moleculares hipotéticos. Este modelo es adecuado para representar los efectos del pH en la absorción desde que se consideró el H^+ competiría con los cationes y que el OH^- competiría con los aniones.

Moore (1974) menciona que el calcio y otros cationes polivalentes, aparentemente juegan un papel crucial manteniendo la integridad de los procesos de absorción, especialmente en los rangos de pH ácidos; esto se debe a que el calcio disminuye los efectos competitivos del H^+ en la absorción.

En valores de pH 6 o menores, el calcio estimula grandemente la absorción de potasio, en soluciones muy ácidas (pH 3) estimula la absorción de sodio. Aunque los cationes polivalentes exhiben efectos regulatorios sobre el transporte de iones, el calcio es uno de los más importantes en mantener la integridad del mecanismo de absorción, es el único de los cationes polivalentes que generalmente no es tóxico y puede ser empleado para establecer o resituar otros cationes intercambiables que son tóxicos cuando se presentan en cantidades excesivas (Moore, 1974).

5.1.3 Daños del H^+ . Diversos autores citados por Moore - (1974) encontraron que a valores de pH menores a 4, el H^+ causa una pérdida, previa a la absorción de iones a partir de tejidos de raíz, de cationes como calcio y magnesio. Bajos valores de pH también causaron una pérdida de fósforo inorgánico, fósforo orgánico y nitrógeno soluble a partir de raíces de cebada, lo cual sugiere que el H^+ casi siempre, incrementó la impermeabilidad de las membranas celulares y permitió que los constituyentes de las células salieran.

Fawzy et. al. (1954); Jacobson et. al. (1960) citados por Moore (1974) mostraron que el calcio puede proteger un tanto el tejido de la raíz a partir de los efectos perjudiciales del pH bajo. A bajas concentraciones de calcio, en pH bajo, se origina un desorden en la estructura citoplásmica de las células de la raíz.

Locklear y Prece (1983) trabajaron con Gypsophila paniculata (originaria de suelos calcáreos), obteniendo una inhibición aparente del enraizamiento a pH bajo, la cual atribuyeron a los bajos niveles de calcio intercambiable en el medio de enraizamiento.

Parece que el calcio es probablemente indispensable no solo como un regulador del transporte selectivo de iones, sino también en el mantenimiento de la integridad de las membranas. Al afectar los H^+ el mecanismo

de transporte de iones y la permeabilidad de las membranas, se sugiere un sitio de acción común entre el calcio y el ión hidrógeno (Moore, 1974).

5.1.4 Efectos de la actividad de la raíz en el pH del sustrato. Los cambios del pH alrededor de las raíces podría tener efectos marcados en las raíces mismas, que a su vez pueden modificar el pH del medio. Moore (1974) menciona que el resultado neto del exceso de la absorción de cationes, es liberar H^+ a partir de la raíz, mientras los resultados del exceso de la absorción de aniones es el liberar OH^- o HCO_3^- .

Hoagland y Broyer (1940) citados por Moore (1974) midieron los cambios de pH que ocurrieron cuando las plantas crecieron en una solución nutritiva completa. Inicialmente, el pH fué ligeramente superior de 5, este decreció durante 5 horas, bajando a 4. Después de 20 horas subió hasta aproximadamente 7. Concluyeron que el pH bajó debido a la absorción de más cationes que aniones; el subsecuente incremento del pH resultó a partir de la absorción de más aniones que cationes. Como el pH bajó, la absorción de aniones es menos afectando la absorción de cationes, y por eso, los cambios de pH se deben a que se obtiene un desequilibrio.

Una situación similar existiría cuando sube el pH.

Referente a la absorción de iones por las raíces, varios autores citados por Moore (1974) indican que los cationes monovalentes son rápidamente absorbidos, mientras que los divalentes, especialmente el calcio, son mas lentamente absorbidos; los aniones monovalentes son generalmente más rápidamente absorbidos que los aniones polivalentes. Así, una sal como K_2SO_4 sería fisiológicamente ácida desde que el potasio entrara a las raíces más rápidamente que el sulfato (SO_4). Por la misma prueba, el cloruro de calcio ($CaCl_2$) sería fisiológicamente alcalino, desde que el calcio entra lentamente y el Cl^- rápidamente.

Pitman (1970) citado por Moore (1974) considera que el H^+ fluye de las raíces de cebada en soluciones de sulfato de potasio (K_2SO_4).

Moore (1974) considera que los cambios en el pH pueden tener también profundos efectos en el medio ambiente de la raíz. La mayoría de los cambios notables del pH en el volumen de la solución nutritiva son un reflejo de los grandes cambios ocurridos inmediatamente junto a la superficie de la raíz o dentro de las regiones del cortex de la raíz. Los cambios del pH del medio debidos a la actividad de la raíz, son probable-

mente de gran significado en el sustrato (suelo ó soluciones). En solución nutritiva los H^+ y OH^- liberados, podrían ser disipados rápidamente, pero en el suelo el cambio de pH es probable que persista, porque la solución inmediata a la raíz es relativamente estática. El movimiento del agua en el suelo, es usualmente hacia la raíz de una planta transpirando y por eso, los cambios sustanciales de pH podrían ocurrir y persistir adyacentes a la raíz cuando exista una liberación neta de H^+ u OH^- .

El pH del medio ambiente de la raíz puede tener efectos significativos en las especies iónicas formadas y en torno a eso, puede tener efectos fisiológicos significativos. Un ejemplo es la toxicidad del aluminio; Kerridge (1969) citado por Moore (1974) empleando raíces crecidas como un indicador de la toxicidad, mostró que una concentración de dos p.p.m. de aluminio fué en consideración más tóxica en raíces de trigo a un pH 4.5 que a un pH 4.0. Sugirió que uno de los productos de la hidrólisis del aluminio es el responsable de la toxicidad. Estos productos son el Al^{+++} y el $AlOH^{++}$. El aluminio es soluble a pH 4.0, pero existe 10 veces mas Al^{+++} que $AlOH^{++}$. Como el pH se incrementa por encima de 4.0, la forma del Al^{+++} declina mientras que la forma $AlOH^{++}$ se incrementa, y la toxicidad del alu-

minio soluble también se incrementa, por lo que concluye que la forma $AlOH^{++}$ es la responsable de los efectos adversos del Al soluble en las raíces de las plantas.

Los sistemas de Al^{+++} -- $AlOH^{++}$, NH_4^+ -- NH_3 y $H_2PO_4^-$ -- $HPO_4^{=}$, son probablemente las formas iónicas más importantes afectadas por el pH (Moore, 1974).

6. Técnicas utilizadas para Mejorar el enraizamiento de estacas.

Existen varias técnicas que tienen como objetivo incrementar el porcentaje de estacas que formen raíces, acelerar la formación de las mismas, aumentar el número y la calidad de raíces formadas en cada estaca y aumentar la uniformidad del enraizado (Hartmann y Kester, 1977).

6.1 Uso de Auxinas y Cofactores para el Enraizamiento. Dentro de estas técnicas encontramos que las más comunes son los tratamientos con auxinas y con cofactores de enraizamiento. La aplicación de auxinas estimula la iniciación de raíces, incrementa el porcentaje de enraizamiento y acelera el tiempo de enraizado; conjuntamente con las auxinas se pueden aplicar - compuestos fenólicos como el ácido caféico, catecol y el ácido clorogénico para incrementar el enraizamiento (Salazar, - 1982).

Ruelas (1976) indica que el flavonoide Rutin, interactúa favorablemente con el ácido indolbutírico para promover el enraizamiento, en concentraciones de 2000 p.p.m. de ácido indolbutírico con 1000 p.p.m. de Rutin y concluye que se debe buscar un balance entre los niveles de auxinas y cofactores, para que se obtengan estacas bien foliadas y con un buen sistema radicular, ya que al incrementarse el enraizamiento se corre el riesgo de disminuir la brotación, ya que existe una inhibición correlativa entre estos procesos fisiológicos generalmente.

6.2 Lesionado de Estacas. La producción de raíces en estacas de tallo puede ser estimulada lesionando la base de las mismas. Para lo cual, se hacen en cada lado de la estaca, con una navaja, incisiones que penetren por la corteza hasta la madera, hacia la base y que tengan de 2 a 5 centímetros de largo. Después, la estaca se trata inmediatamente con alguno de los compuestos estimuladores del enraizamiento (Hartmann y Kester, 1977).

Couvillon et. al. (1975) menciona que realizando heridas mecánicas de 2.5 centímetros a lo largo y en ambos lados de la estaca, se tiene una mayor penetración del tratamiento químico y mayor facilidad de enraizamiento.

6.3 Etiolación - Centrifugación. Esta técnica fué estudiada por

De Lary y Uright (1978). La etiolación es el efecto de ahilamiento, que se produce en una planta cuando se somete a condiciones de oscuridad, originando que los tejidos estén menos diferenciados y que se encuentre una mayor concentración endógena de auxina y cofactores de enraizamiento. Estos autores realizaron un experimento combinando la etiolación y la centrifugación; las estacas se centrifugaron (estacas de sauce), favoreciendo el enraizamiento, porque hubo una acumulación de carbohidratos y hormonas de crecimiento en la base de la estaca, lo que unido a la etiolación, sugiere una mayor concentración de auxinas y cofactores en la parte etiolada, favoreció el desarrollo de raíces en forma abundante; cuando no se centrifugó ni se etioló, el número de raíces fué muy bajo.

6.4 Utilización del pH para Mejorar el Enraizamiento de Estacas.

6.4.1 Pretratamientos Acidos y Básicos. Lee et. al. (1977) trabajó en la promoción del enraizamiento de estacas de plantas ornamentales por medio de la utilización de pretratamientos ácidos y básicos, para lo cual se basó en las siguientes afirmaciones: las auxinas promueven la formación de raíces adventicias en estacas de muchas plantas; se sabe que las auxinas promueven al crecimiento de coleótilos de avena por medio de la secreción del H^+ y acidificación de la pared celular. La acidi-

ficación de la pared celular origina su ruptura, por la actividad enzimática o por el rompimiento no enzimático de los enlaces ácidos lábiles. En un medio de pH bajo, se encuentran efectos similares al de las auxinas en el crecimiento de coleóptilos de avena.

Este autor supone que si una mínima parte de los efectos de las auxinas se debiera a la ruptura de la pared celular al incrementar la acidez, entonces los pretratamientos de estacas en un medio ácido podrían posteriormente estimular la habilidad de enraizamiento.

El objetivo del estudio fué determinar la influencia del ácido o la base en pretratamientos bajo la habilidad de enraizamiento de diversas plantas ornamentales.

Lee et. al. (1977) en el experimento utilizó como ácido al H_2SO_4 al 2 N, con un tiempo de inmersión basal de 15 segundos; como base al NaOH con un pH de 10.5, con un tiempo de 10 minutos y además, 30 estacas por cada una de las diecisiete especies. Las estacas fueron tratadas con ácido o base, lavadas posteriormente con agua destilada y entonces se sumergieron en una solución de ácido indolbutírico a 3000 p.p.m., durante 10 segundos para estacas herbáceas y 20 segundos para estacas de madera dura. 30 estacas tratadas sólo con ácido indolbutírico sirvieron como testigo.

Lee et. al. (1977) encontró que los pretratamientos ácidos o básicos influyen en forma significativa en la habilidad de enraizamiento de las estacas estudiadas. Las estacas de Bougambillea, Ceratonía, Chrysantemum, Euonymus, Euphorbia, Hedera, Juglans y Salix, tuvieron un número significativo de raíces, como resultado del pretratamiento ácido. El pretratamiento básico, incrementó en forma significativa el número de raíces en estacas de azalia, liquidambar y Osmanthus. El enraizamiento de Bougambillea se incrementó por ambos pretratamientos. El porcentaje de enraizamiento de especies de relativa dificultad en estacas de raíz de Ceratonía, Trachelospermum, Osmanthus, Pistaceae y Pinus fué incrementado por los pretratamientos. El pretratamiento ácido produce alargamiento de raíces en Ceratonía, Euonymus, Euphorbia y Juglans. Los pretratamientos disminuyeron el enraizamiento de Cotoneaster y Xylosna congestum.

Lee et. al. (1977) considera que las concentraciones del ácido o la base y los tiempos de inmersión, podrían resultar en efectos tóxicos para las plantas. Menciona además, que generalmente el pretratamiento ácido promueve el enraizamiento de las plantas nativas de suelos alcalinos o cercanos a la neutralidad, y las estacas

de plantas nativas de suelos ácidos, incrementan su habilidad de enraizamiento por la aplicación del pretratamiento básico. Concluye que la influencia del ácido o de la base en el enraizamiento, incrementó el número de raíces, el crecimiento de las mismas y en algunas especies el porcentaje de enraizamiento. Estos resultados sugieren que con una corta exposición al ácido, se podrían romper los eslabones ácidos lábiles (puente de carbono) en la pared celular de las plantas calcifolias. El pretratamiento básico podría romper los enlaces básicos lábiles (puentes de ester) en la pared celular de las plantas tolerantes a la acidez. Tales reacciones podrían separar la pared celular, incrementando así la permeabilidad al agua, facilitando la absorción de auxinas aplicadas y la emergencia de iniciales de raíz.

Locklear y Prece (1983) aplicaron esta misma técnica en estacas de Gypsophila paniculata utilizando ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 1 N por 10 segundos y el hidróxido de potasio (KOH) al 2 N por 5 segundos. Los más altos resultados se obtuvieron en todos los pretratamientos ácidos, por lo que se sugiere que los pretratamientos ácidos, quizá corten la conexión de la pared celular de las plantas calcifolias, aflojando la pared celular

e incrementándose el enraizamiento.

Ingram et. al. (1984) trabajó con estacas de Raphiolepis indica, las cuales fueron tomadas en junio y agosto. Les aplicaron tres pretratamientos: ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 2 N por 5 segundos; hidróxido de sodio (NaOH) a pH 10.5 por 5 segundos; y heridas mecánicas. Los resultados fueron que en las estacas tomadas en junio, las heridas y los pretratamientos con hidróxido de sodio (NaOH), no alteraron los efectos del ácido indolbutírico en el peso fresco de raíz y en el porcentaje de enraizamiento, los pretratamientos con ácido sulfúrico (H_2SO_4) redujeron el porcentaje de enraizamiento; en las estacas tomadas en agosto, los pretratamientos con ácido sulfúrico (H_2SO_4) incrementaron el enraizamiento y los pretratamientos con hidróxido de sodio (NaOH) y heridas, no alteraron los efectos del ácido indolbutírico. Por lo tanto, cuando las estacas se tomaron en junio (temprano), el pretratamiento ácido puede llegar a ser perjudicial; pero cuando se toman en agosto (tardío) cuando las posibilidades de enraizamiento van disminuyendo, el ácido sulfúrico (H_2SO_4) favorece el enraizamiento. Sugiere que la respuesta a los pretratamientos dependen de la edad fisiológica de la planta madre.

6.4.2 Pretratamientos de Remojo en Agua a Diferentes Valores de pH. La inmersión de estacas en agua puede influir en la capacidad de enraizamiento, esto ha sido realizado en varias especies, como la vid, el híbrido pérsico x almendro, sauce, castaño y plantas ornamentales (Bartolini et. al. 1977).

Bartolini et. al. (1977) estudió el efecto del remojo en agua a diferentes pH sobre la capacidad de enraizamiento de estacas de olivo var. "Frantoio". Analizó tres factores: el efecto del tratamiento hormonal (4000 p.p.m. de ácido indolbutírico); el efecto del remojo en agua a diversos pH (agua buffer a pH 5.5, 7 y 8.5) y por último, el efecto del tratamiento combinado (remojo por 24 horas en agua buffer a pH 5.5, 7 y 8.5 y después la aplicación de ácido indolbutírico a 4000 p.p.m.). Encontró que el tratamiento con ácido indolbutírico aumenta el porcentaje de enraizamiento, el número de raíces por estaca y la longitud media del brote; la influencia del remojo y del pH del agua muestra una acción más fuerte que la hormonal, obteniéndose los valores más altos a pH 8.5 en los parámetros medidos; y en la interacción de los dos tratamientos se destacan dos efectos importantes, la acción negativa del remojo a pH 7, que anula también la acción del estímulo hormo-

nal y el efecto positivo de la aplicación del ácido indolbutírico después del remojo a pH 8.5 en los tres parámetros estudiados. En los tratamientos ácidos se observa una acción decididamente negativa. Concluye que el efecto de la fuerza del pH depende de la especie y de la concentración de sales utilizada y que el remojo de la estaca en agua, modifica el equilibrio interno de la misma; la fuerza del pH facilita la salida de compuestos que determinan situaciones para bloquear o bien, exaltar los procesos de enraizamiento.

Pannelli et. al. (1979) trabajó con estacas de olivo var. "Frantoio" y "Leccino", las cuales fueron remojadas por 24 horas en agua o en soluciones amortiguadoras con un pH superior a 1.5 o inferior a 1.5, después fueron tratadas con ácido indolbutírico antes de su establecimiento. El enraizamiento fué mejorado por el remojo en agua. Los efectos de las soluciones amortiguadoras fueron similares a los de agua pura, aunque las soluciones amortiguadoras más ácidas mejoraron suavemente el enraizamiento.

6.4.3 Pretratamientos con Productos Químicos. Varios autores mencionan la existencia de un efecto sinérgico en el enraizamiento, debido a la interacción entre los

tratamientos de plantas con productos químicos y la aplicación de auxinas antes de la plantación. El modo de acción y los efectos diferenciales de los químicos no han sido esclarecidos, sin embargo, se ha pensado que el efecto de la auxina aún es discutible y que la actividad de estos productos depende del pH de la solución (Mudge y Swanson, 1978).

El morphactin inhibe la formación de raíces adventicias en estacas plantadas días después del tratamiento químico y el cycocel y el ethrel lo promueven. Cuando el ácido indolacético, ácido indolbutírico y ácido nafenacético son aplicados, se mejora el enraizamiento. Esto fué obtenido para estacas de Hibiscus cannabinus (Punjabi et. al. 1977), Phaseolus vulgaris (Punjabi y Basu, 1977) y mango (Sadhu, 1979).

Son pocos los estudios que se han realizado en relación al pH de la solución de los productos químicos, dentro de éstos, se encuentran el realizado por Mudge y Swanson (1978), en donde prueban el efecto del ethrel en el enraizamiento.

Se ha dicho que el ethrel puede promover, inhibir o no tener efectos en el enraizamiento de estacas de varias especies de plantas. Zimmerman y Wilcoxon (1935) citados por Mudge y Swanson (1978) sugieren que la esti-

mulación del enraizamiento con auxinas podría resultar a partir de la producción de etileno, estimulado con auxinas en los tejidos. Mudge y Swanson (1978) mencionan que la liberación de etileno a partir de ethrel ha sido probado que depende del pH. Cuando el ethrel no promueve el enraizamiento, existen posibilidades de que la causa en la ineficiencia en la liberación del gas etileno se deba al bajo pH de la solución de ethrel, puesto que varios autores han asumido que la liberación de etileno a partir de ethrel ocurre rápidamente a pH alto.

Mudge y Swanson (1978) estudiaron el efecto del etileno en el enraizamiento utilizando estacas de frijol "mungo", las cuales fueron tratadas con soluciones amortiguadoras y no amortiguadoras de ethrel a pH 3.7, 5.7 y 7.4, ácido indolbutírico y la combinación de ambas. Ninguno de los tratamientos con ethrel tuvo efectos en el enraizamiento, el ácido indolbutírico lo promovió fuertemente y la combinación de ambos no mejoró el enraizamiento obtenido con ácido indolbutírico solo. Concluyen que la falta de reacción al ethrel puede deberse a la formación de callo que impidió la emergencia de raíces. Los resultados de este experimento no comprueban que el efecto del ethrel dependa del pH, sin

embargo, Maynard y Swan (1963); Edgerton y Blanpied (1968) y Kawase (1971) han comprobado que el pH alto de la solución de ethrel incrementa el enraizamiento.

embargo, Maynard y Swan (1963); Edgerton y Blanpied (1968) y Kawase (1971) han comprobado que el pH alto de la solución de etrel incrementa el enraizamiento.

M A T E R I A L E S Y M E T O D O S

Para cumplir con los objetivos planteados, este trabajo consta de tres partes.

En la primera parte de esta serie de experimentos se evaluaron las variaciones del pH del medio desde el inicio de los experimentos hasta finalizar el período de enraizamiento, para lo cual se utilizó como sustrato, agua destilada a diferente pH, porque se facilitan las mediciones del mismo. Se emplearon estacas de Sauce (Salix paradoxa), Hiedra (Hedera sp.) y Violeta Africana (Saintpaulia sp.), que son especies de fácil enraizamiento en agua. Los experimentos se llevaron a cabo en el laboratorio de fruticultura del Colegio de Postgraduados de Chapingo, el de Sauce del 10 de septiembre al 3 de octubre, el de Hiedra del 16 de octubre al 5 de noviembre y el de Violeta Africana del 10 de septiembre al 9 de noviembre de 1984.

Para la segunda parte se realizaron dos experimentos, en los cuales se mantuvo constante el pH del medio de enraizamiento con el fin de observar la respuesta de las estacas ante esta condición. Se utilizaron estacas de Hiedra (Hedera sp.) y Sauce (Salix paradoxa). Se realizaron en el mismo lugar, el de Hiedra del 28 de noviembre al 14 de diciembre de 1984 y el de Sauce del 6 al 26 de marzo de 1985.

Por último se realizó un experimento en el cual se evaluó la aplicación de pretratamientos ácidos y básicos, y cinco rangos de pH en el sustrato, trabajando con tres especies, Manzano MM-106 (Malus pumila),

Ciruelo Mirobolano (Prunus cerasifera) y Bugambilia (Bougainvillea sp.). Este experimento se efectuó en el laboratorio y en el invernadero de la sección de fruticultura del C. P. de Chapingo, del 11 de abril al 23 de mayo de 1985.

Primera Parte

E x p e r i m e n t o 1

Materiales

- 100 estacas de Sauce de 25 cm.
- 10 litros de agua destilada
- 20 frascos de vidrio de medio litro.
- HCl al 1 N.
- NaOH al 0.1 N.
- Potenciómetro
- Papel aluminio
- 1 caja de cartón
- Bolsas de plástico negro

Metodología.

1. Características del Material Vegetal.

El Sauce es una especie que presenta iniciales de raíz preformadas, por lo que toda la parte del tallo puesta en contacto con el suelo desarrolla raíces (Hartmann y Kester, 1977).

Ciruelo Mirobolano (Prunus cerasifera) y Bugambilia (Bougainvillea sp.). Este experimento se efectuó en el laboratorio y en el invernadero de la sección de fruticultura del C. P. de Chapingo, del 11 de abril al 23 de mayo de 1985.

Primera Parte

E x p e r i m e n t o 1

Materiales

- 100 estacas de Sauce de 25 cm.
- 10 litros de agua destilada
- 20 frascos de vidrio de medio litro.
- HCl al 1 N.
- NaOH al 0.1 N.
- Potenciómetro
- Papel aluminio
- 1 caja de cartón
- Bolsas de plástico negro

Metodología.

1. Características del Material Vegetal.

El Sauce es una especie que presenta iniciales de raíz preformadas, por lo que toda la parte del tallo puesta en contacto con el suelo desarrolla raíces (Hartmann y Kester, 1977).

Se emplearon estacas de tallo de los brotes del crecimiento anterior, que se tomaron de los árboles de la UACH.

2. Planteamiento.

Se utilizaron en el sustrato 10 valores de pH (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12) y dos condiciones de desarrollo (luz y oscuridad), dando un total de 20 tratamientos, con cinco estacas por tratamiento.

3. Variables a Estudiar.

- Variaciones del pH.
- Número de raíces.
- Tamaño de raíz.
- Velocidad de Enraizamiento.

4. Sustratos.

Se preparó el agua destilada a los valores de pH correspondientes, utilizando HCl para acidificar el agua y NaOH para alcalinizarla. Con ayuda del potenciómetro se miden los pH deseados.

5. Preparación del Material Vegetativo.

Las estacas se lavaron para eliminar impurezas y posteriormente se cortaron en forma sesgada e inmediatamente abajo de un nudo o una yema, empleando 100 estacas basales de 25 cm de longitud.

6. Plantación.

Se colocaron cinco estacas por frasco que contenía medio litro de

agua con su respectivo pH y se tapó con papel aluminio para que la evaporación sea mínima y se disminuya el error por este factor.

En el caso de los tratamientos que permanecieron en oscuridad, los frascos se colocaron en la caja de cartón que se cubrió con bolsas de plástico negro para dar la condición de oscuridad.

7. Condiciones Ambientales.

Los tratamientos permanecieron bajo las condiciones del medio ambiente, con una temperatura media en el sustrato durante el período de enraizamiento de 22°C aproximadamente, no se utilizó ningún material que proporcionara una humedad relativa constante.

8. Toma de Datos.

Durante el tiempo que duró el experimento se midieron con el potenciómetro las variaciones del pH de cada tratamiento y en cuanto aparecieron las iniciales de raíz, se tomaron los datos de las otras variables.

E x p e r i m e n t o 2

Materiales

- 20 estacas de Hiedra de 20 cm.
- 5 litros de agua destilada.
- 10 frascos de vidrio de medio litro.
- HCl al 1 N.

- NaOH al 0.1 N.
- Potenciómetro.
- Papel aluminio.

Metodología.

1. Características del Material Vegetal.

En el caso de la Hiedra se utilizaron estacas con hojas de ramas vigorosas.

2. Planteamiento.

Se emplearon cinco valores de pH (3, 5, 7, 9, 11) y dos tipos de estacas (Basales y terminales), lo que da un total de 10 tratamientos, con dos estacas por tratamiento.

3. Variables a Estudiar.

- Variables de pH.
- Número de raíces.
- Tamaño de raíz.
- Velocidad de enraizamiento.

4. Sustratos.

Se preparó el agua destilada de la misma forma que en el experimento 1.

5. Preparación del Material Vegetativo.

Las estacas se lavaron y se cortaron en forma sesgada. Se utilizaron 20 estacas, 10 terminales y 10 basales de 20 cm de longitud, con 3 o 4 hojas por estaca.

6. Plantación.

Se pusieron dos estacas por frasco en medio litro de agua al pH correspondiente y se tapó con papel aluminio.

7. Condiciones Ambientales.

Semejantes al experimento 1.

8. Toma de Datos.

Los datos se tomaron de la misma forma que en el experimento 1.

Experimento 3

Materiales

- 60 estacas de hoja de Violeta Africana.
- 5 litros de agua destilada.
- 40 frascos chicos.
- HCl al 1 N.
- NaOH al 0.1 N.
- Potenciómetro.
- Papel aluminio.
- 1 caja de cartón.
- Bolsas de plástico negro.

Metodología.

1. Características del Material Vegetal.

En este experimento se emplearon estacas de hoja de Violeta Africana en estado maduro. Las estacas de hoja tienen la facultad de formar nuevas células meristemáticas que dan origen a los brotes y raíces.

2. Planteamiento.

Al igual que en el experimento 1, se utilizaron 10 valores de pH en el medio de enraizamiento (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12) y dos condiciones de desarrollo (luz y oscuridad), dando 20 tratamientos con tres estacas por tratamiento.

3. Variables a Estudiar.

- Variación del pH.
- Número de raíces.
- Tamaño de raíz.
- - Velocidad de enraizamiento.

4. Sustratos.

También se preparó de la misma manera que en el experimento 1.

5. Preparación del Material Vegetativo.

En este caso se emplearon 60 estacas, las cuales se cortaron en forma sesgada con un peciolo de 4 a 5 cm. de longitud.

6. Plantación.

Se colocaron 3 estacas por tratamiento en frascos pequeños y se taparon con papel aluminio. Los tratamientos en etiolación se pusieron en una caja de cartón que se cubrió con bolsas de plástico negro.

7. Condiciones Ambientales.

Semejantes al experimento 1.

8. Toma de Datos.

Igual que en el experimento 1.

Segunda Parte

Experimento 1

Materiales.

- 10 estacas de Hiedra de 20 cm.
- 2.5 litros de agua destilada.
- 5 frascos de vidrio de medio litro.
- HCl al 1 N.
- NaOH al 0.1 N.
- Potenciómetro.
- Papel aluminio.

Metodología.

1. Características del Material Vegetal.

Se utilizaron estacas terminales con hojas, de ramas vigorosas, ya que de acuerdo con el experimento 2 de la primera parte, son las que presentan un mejor enraizamiento.

2. Planteamiento.

Se trabajó con 5 tratamientos que corresponden a los 5 valores de pH en el sustrato (3, 5, 7, 9, 11) y dos estacas por tratamiento.

3. Variables a Estudiar.

- Variación del pH.
- Número de raíces.
- Tamaño de raíz.
- Velocidad de enraizamiento.

4. Sustratos.

Al igual que en los anteriores, se utilizó agua destilada como sustrato, empleando NaOH y HCl para alcanzar los valores de pH. En este caso se utilizó medio litro de agua para cada tratamiento.

5. Preparación del Material Vegetativo.

Las estacas se lavaron para eliminar impurezas y se cortaron en forma sesgada abajo de un nudo o una yema. Utilizando 10 estacas terminales de 20 cm de longitud, con 3 a 4 hojas por estaca.

6. Plantación.

En los frascos de vidrio se pone medio litro de agua con el pH correspondiente, se colocan 2 estacas por tratamiento y se tapan los frascos con papel aluminio.

7. Condiciones Ambientales.

Durante el período que duró el experimento, los tratamientos permanecieron bajo las condiciones medio ambientales del laboratorio, la temperatura del sustrato durante este tiempo fué de 22°C aproximadamente.

8. Toma de Datos.

Como se mantuvo constante el pH del medio de enraizamiento, diariamente se regulaba a su pH original con HCl o NaOH. En cuanto a las mediciones de las otras variables, estas se tomaron desde el momento en que aparecieron las iniciales de raíz.

E x p e r i m e n t o 2

Materiales.

- 25 estacas de Sauce de 25 cm.
- 2.5 litros de agua destilada.
- 5 frascos de vidrio de medio litro.
- HCl al 1 N.
- NaOH al 0.1 N.
- Potenciómetro.
- Papel aluminio.

Metodología.

1. Características del Material Vegetativo.

Para este experimento al igual que en el experimento 1 de la primera parte, se utilizaron estacas de tallo de los brotes del crecimiento anterior, que se tomaron de los árboles de la UACH.

2. Planteamiento.

También se trabajó con 5 tratamientos correspondientes a los valores de pH del sustrato (3, 5, 7, 9, 11) y cinco estacas por tratamiento.

3. Variables a Estudiar.

- Variables del pH.
- Número de raíces.
- Tamaño de raíz.
- Velocidad de enraizamiento.

4. Sustratos.

De la misma manera que en el experimento 1, se preparó medio litro de agua para cada pH.

5. Preparación del Material Vegetal.

Se utilizaron 25 estacas basales de Sauce de 25 cm, las cuales se prepararon de la misma manera que en los experimentos anteriores.

6. Plantación.

En este caso se procede igual que en el experimento 1, colocando 5 estacas por frasco.

7. Condiciones Ambientales.

Semejantes al experimento 1.

8. Toma de Datos.

Igual al experimento 1.

Tercera Parte

Materiales.

- 90 estacas de Manzano MM-106.
- 90 estacas de Ciruelo Mirobolano.
- 90 estacas de Bugambilia.
- Tierra de monte con arena + agrolita (3:1).
- H_2SO_4 puro.
- $Ca(CH)_2$.
- H_2SO_4 al 2 N.
- NaOH al 0.2 N.
- Acido indolbutírico.
- Alcohol.
- Captan.
- 5 cajones de madera con malla.
- 5 bolsas de plástico.

- Agua destilada.

Metodología.

1. Características del Material Vegetal.

El Manzano MM-106 es un portainjerto vigoroso, ramas algo abiertas, madera cubierta con pubescencia blanca, algo hinchado en los nudos, lenticelas inconspicuas y yemas gris cenizo, hojas aplanadas más bien brillantes. Arbol semienano, susceptible a bajas temperaturas y a la sequía. En las condiciones de Chapingo es medianamente prolífico en acodos de sepa y enraiza bien (Ortega, 1977 citado por Salazar, 1982). Calderón (1977) menciona que el MM-106 determina sobre la variedad de una gran precocidad y una alta productividad, teniendo además un buen anclaje.

El Ciruelo Mirobolano es el patrón más empleado para injertar ciruelo, esto se debe a su gran facilidad de propagación, tanto por semilla como vegetativamente, a la gran afinidad que presenta con la mayoría de las variedades comerciales, a su amplia adaptación a suelos de muy diferentes condiciones (húmedos, secos, sueltos, arcillosos o ligeros) y a su adaptación a condiciones metereológicas, sin embargo, presenta una cierta susceptibilidad a bajas temperaturas (Calderón, 1977).

Las plantas madres de las que se tomaron las estacas de estas dos especies, se encuentran en el huerto fenológico del Colegio de Postgraduados de Chapingo.

La Bugambilia es una de las plantas ornamentales con las que trabajó Lee et. al. (1977), encontrando que responde a la aplicación de pretratamientos ácidos y básicos, por lo tanto se tomó como especie testigo. Las estacas se tomaron de los jardines de la UACH.

2. Diseño Experimental.

Originalmente se planteó un factorial completo de $3 \times 3 \times 5$, empleando tres especies: Manzano, Ciruelo y Bugambilia; 3 tratamientos: pretratamiento ácido + AIB, pretratamiento básico + AIB y AIB sólo como testigo; y 5 valores de pH en el sustrato, 3, 5, 7, 9, 12. Dando un total de 45 tratamientos.

La unidad experimental consistió de 2 estacas con 3 repeticiones para hacer un total de 6 estacas por tratamiento. El número bajo de repeticiones por tratamiento se ajustó a la disponibilidad de material.

3. Variables a Estudiar.

- Número de raíces.
- Tamaño de raíz.
- Porcentaje de enraizamiento.
- Porcentaje de brotación.
- Variación del pH.

4. Sustratos.

Se empleó una mezcla de 3 partes de tierra de monte con arena por una parte de agrolita. Para obtener el pH del sustrato, se utilizó

Ca(OH)_2 y H_2SO_4 puro.

El sustrato tenía un pH original de 6.5 a 7.0, para cambiarlo al pH deseado, primero se midió su capacidad de retención de humedad. Después se preparó una solución de H_2SO_4 al 5% y de 50 gr. de Ca(OH)_2 en 100 ml. de agua. En muestras de 20 gr. de sustrato se agregaron 50 ml. de agua y la cantidad necesaria de solución ácida o alcalina para alcanzar los valores de pH. Conociendo esto y la capacidad de retención de humedad, se hizo una solución que se agregó a las cajas de madera que contenían el sustrato, y al día siguiente se midió el pH.

Debido al efecto amortiguador del suelo, esta operación se repitió hasta lograr que el pH se mantuviera más o menos constante, lo cual tardó aproximadamente 15 días.

5. Preparación de Soluciones.

Se utilizó AIB (ácido indolbutírico) disuelto en etanol al 20% y aforado con agua destilada a 50 ml. Las concentraciones de AIB usadas fueron, para Manzano 2000 ppm, para Ciruelo 1500 ppm y para Bugambilia 1000 ppm. Conjuntamente con el AIB, se agregaron 50 mgr. de fungicida Captán para evitar el ataque de hongos.

6. Preparación del Material Vegetativo.

Se emplearon estacas de 20 cm. de longitud, cortadas de las partes medias de las ramas para Ciruelo, de las partes apicales para Manzano y de las partes apicales de madera suculenta o parcialmente madura para Bugambilia. Cada estaca en la parte basal fué cortada inmediatamente

abajo de un nudo o una yema y se hicieron heridas en ambos lados, con una longitud de 2 a 3 cm.

Las estacas de Manzano se tomaron de ramas ya cortadas que se almacenaron en cámaras de refrigeración en el campo experimental de San Martín, Chapingo.

7. Aplicación de Tratamientos.

Primeramente las estacas recibieron una inmersión basal de 15 segundos en H_2SO_4 al 2 N o NaOH al 0.2 N. Inmediatamente después del pretratamiento se lavaron las estacas con agua destilada y entonces fueron sumergidas por 5 segundos en la solución de AIB.

8. Plantación.

Una vez aplicados los tratamientos, las estacas se plantaron, enterrando 2 o 3 yemas en el sustrato al pH correspondiente.

9. Condiciones Ambientales.

Después de la plantación, las cajas se regaron y se cubrieron con bolsas de plástico para conservar una humedad relativa constante. Los riegos se efectuaron el 18, 23 y 30 de abril, y el 8 y 15 de mayo. Las cajas permanecieron en el invernadero presentándose una temperatura media en el sustrato, durante el período de enraizamiento, de 23°C.

10. Toma de Datos.

Se hicieron observaciones cada siete días aproximadamente para ob-

servar el desarrollo del experimento y después de 6 semanas, se cosecharon las estacas cuantificándose las variables planteadas.

R E S U L T A D O S

Primera Parte

E x p e r i m e n t o 1

En las gráficas 1.1.1 y 1.1.2 se presentan los resultados de las variaciones del pH del sustrato y en la gráfica 1.2, los resultados finales de los parámetros de enraizamiento. En el número de raíces, tamaño de raíz y velocidad de enraizamiento, se presenta la media por estaca. Las tablas de estas gráficas se encuentran en el anexo 1.

Los tratamientos que permanecieron en luz, desarrollaron un sistema radical más fuerte, con raíces consistentes, diámetro mayor y con más raíces secundarias, en comparación con los tratamientos en etiolación que produjeron raíces más frágiles y delgadas.

También se obtuvo una mayor brotación de estacas en los tratamientos que permanecieron en luz.

Un día después de la exposición de las estacas a pH 3 y 12, en luz y oscuridad, la solución cambió a color café oscuro.

E x p e r i m e n t o 2

Los resultados de las variaciones del pH del sustrato se presentan en las gráficas 2.1.1 y 2.1.2, y los resultados finales de los parámetros de enraizamiento, en la gráfica 2.2. Tablas en el anexo 2.

Los tratamientos T-3 y B-3 se perdieron porque la superficie de la estaca que estaba en contacto con la solución se pudrió. Y T-11 y B-11 desarrollaron raíces e iniciales de raíz, pero se "quemaron".

Experimento 3

La mayoría de los tratamientos que permanecieron en etiolación se pudrieron, por lo que, las estacas que sobrevivieron, se expusieron a la luz el 8 de octubre para que enraizaran, por lo tanto no se obtuvieron resultados para esta condición.

Los tratamientos L-3 y L-12, también se pudrieron.

A los 53 días de iniciado el experimento, se presentó la brotación de los tratamientos que enraizaron.

Los resultados de este experimento se encuentran en las gráficas 3.1 y 3.2. Tablas en el anexo 3.

Segunda Parte

Experimento 1

En la gráfica 4.1 se presenta el promedio de la variación diaria del pH del medio de enraizamiento y en la gráfica 4.2, los resultados finales de los parámetros de enraizamiento, presentando la media por estaca en número de raíces, tamaño de raíz y velocidad de enraizamiento. Tablas en el anexo 4.

Los tratamientos con pH 3 y 11 mostraron estacas podridas y trozadas al nivel del agua, 3 días después de iniciado el experimento. A pH 5, las raíces que se llegaron a formar en los primeros días, se quemaron al permanecer en este medio. Y a pH 7, se desarrolló un sistema radicular fuerte y grande.

Experimento 2

Los resultados de este experimento se encuentran en las gráficas 5.1 y 5.2. Tablas en el anexo 5.

No se dió el enraizamiento de las estacas de los tratamientos a pH 3 y 11, y casi al finalizar el experimento, se presentó la pudrición de las bases de las mismas.

Tercera Parte

De las tres especies con las que se trabajó, sólo en la bugambilia se obtuvo respuesta al enraizamiento, con un porcentaje de enraizamiento del 20%.

En el Manzano, se observó en todos los pH que las lenticelas se hincharon pero no emitieron raíces; a pH 9 hubo formación de callo en el tratamiento testigo.

El Ciruelo también presentó lenticelas hinchadas sin formación de raíz; a pH 9 en una de las estacas del tratamiento testigo, se desarro-

llaron 3 raíces de 0.3, 0.5 y 0.5 cm. de longitud; y a pH 12 hubo desarrollo de callos y en una de las estacas del tratamiento testigo, una raíz de 1 cm. de longitud.

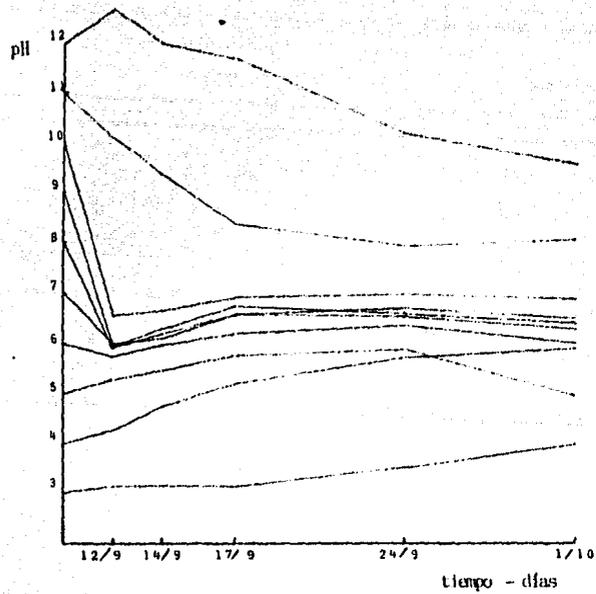
Los resultados del enraizamiento de Bugambilia, se muestran en la gráfica 6.1. Tabla en el anexo 6.

Aproximadamente 15 días después de la plantación, las estacas fueron atacadas por hongos, iniciándose y causando su mayor daño en las estacas de Manzano. Desde este momento se trató de controlar su proliferación con Captán.

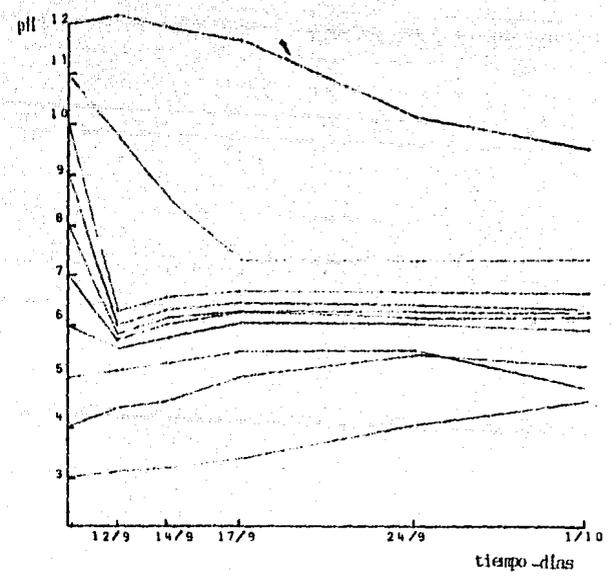
En contraste con los bajos resultados de enraizamiento, se presentaron altos porcentajes de brotación, los cuales se muestran en la tabla 6.2 que se encuentra en el anexo. No se encontró diferencia en la brotación de acuerdo con los tratamientos aplicados.

Los resultados de las variaciones del pH fueron:

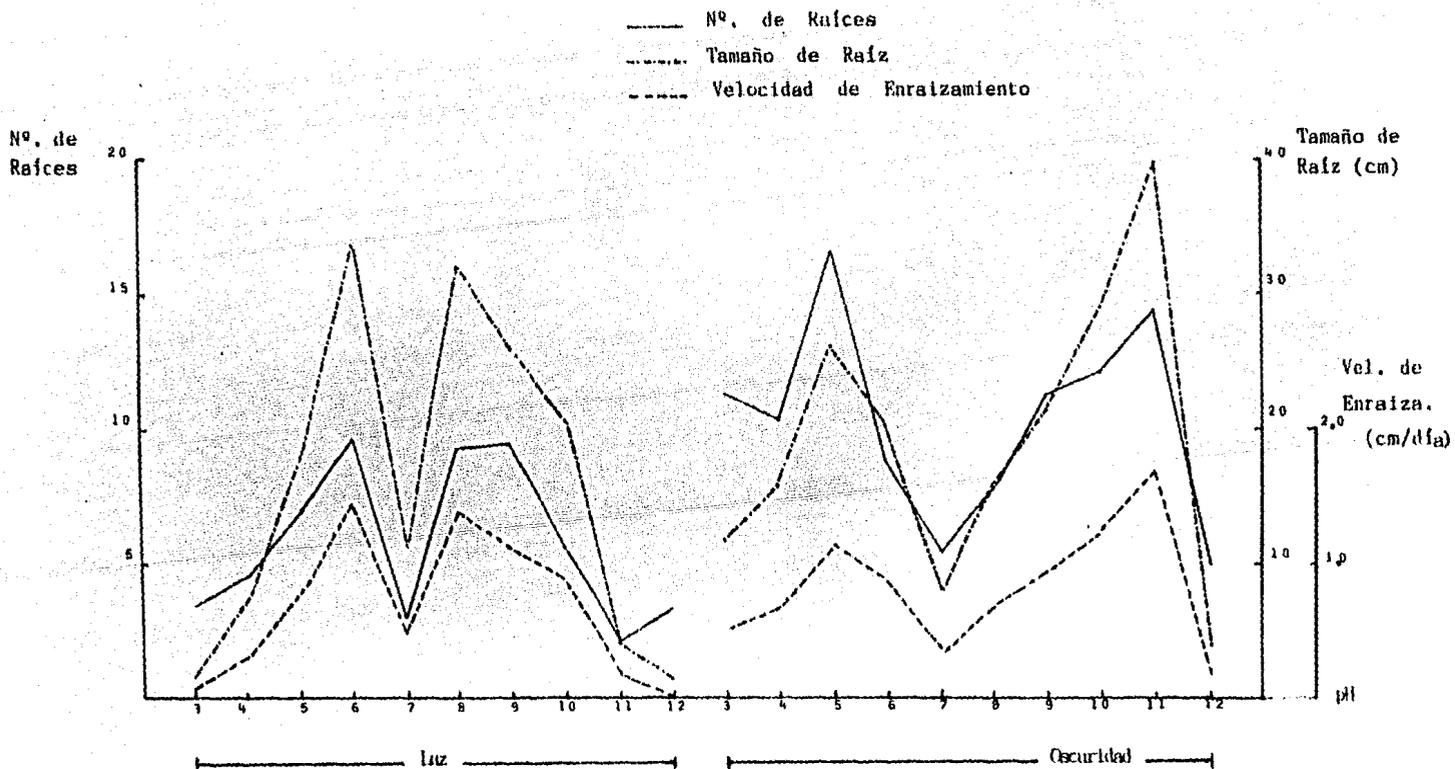
pH inicial	pH final
3.57	4.52
4.80	6.10
6.87	7.10
9.58	8.22
12.18	9.05



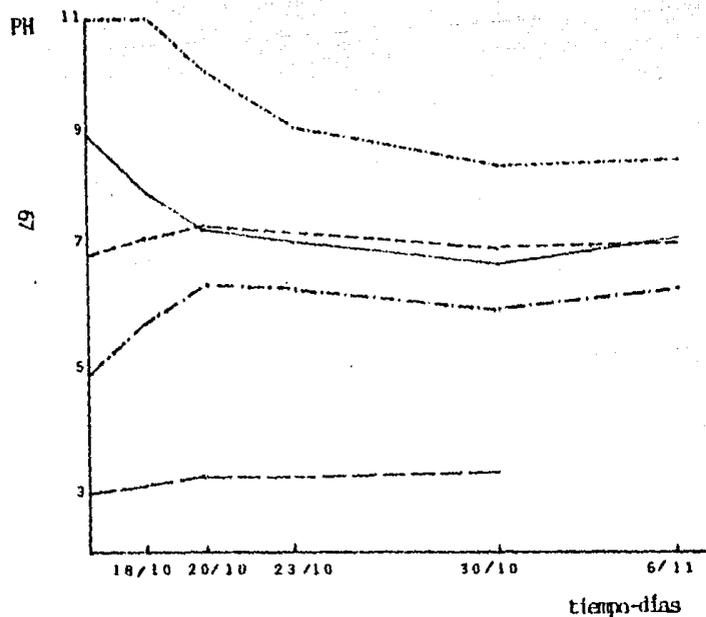
Gráfica 1.1.1. Variaciones del pH del medio de enraizamiento utilizando estacas de Sauce (*Salix paradoxa*) en condiciones de luz.



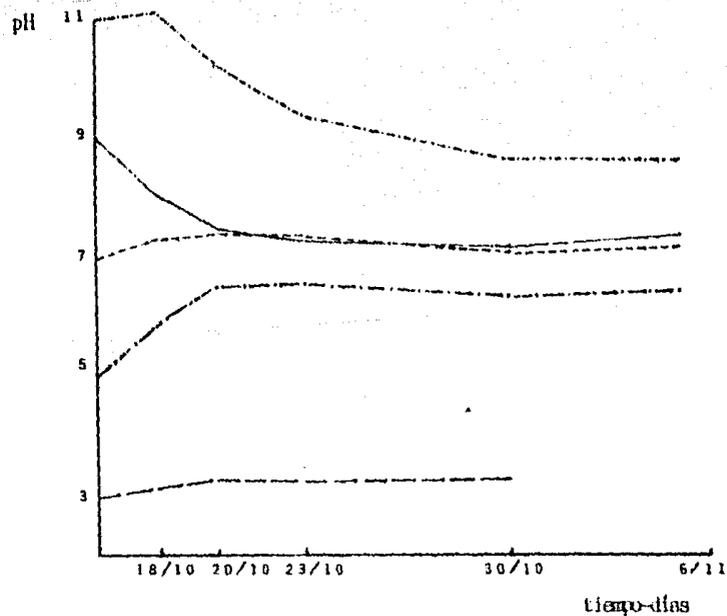
Gráfica 1.1.2. Variaciones del pH del medio de enraizamiento utilizando estacas de Sauce (*Salix paradoxa*) en condiciones de oscuridad.



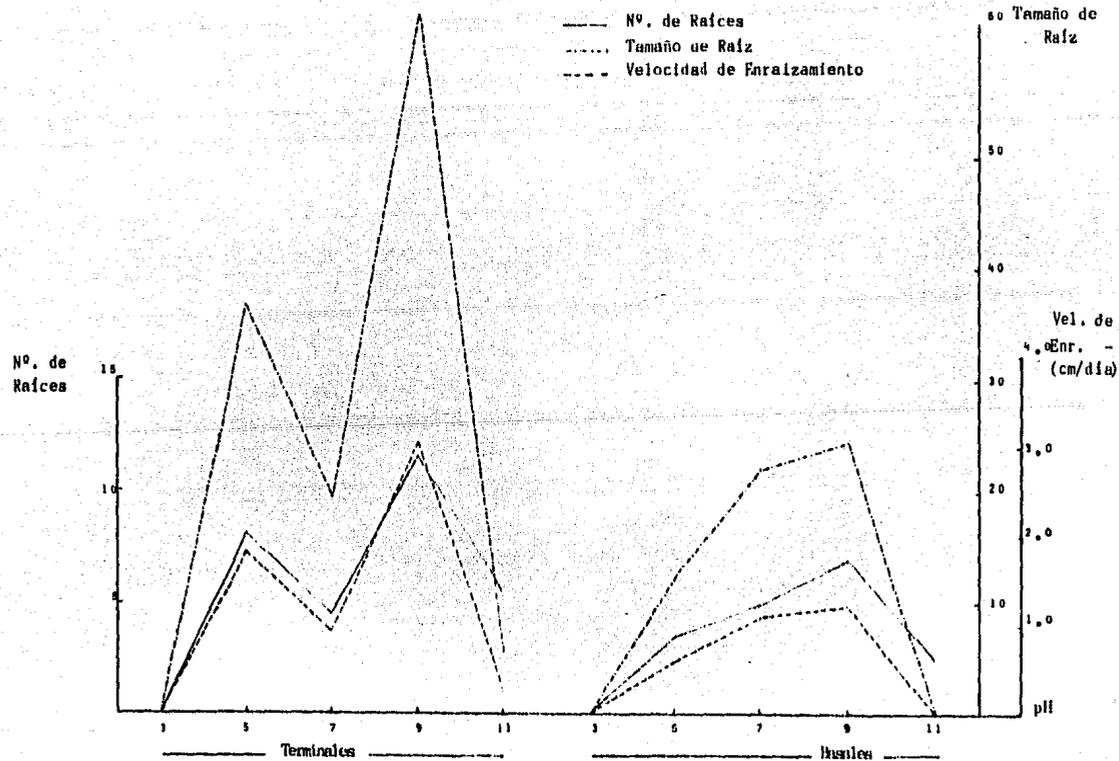
Gráfica 1.2. Parámetros de Enraizamiento en estacas de Sauce (*Salix paradoxa*) bajo condiciones de luz y oscuridad.



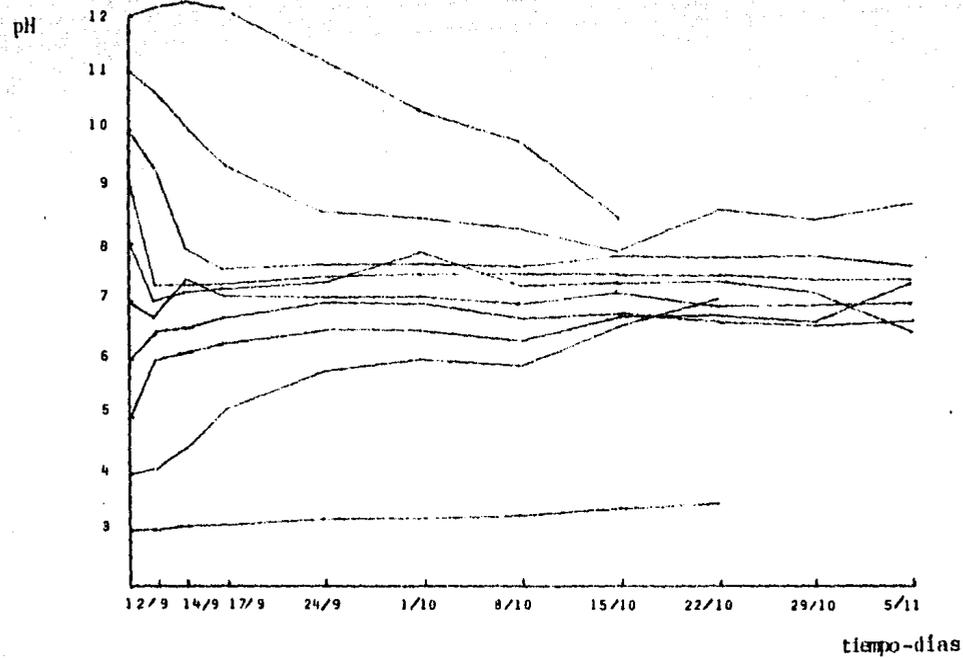
Gráfica 2.1.1. Variaciones del pH del medio de enraizamiento utilizando estacas terminales de Hedera (Hedera sp.)



Gráfica 2.1.2 Variaciones del pH del medio de enraizamiento utilizando estacas basales de Hedera (Hedera sp.)

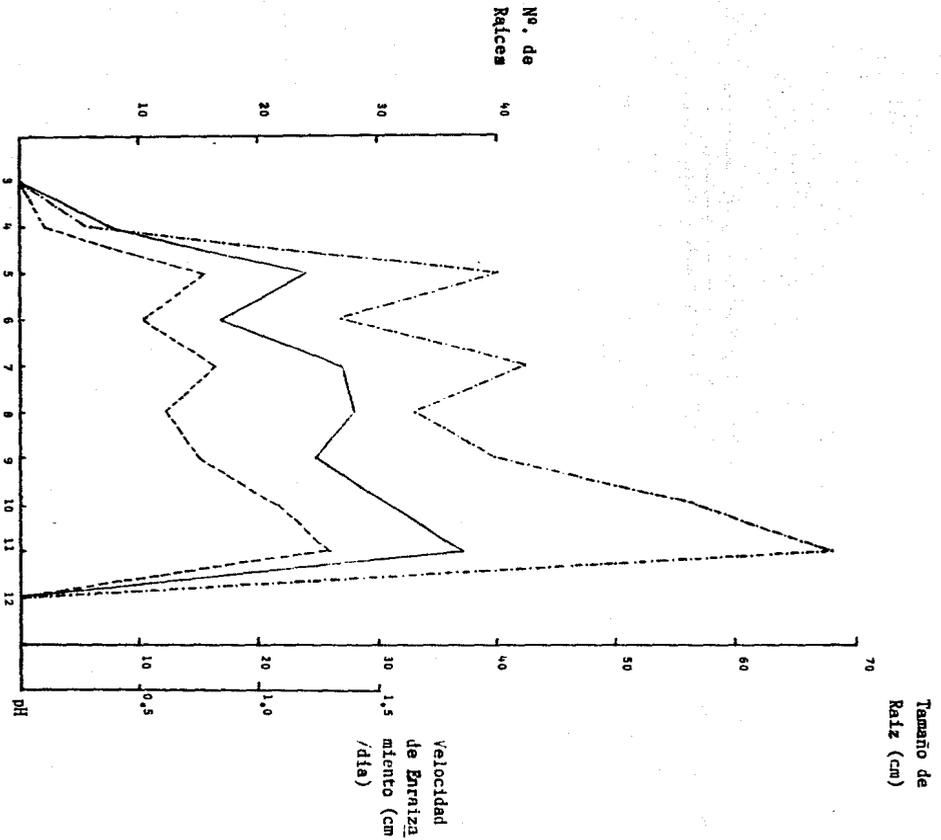


Gráfica 2.2 Parámetros de Enraizamiento en estacas Terminales y Basales de Hiedra (*Hedera* sp.)



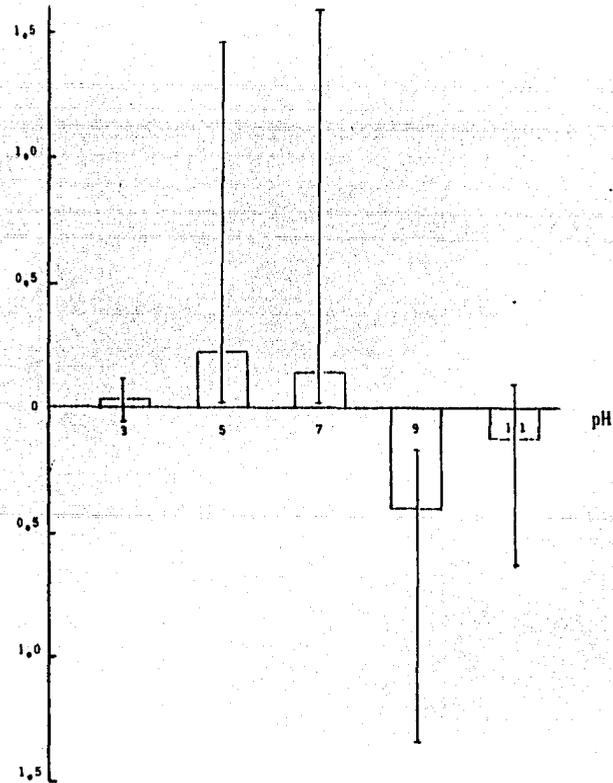
Gráfica 3.1. Variaciones del pH del medio de enraizamiento utilizando estacas de Violeta Africana (*Saintpaulia* sp.) en condiciones de luz.

————— Nº. de Raíces
 - - - - - Tamaño de Raíz
 - - - - - Velocidad de Enraizamiento

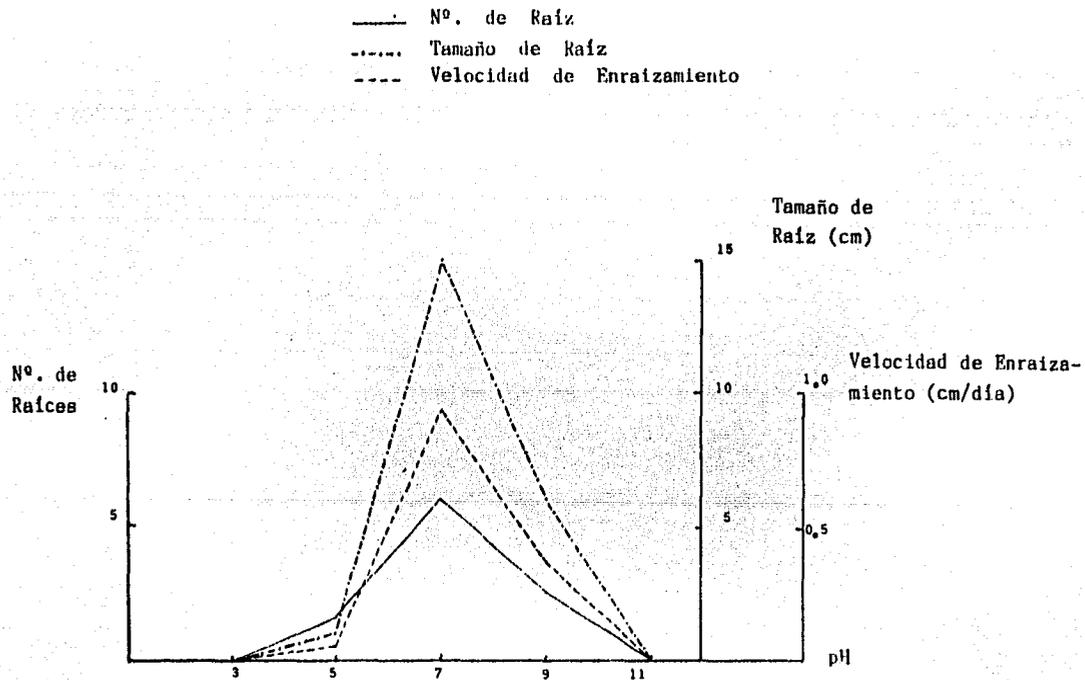


Gráfica 3.2. Parámetros de Enraizamiento en estacas de Violeta Africana (*Saintpaulia sp.*) en condiciones de luz.

Variación

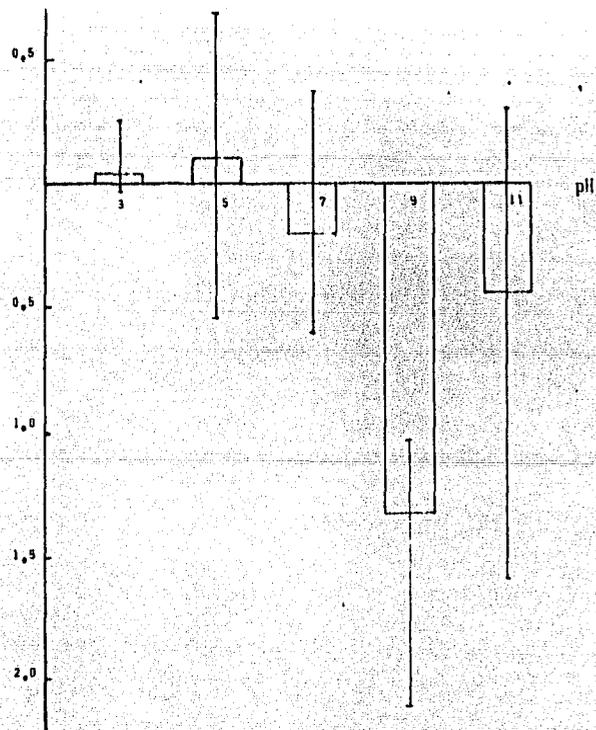


Gráfica 4.1. Promedio de la Variación diaria del pH del medio de Enraizamiento utilizando estacas terminales de Hiedra (*Hedera* sp.)

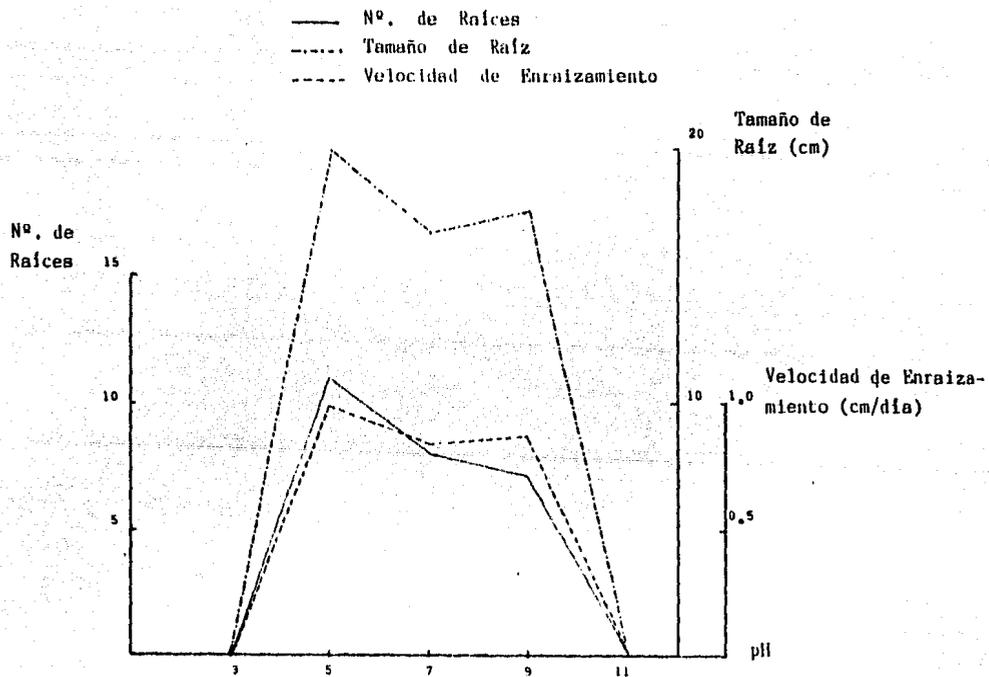


Gráfica 4.2. Parámetros de Enraizamiento bajo la influencia de un pH constante del sustrato en estacas terminales de Hiedra (*Hedera* sp.)

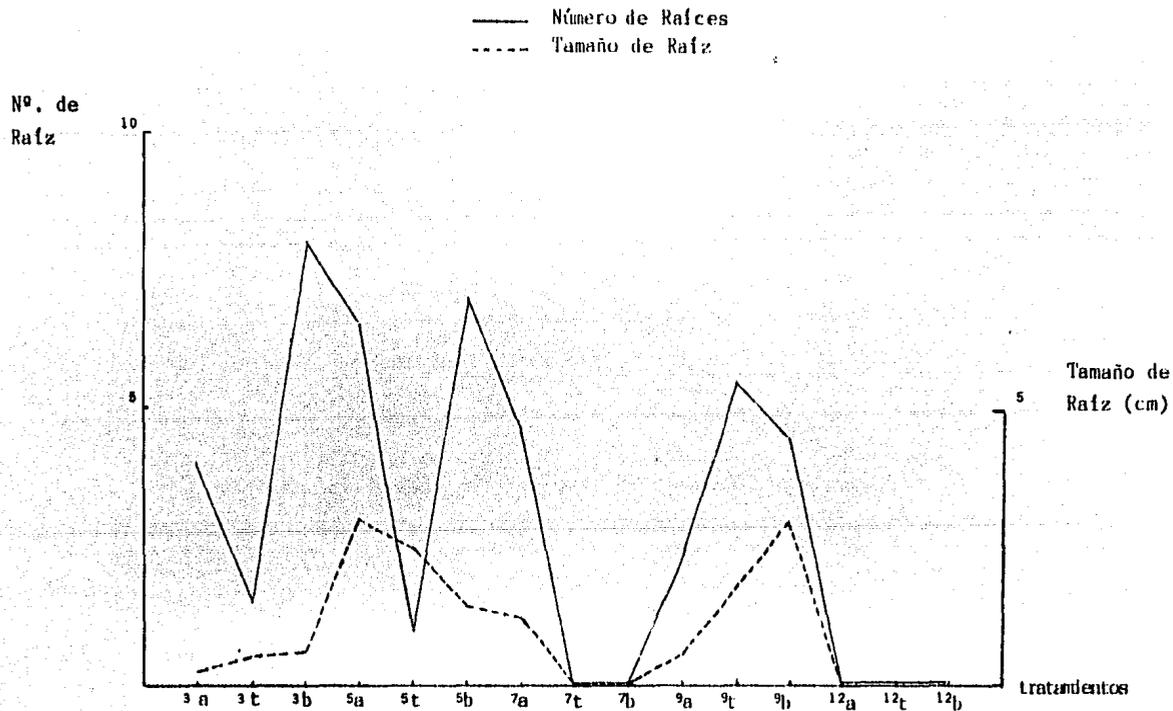
Variaciones



Gráfica 5.1. Promedio de la Variación diaria del pH del medio de Enraizamiento utilizando estacas basales de Sauce (Salix paradoxa)



Gráfica 5.2. Parámetros de Enraizamiento bajo la influencia de un pH constante del sustrato en estacas basales de Sauce (*Salix paradoxu*)



Gráfica 6.1. Parámetros de Enraizamiento en estacas de Bugambilia (*Bougainvillea* sp.) bajo la influencia de pretratamientos ácidos y básicos a diferentes valores de pH en el sustrato

A N A L I S I S

Primera Parte

Experimento 1

Los resultados muestran la relación que se establece entre las estacas y el medio de enraizamiento. Tanto los valores de pH ácidos como alcalinos, tienden hacia valores neutros, esto puede deberse a que en la estaca tiene que existir un equilibrio iónico (catión-anión), el cual depende de las características intrínsecas de la misma, que quedan manifiestas según el medio ambiente en el que se encuentre.

Cualquier sistema siempre tiende al equilibrio, de tal forma que cuando se le impone un cambio de condiciones, el sistema sufre un reajuste para anular o contrarrestar el efecto de dicho cambio. La estaca es un sistema que se somete a diferentes condiciones (distintos valores de pH en el medio), esto puede afectar su metabolismo y por lo tanto la estaca tiende a modificar el pH del sustrato.

El aumento del pH ácido pudo deberse a la utilización de HCl al preparar los medios, lo que hace suponer que en el sustrato aumentó la concentración de aniones (Cl^-), creándose una condición favorable para su absorción por la estaca, debido a dos razones: Su concentración en el medio es mayor y por lo tanto su potencial electroquímico y; a pH bajo, los cationes compiten en la absorción con el H^+ , pero los aniones no, por lo tanto, son más fácilmente absorbidos. Esto puede llegar a

ocasionar un exceso de cargas negativas en el interior de la estaca, entonces ésta libera algunas de estas cargas, para alcanzar el equilibrio iónico interno, lo que da por resultado la liberación de OH^- y HCO_3^- de la raíz al medio y por lo tanto el pH tiende a subir. Lo anterior coincide con lo que reportaron Moore (1974) y Moritsugu y Kawasaki (1982).

De igual manera, la disminución del pH alcalino pudo deberse a la utilización de NaOH, originándose un exceso de cationes (Na^+) en el medio que la estaca absorbe puesto que: Su concentración externa y el potencial electroquímico es mayor y; a pH alto puede presentarse la competencia entre aniones y OH^- para ser absorbidos, sin afectar la absorción de cationes. Mientras mayor es la absorción de cationes, en la estaca se incrementa el número de cargas positivas y consecuentemente la estaca tiende a sacarlas al ambiente como H^+ para mantener su equilibrio iónico. La salida de H^+ al medio conducirá a una disminución en el pH. Esto confirma lo reportado por Moore (1974).

Por otra parte, cabe la posibilidad de que el comportamiento de la estaca frente al medio de enraizamiento se deba a que, el pH ácido o alcalino altere de alguna manera, la permeabilidad de la membrana, lo cual provoca un desequilibrio iónico y metabólico, desencadenando con ello reacciones que conducen a bloquear o ayudar en el proceso de enraizamiento, a su vez la estaca busca su equilibrio iónico nuevamente, mediante la expulsión de cargas negativas (OH^- y HCO_3^-) y positivas (H^+).

Las variaciones del pH originadas por la relación estaca-sustrato sigue el mismo comportamiento en luz y en oscuridad.

En los valores de pH extremos (3, 12), en ambas condiciones, la solución tomó una coloración café oscuro debido a la salida de compuestos celulares, ocasionada tal vez por el incremento en la permeabilidad de las membranas, lo cual originó que en estos tratamientos el enraizamiento disminuyera. También las iniciales de raíz y raíces formadas, después de permanecer varios días en este medio, se "quemaron" porque la estaca no alcanzó a contrarrestar el efecto del pH del sustrato; lo anterior comprueba lo mencionado por Moore (1974) en relación al daño del H^+ .

Los mejores resultados en el enraizamiento de estacas se obtuvieron a pH 6 y 8 en luz y en oscuridad a pH 5 y 11, además se observó una marcada diferencia con los otros tratamientos. A pH neutro, la concentración de cationes y aniones es la misma, por lo que se supone que su absorción sea igual, de tal manera que la estaca no tiene que excluir diferencialmente cargas positivas y negativas, sino en la misma proporción, manteniendo así su equilibrio iónico y por lo tanto su metabolismo celular, por ello, a este pH no se observó ninguna alteración en el proceso de enraizamiento. Sin embargo, puede suponerse que la exposición inicial de la estaca a los valores de pH mencionados, (6 y 8 en luz y 5 y 11 en oscuridad) provoca reacciones internas en la misma que tienden a aumentar la permeabilidad de las membranas, originando a su vez reacciones que favorecen el enraizamiento y causando también el desgaste del tejido superficial de la estaca, lo que facilita la emergencia de iniciales de raíz; después de esto el pH se mantiene cercano a la neutrali-

dad (abajo del pH 7), lo que favorece el desarrollo radicular.

En cuanto a los parámetros de enraizamiento, se observa una relación directa, a mayor número de raíces menor tamaño, ya que las reservas de la estaca se dirigen hacia varios puntos de demanda originando el menor crecimiento de las raíces; y viceversa, a mayor tamaño menor número de raíces. La velocidad de enraizamiento es reflejo de los parámetros anteriores y señala la tendencia diaria en la capacidad de enraizamiento de la estaca, encontrando valores altos en los mejores tratamientos. En este experimento el porcentaje de enraizamiento depende de las características intrínsecas del material vegetal empleado, ya que no existió una diferencia marcada entre los tratamientos, salvo a pH 12 donde se presentaron los porcentajes más bajos.

En general, los mejores resultados en los parámetros estudiados, se obtuvieron bajo condiciones de oscuridad, puesto que los tejidos etiolados están menos diferenciados y tienen una mayor concentración de auxinas y cofactores de enraizamiento que favorecen el desarrollo de raíces en forma abundante, lo cual comprueba lo dicho por De Lary y Wright (1978). En estos tratamientos la disposición de las raíces fué a todo lo largo de la superficie de la estaca puesta en contacto con la solución, debido al ahilamiento total de la estaca; en los tratamientos en luz, las raíces se desarrollaron preferentemente en los nudos bajo las yemas, ya que en estas existe una mayor acumulación de sustancias promotoras del enraizamiento.

Los tratamientos que permanecieron en luz, presentaron un mayor

número de estacas brotadas debido al estímulo dado por esta condición. A su vez el crecimiento de las hojas jóvenes favoreció el desarrollo de un sistema radicular fuerte, ya que al fotosintetizar, proporcionaron carbohidratos para el óptimo desarrollo de raíces. En los tratamientos etiolados, el número de estacas brotadas fué menor y en general presentaban raíces frágiles y delgadas.

En este experimento destacan dos aspectos importantes: existe una estrecha relación entre la estaca y el pH del sustrato, ya que ésta lo modifica al realizar secreciones ácidas o básicas, las cuales pueden estar determinadas por el tipo y la concentración del ión presente en el medio y que es absorbido por la estaca; y el pH inicial de los tratamientos influye sobre la estaca estimulando o disminuyendo el enraizamiento, lo cual se puede equiparar con el efecto de la técnica de pre-tratamientos de remojo en agua a diferentes valores de pH, realizada por Bartolini et. al. (1977) y Pannelli et. al. (1979).

E x p e r i m e n t o 2

En este experimento se presenta el mismo comportamiento en las variaciones del pH, para estacas terminales y basales, los valores ácidos tienden a subir y los alcalinos a bajar, lo que según se explicó, es consecuencia de la relación estaca-pH del sustrato, mencionada en el experimento 1. Los cambios más drásticos se dan antes de la aparición de iniciales de raíz y después tiende a mantenerse más o menos constante, cercano a la neutralidad (un poco arriba de pH 7) favoreciendo el

desarrollo de raíces.

También el pH inicial del medio de enraizamiento parece provocar en la estaca reacciones que incrementan la permeabilidad de las membranas celulares, facilitando la salida de compuestos que determinan situaciones para anular o favorecer el enraizamiento.

Los tratamientos que mostraron un mejor enraizamiento de acuerdo con los parámetros estudiados fueron T-5 y T-9, presentando una gran diferencia con los otros tratamientos, esto se debe al estímulo inicial dado por el pH que facilita la emergencia de iniciales de raíz y al tipo de estaca utilizada, ya que en estacas de madera suave el mejor enraizamiento se obtiene de partes terminales porque en ellas existe una mayor concentración de sustancias promotoras del enraizamiento, por la menor diferenciación de los tejidos y la mayor capacidad de las células a volverse meristemáticas, lo cual confirma lo dicho por Hartmann y Kester (1977).

En general los tratamientos básicos originaron una mejor respuesta en estacas terminales y basales, presentándose el mayor enraizamiento a pH 9 y una disminución a pH 11 debido a que días después de la emisión de iniciales de raíz y raíces, éstas se "quemaron", pero en sí no causa la muerte rápida de la estaca. En tratamientos ácidos el resultado es menor; a pH 5 se obtiene respuesta al enraizamiento en estacas basales y un gran estímulo en estacas terminales, y a pH 3 se originó una reacción corrosiva en la estaca causando la pérdida de los tratamientos por pudrición.

En este experimento refuerza la estrecha relación entre la estaca y el pH del medio, observada en el experimento 1, y el efecto sinérgico del pH inicial de los tratamientos en el enraizamiento.

Experimento 3

La inhibición del enraizamiento que se presentó en los tratamientos bajo condiciones de oscuridad se debe a que, en estacas pequeñas con hojas, hay muy pocas reservas de auxinas y de carbohidratos, por lo que requieren de luz para su formación y en base a esto se produzcan las raíces, esto comprueba lo dicho por Hartmann y Kester (1977). Por lo tanto, en los tratamientos en etiolación al no existir este estímulo no se produjo el enraizado, y al quedar el peciolo en contacto con las soluciones ácidas o alcalinas, se produjo su pudrición.

Al igual que en los anteriores experimentos, las variaciones en el pH del sustrato siguen un comportamiento semejante, los valores ácidos y alcalinos tienden a la neutralidad por el intercambio iónico que se establece entre la estaca y el medio, cuando la estaca tiende al equilibrio que se manifiesta marcadamente en los primeros días. Los tratamientos en etiolación, aún cuando no emitieron raíces, presentaron el mismo comportamiento en las variaciones del pH, antes de su eliminación, por el intercambio de sustancias entre los tejidos y el medio.

Se ha mencionado que el pH inicial de las soluciones puede alterar el enraizamiento, incrementándolo o disminuyéndolo, en general para esta

especie, se observa un estímulo del pH alcalino en el enraizamiento, aumentando a medida que se intensifica la alcalinidad, presentándose los mayores resultados a pH 11. En el pH 7 se puede esperar un enraizamiento normal o común porque no existe ningún estímulo que lo modifique, en base a esto puede suponerse que las soluciones ácidas no favorecen el enraizamiento, al contrario lo disminuyen, ya que en estos valores se obtienen resultados menores. También los valores extremos de pH (3, 12) provocan la pudrición de las estacas por su acción corrosiva.

Nuevamente se aprecia la relación estaca-pH del sustrato. El pH influye en la estaca, tanto en el tipo de ión que absorbe como en reacciones que modifican su enraizamiento, estimulándolo o disminuyéndolo, ante esto la estaca realiza secreciones tendientes a establecer su equilibrio químico modificando el pH del sustrato para favorecer el desarrollo radicular.

Segunda Parte

E x p e r i m e n t o 1

Se ha hablado de la interdependencia que existe entre la estaca y el pH del sustrato (esta relación se describe en el experimento 1 de la primera parte) que origina variaciones en el pH. En este experimento al igual que en los anteriores, se observa la misma tendencia del pH, en específico en relación con el experimento 2 de la primera parte, don-

de también se trabajó con Hiedra, el pH de los tratamientos T-3, T-5 y T-7 tiende a subir y T-9, T-11 a bajar, por lo que puede suponerse en primera instancia que el desarrollo óptimo del sistema radicular se presenta a un pH un poco arriba de 7 pero abajo del 9.

En este caso el pH del medio se regulaba diariamente manteniéndolo constante, observando de esta manera que la capacidad de la estaca para contrarrestar el efecto del pH del medio se perdiera poco a poco, originando un desequilibrio interno que facilitó la salida de compuestos, de esta manera las reservas de la estaca se agotan y por lo tanto su capacidad de enraizamiento va disminuyendo y puede inhibirse cuando la estaca no se encuentra en un medio adecuado para el enraizamiento. A pH 3 estas reacciones son más intensas, por lo que llegaron a causar la pudrición de la estaca y en pH 11 existe una situación similar, se da la salida de compuestos celulares tomando la solución una coloración café oscuro en ambos tratamientos y propiciando la muerte de la estaca, lo cual coincide con los resultados de Arnon y Johnson (1942) citados por Moore (1974), en relación a los valores extremos de pH. En el pH 5 se desarrollaron raíces, pero al persistir este medio se dieron reacciones que originaron que se "quemaran". El pH 9 no fué tan dañino, ya que sí hubo respuesta al enraizamiento y como se vió en el experimento 2 de la primera parte, esta especie responde mejor a tratamientos básicos.

Locklear y Prece (1983) indican la tendencia de las plantas a formar raíces en un rango aproximado al suelo nativo, por lo que puede suponerse que esta especie es originaria de suelos neutros, ya que el me-

El mejor enraizamiento se presentó a pH 7 en los tres parámetros estudiados, además el sistema radicular formado presentó un buen desarrollo, con raíces secundarias grandes y de consistencia fuerte.

Relacionando las variaciones del pH del sustrato con los resultados de enraizamiento, se puede considerar que el mejor enraice ocurre en valores de pH de neutro a básico y que los medios ácidos lo inhiben.

Experimento 2

Las variaciones en el pH del sustrato son semejantes a las obtenidas en el experimento 1 de la primera parte, los tratamientos 3 y 5 tienden a subir, y 7, 9 y 11 a bajar, por lo que puede esperarse un mejor enraizamiento en el rango comprendido entre pH 5 y 7. En este experimento se presenta una mayor variación del pH en comparación con el experimento 1, lo que puede deberse a que la estaca tiene más reservas, por lo tanto una mayor capacidad para amortiguar el pH del medio y desarrollar raíces, como se observa a pH 7 y 9.

El mejor enraizamiento se obtiene a pH 5, ya que es una especie originaria de suelos ácidos, lo cual confirma lo dicho por Locklear y Prece (1983) en relación a la tendencia de las plantas a formar raíces en un pH aproximado al pH del suelo nativo.

En los pH 3 y 11 se bloqueó el enraizamiento y al finalizar el experimento las bases de las estacas presentaron pudriciones debido a la acción corrosiva del medio. Nuevamente se observa una coloración café

oscuro en las soluciones debido a la salida de compuestos celulares.

El Sauce presenta un mayor enraizamiento en valores de pH de ácido a neutro y muestra una mayor capacidad para desarrollar raíces aún cuando no se encuentre en un medio con pH óptimo.

Tercera Parte

Primeramente se había planteado un diseño factorial, pero al no obtener resultados en el enraizamiento de Manzano y muy poco en Ciruelo, no se pudo realizar el análisis estadístico.

En las condiciones bajo las cuales se manejó el experimento, existieron algunas desventajas que pudieron influir en los resultados negativos del enraizamiento. Se ha visto que las estacas de estas dos especies en las condiciones de Chapingo enraizan bien y de acuerdo a las características de la especie se utilizó la concentración de AIB y se escogió el tipo de estaca a emplear, las cuales tenían un mínimo de 4 yemas para asegurar el enraizamiento, sin embargo, ciertos factores lo afectaron.

Las estacas de Manzano se tomaron de ramas ya cortadas que se almacenaron en cámaras de refrigeración, días después de la plantación comenzó la brotación de yemas y esto afectó el enraizamiento de estacas porque las reservas de carbohidratos que poseen se destinan a la brotación en lugar de promover el enraizamiento, por no ser época propicia para su propagación, comprobándose lo reportado por Howard (1978). En

general los porcentajes de brotación son bajos, lo cual indica que además de esta condición en las estacas utilizadas, existían características propias que inhibieron el enraizamiento.

Las estacas de Ciruelo se colectaron en abril, época no propicia para el enraizamiento porque al igual que en el Manzano, se presentó la brotación de yemas, estos resultados concuerdan con los de Howard y Nahlawi (1969).

En cuanto a los tratamientos dados a las estacas antes de la plantación, puede suponerse que no influyeron en los resultados, puesto que al momento de la cosecha las estacas mostraban lenticelas hinchadas, por lo tanto los tratamientos estimularon el inicio del enraizamiento pero éste se inhibió por la brotación.

La formación de callo se presentó en Manzano a pH 9 en el tratamiento testigo y a pH 12 en Ciruelo, por lo que en este experimento no se puede establecer una relación estrecha entre el pH del medio y la formación de callo, puesto que no todos los tratamientos desarrollaron esta estructura, sin embargo, podría suponerse que la alcalinidad favoreció el desarrollo del mismo.

En el caso del Ciruelo, los valores de pH alcalinos fueron menos perjudiciales porque se dió el enraizamiento de algunas estacas, pero éste se puede atribuir a las características intrínsecas de las mismas.

El ataque de hongos afectó principalmente a las estacas de Manzano causando su pudrición y la muerte de los brotes, acentuándose este efec-

to a valores bajos de pH, puesto que los hongos proliferan preferentemente en medios ácidos.

Lo dicho por Lee et. al. (1977) en relación al enraizamiento de *Bugambilia* coincide con los resultados de este experimento. De manera general se puede observar que el mejor enraizamiento se presentó a valores de pH ácido y que esta especie responde a la aplicación de pretratamientos ácidos y básicos, puesto que a pH 3 y 5 se obtuvo un incremento en el número de raíces. Además por ser una especie que muestra un mejor enraizamiento en medios ácidos presentó una mejor respuesta a la aplicación del pretratamiento básico.

Lee et. al. (1977) sugiere que el estímulo dado por el pretratamiento básico en el enraizamiento se debe a que la base rompe los enlaces básicos lábiles de la pared celular de las plantas tolerantes a la acidez, incrementando la permeabilidad al agua, facilitando la absorción de auxinas aplicadas y la emergencia de iniciales de raíz. Los efectos del pretratamiento ácido en la pared celular pueden ser similares.

En el tamaño de raíz no se observa la misma tendencia en el enraizamiento, debido a que existe una relación directa que origina una disminución en el tamaño de raíz en los tratamientos que presentan un mayor número de raíces.

El pH neutro no favoreció el enraizamiento en los tratamientos testigo y básico, lo cual puede atribuirse a las características propias de las estacas, puesto que a pH 9 si hubo respuesta al enraice, aún - cuando no respondieron a la aplicación de pretratamientos.

En base a los resultados del enraizamiento de Bugambilia, se podría suponer que es una planta originaria de suelos ácidos, lo cual reafirmaría la hipótesis de Locklear y Prece (1983).

Para esta especie los porcentajes de brotación también son altos y los de enraizamiento bajos, por lo que puede suponerse que primeramente alcanzaron a enraizar algunas estacas, después se presentó la brotación que inhibió el enraizamiento de las estacas restantes, posteriormente el crecimiento de los brotes de las estacas que habían enraizado, pudo contribuir al crecimiento de la raíz.

Los cambios en los valores del pH del sustrato se pueden atribuir principalmente al efecto amortiguador del suelo porque en el tiempo que permaneció la estaca en el sustrato, ésta no pudo originar un cambio tan grande como en los experimentos anteriores, debido a que el tiempo fué relativamente poco. El poder amortiguador o de regulación del suelo se refiere a la resistencia a cambiar su pH en otro ofrecido por la propia solución del suelo. El pH original del sustrato era de 6.5 a 7 y se utilizó cuando se mantuvo más o menos constante, pero esto no aseguraba su permanencia en los valores de pH deseados, por lo que puede suponerse, en poco tiempo tendió a regresar a su pH original.

A N A L I S I S G E N E R A L

Se ha visto que el pH del sustrato puede afectar en gran medida el enraizamiento de estacas, porque entre éstos existe una estrecha relación.

En las tres especies con las que se trabajó en la primera parte, se observó el mismo comportamiento en las variaciones del pH, los valores ácidos y alcalinos tienden hacia la neutralidad, pero acercándose hacia el pH óptimo para el enraizamiento según la especie, esto puede deberse al intercambio iónico que existe entre la estaca y el medio, cuando ésta tiende al equilibrio. El pH influye en el tipo de ión que absorbe la estaca y de acuerdo al contenido iónico del sustrato, ésta realiza secreciones ácidas o alcalinas que pueden modificar el pH inicial del medio. Las variaciones del pH se presentan en poco tiempo, esto se observó porque se utilizó agua destilada como medio de enraizamiento.

El pH original del medio provoca en la estaca reacciones semejantes a las que se originan cuando se aplican pretratamientos ácidos y básicos. En las células se incrementa la permeabilidad de las membranas por la acción del ácido o la base, esto puede originar un desequilibrio iónico y metabólico que propicie la salida de compuestos celulares, lo que disminuye el enraizamiento porque se van agotando las reservas o pueden causar un daño irreversible en las estacas originando su muerte, pero también pueden facilitar la acción de las auxinas en el enraza-

miento causando un efecto sinérgico. En base a esto, puede pensarse que si en estas especies se aplicaran pretratamientos ácidos y básicos, la respuesta sería semejante, pero se corre el riesgo de toxicidad en Hiedra y Violeta Africana, por ser especies herbáceas.

También se vió que la etiolación favoreció el enraizamiento de estacas de madera dura como el Sauce, pero lo inhibe en estacas de hojas como Violeta Africana, porque en éstas la luz es un factor importante para la formación de sustancias promotoras del enraizamiento.

En los experimentos de la segunda parte, se regulaba constantemente el pH del medio y se pudo comprobar para Sauce y suponer para Hiedra que los mejores resultados en el enraizamiento se obtienen a un pH del sustrato cercano al pH del suelo nativo, esto se basa en los resultados de enraizamiento y en las variaciones del pH. En el caso del Sauce, en los dos experimentos se observó la misma tendencia en la variación del pH, por lo que se comprobó que enraiza mejor en medios con pH de ácido a neutro; y en la Hiedra también el pH mostró el mismo comportamiento en su variación y se puede pensar que esta especie enraizaba en medios con pH de neutro a básico.

En la última parte no se pudo observar la respuesta del Manzano y el Ciruelo ante la aplicación de pretratamientos ácidos y básicos, ya que el experimento se desarrolló en una época no propicia para su propagación. Pero se comprobaron los resultados de esta técnica en el enraizamiento de Bugambilia; esta especie enraiza preferentemente en medios ácidos y responde a la aplicación de ambos pretratamientos incre-

mentando el número de raíces, siendo mejor el pretratamiento básico. En base a estos resultados se puede suponer que esta especie es originaria de suelos ácidos, lo cual coincidiría con lo que se ha manejado en relación a la obtención de un mejor enraizamiento en valores de pH del sustrato cercanos al pH del suelo nativo. En este experimento no se pudo observar la relación estaca-pH del sustrato, debido al efecto amortiguador y al método que se utilizó para cambiar el pH original del medio.

El pH puede afectar el enraizamiento de diferentes maneras y dependiendo de su conocimiento y de la especie con la que se trabaje se pueden lograr resultados positivos.

CONCLUSIONES

Primera Parte.

Experimento 1

Existe una estrecha relación entre la estaca y el pH del medio que provoca reacciones que tienden a favorecer o a anular el enraizamiento.

La estaca modifica el pH del sustrato, de acuerdo al contenido iónico y tiende a re-establecer su equilibrio interno, interactuando con su medio ambiente, para el desarrollo de raíces.

La exposición de la estaca en soluciones ácidas o alcalinas en el inicio del período de enraizamiento favorece considerablemente la emergencia de iniciales de raíz.

Los valores de pH extremos originan un desequilibrio interno en la estaca que provoca la salida de compuestos celulares, lo que puede bloquear el enraizamiento al evitar el desarrollo de iniciales de raíz.

La etiolación favorece el desarrollo de raíces en forma abundante, pero una vez que se dió la brotación, el crecimiento de las hojas jóvenes bajo condiciones de luz origina el desarrollo de un sistema radicular fuerte en la estaca.

Experimento 2

La estaca tiende a re-establecer su equilibrio iónico que fué alte-

rado por el pH del medio del enraizamiento para el óptimo desarrollo del sistema radicular.

Las soluciones iniciales, ácidas o alcalinas originan reacciones en la estaca que pueden estimular o suprimir el enraizamiento.

Los valores de pH extremos pueden anular el enraizamiento de estacas al evitar el crecimiento de raíces y llegar a provocar la muerte de la misma.

El mejor enraizamiento de estacas herbáceas se obtiene de partes apicales.

La Hiedra responde mejor a tratamientos básicos.

E x p e r i m e n t o 3

En el enraizamiento de estacas de hoja es necesaria la presencia de luz para la formación de sustancias promotoras del enraizamiento y la subsecuente producción de raíz.

Existe una interdependencia entre la estaca y el pH del sustrato, originando cambios que influyen en el proceso de enraizamiento.

Los valores de pH extremos anulan el enraizamiento por la acción corrosiva que producen en la estaca.

La mejor respuesta en el enraizamiento de estacas de Violeta Africana se obtiene en tratamientos básicos.

Segunda Parte

Experimento 1

Cuando la estaca se encuentra en un medio no óptimo para su desarrollo y el pH de éste se mantiene constante, se origina que la estaca pierda poco a poco su capacidad para contrarrestar el pH del medio, de esta manera sus reservas se agotan y puede causar su muerte.

El óptimo enraizamiento de estacas de Hiedra se obtiene a un pH del sustrato de neutro a básico y los valores de pH ácidos lo inhiben.

Experimento 2

Cuando las estacas de Sauce se someten de manera constante a pH extremos, se originan reacciones que pueden bloquear el enraizamiento.

El mejor enraizamiento de estacas se obtiene a un pH en el medio de enraizamiento cercano al pH del suelo nativo.

El Sauce presenta un mayor enraizamiento de estacas en medios con pH de ácido a neutro.

Tercera Parte

En la propagación por estacas se deben tomar en cuenta todos los factores que pueden afectar el enraizamiento.

La brotación de yemas afecta el enraizamiento de estacas porque los carbohidratos se destinan a la brotación, inhibiendo o disminuyendo el enraizamiento. La Bugambilia enraiza mejor en sustratos con pH ácido.

En medio de enraizamiento óptimo, esta especie responde a la aplicación de pretratamientos ácidos y básicos incrementando el número de raíces.

Con la aplicación de pretratamientos básicos se incrementa la habilidad de enraizamiento de Bugambilia por ser una especie que enraiza mejor en medios ácidos.

CONCLUSIONES GENERALES

Existe una estrecha relación entre la estaca y el pH del sustrato en la cual se originan cambios que pueden afectar el equilibrio interno de la estaca, por lo que ésta tiende a re-establecerlo, modificando a su vez el medio de enraizamiento, para el óptimo desarrollo de raíces.

La exposición de la estaca a soluciones ácidas o alcalinas origina reacciones que pueden bloquear, disminuir o incrementar el enraizamiento de estacas.

El mejor enraizamiento de estacas se obtiene a un pH en el medio de enraizamiento cercano al pH del suelo nativo.

La aplicación de pretratamientos ácidos y básicos puede incrementar la habilidad de enraizamiento en estacas.

SUGERENCIAS

El enraizamiento de estacas presenta muchas ventajas en la propagación de plantas, por lo que es importante el conocimiento de nuevas técnicas que incrementen el enraizado. Dentro de éstas se encuentran la aplicación de pretratamientos ácidos y básicos y los pretratamientos de remojo en agua a diferentes valores de pH. Se ha probado sólo en algunas especies pero los resultados son favorables, la base de éstas radica en el conocimiento de la reacción pH que incrementa la habilidad de enraizamiento de estacas, por lo que se deben conocer sus ventajas y limitaciones.

También es importante tomar en consideración todos los factores que influyen en el enraizamiento, ya que de ellos depende el éxito en la propagación de estacas, dentro de éstos el pH del sustrato tiene especial importancia, puesto que todos los cambios que se originen alrededor de las raíces pueden influir en su desarrollo.

Por lo anterior se sugiere que se experimenten estas técnicas, probando diferentes concentraciones de ácido y base, y diferentes tiempos de inmersión en especies de importancia económica y sobre todo en aquellas donde hasta hoy las posibilidades de obtener éxito en el enraizamiento son pocas, así como también dar al pH del sustrato la importancia que requiere para obtener un mejor enraizamiento de estacas.

A N E X O S

A N E X O 1

Fecha					
Tmto	12/IX/84	14/IX/84	17/IX/84	24/IX/84	01/X/84
L- 3	3.12	3.13	3.13	3.51	3.98
L- 4	4.21	4.71	5.18	5.68	5.89
L- 5	5.29	5.46	5.75	5.85	4.97
L- 6	5.73	5.91	6.19	6.32	5.98
L- 7	6.04	6.10	6.56	6.66	6.49
L- 8	5.98	6.19	6.56	6.55	6.23
L- 9	6.08	6.24	6.70	6.58	6.31
L-10	6.54	6.62	6.89	6.91	6.81
L-11	10.13	9.39	8.33	7.95	8.03
L-12	12.60	11.39	11.62	10.14	9.52
E- 3	3.13	3.15	3.33	4.07	4.50
E- 4	4.33	4.46	4.97	5.31	5.18
E- 5	5.10	5.26	5.49	5.36	4.75
E- 6	5.56	5.71	6.04	6.01	5.90
E- 7	5.77	6.03	6.22	6.17	6.20
E- 8	5.81	6.15	6.25	6.25	6.21
E- 9	5.98	6.29	6.41	6.34	6.25
E-10	6.28	6.51	6.64	6.62	6.58
E-11	9.67	8.56	7.26	7.25	7.23
E-12	12.11	11.89	11.61	10.10	9.45

Tabla 1.1. Variaciones de pH del medio de enraizamiento utilizando estacas de Sauce (Salix paradoxa) en condiciones de luz y oscuridad.

\bar{x} /estaca Tmto	Porcentaje de enraizamiento	Número de raíces	Tamaño de raíces (cm)	Velocidad de enraizamiento cm/día
L- 3	80	3.50	1.99	0.08
L- 4	40	4.50	7.25	0.31
L -5	100	7.00	18.24	0.79
L- 6	60	9.60	33.27	1.44
L- 7	60	3.00	11.50	0.50
L- 8	60	9.30	32.00	1.39
L- 9	100	9.40	25.90	1.12
L-10	80	5.50	20.44	0.88
L-11	80	2.00	4.31	0.18
L-12	40	3.50	1.25	0.05
E- 3	80	11.25	11.96	0.52
E- 4	60	10.30	15.59	0.67
E- 5	100	16.40	26.19	1.13
E- 6	100	8.80	19.96	0.86
E- 7	80	5.50	8.16	0.35
E- 8	100	7.80	15.71	0.68
E- 9	100	11.20	21.47	0.93
E-10	80	12.00	28.57	1.24
E-11	80	14.25	39.54	1.71
E-12	20	5.00	4.50	0.19

Tabla 1.2. Parámetros de enraizamiento en estacas de Sauce (Salix pa-
radpaxa) bajo condiciones de luz y oscuridad a diferentes valores de pH
en el sustrato.

A N E X O 2

Fecha Tmto	18/X/84	20/X/84	23/X/84	30/X/84	06/XI/84
T- 3	3.12	3.24	3.26	3.36	---
T- 5	5.83	6.46	6.39	6.10	6.44
T- 7	7.28	7.45	7.35	7.09	7.13
T- 9	8.01	7.43	7.21	6.83	7.21
T-11	10.99	10.08	9.18	8.51	8.59
B- 3	3.12	3.23	3.22	3.30	---
B- 5	5.89	6.49	6.52	6.38	6.47
B- 7	7.28	7.39	7.34	7.09	7.17
B- 9	8.05	7.49	7.32	7.18	7.39
B-11	11.08	10.21	9.36	8.63	8.65

Tabla 2.1. Variaciones de pH del medio de enraizamiento utilizando estacas terminales (T) y basales (B) de Hiedra (Hedera sp.).

x/estaca Tmto	Porcentaje de enraizamiento	Número de raíces	Tamaño de raíz (cm)	Velocidad de enraizamiento (cm/día)
T- 3	---	---	---	---
T- 5	100	8	36.75	1.83
T- 7	100	4.5	19.65	0.93
T- 9	100	11.5	60.50	3.02
T-11	100	5.5	5.95	0.29
B- 3	---	---	---	---
B- 5	100	3.5	12.40	0.62
B- 7	100	5.0	22.25	1.11
B- 9	100	7.0	24.50	1.22
B-11	100	2.5	1.15	0.05

Tabla 2.2. Parámetros de enraizamiento en estacas basales y terminales de Hiedra (Hedera sp.).

A N E X O 3

Fecha	12/IX/84	14/IX/84	17/IX/84	24/IX/84	01/X/84	08/X/84	15/X/84	22/X/84	29/X/84	05/XI/84
Tmto										
L- 3	3.00	3.06	3.08	3.15	3.16	3.21	3.35	3.45	----	----
L- 4	4.08	4.40	5.10	5.74	5.98	5.85	6.52	6.95	6.92	6.89
L- 5	5.90	6.08	6.24	6.49	6.48	6.30	6.65	6.72	6.66	7.29
L- 6	6.41	6.51	6.68	6.93	6.94	6.70	6.76	6.64	6.65	6.62
L- 7	6.75	7.25	7.07	7.05	7.05	6.92	7.11	6.93	6.93	6.93
L- 8	6.99	7.13	7.19	7.31	7.81	7.26	7.30	7.34	7.11	6.49
L- 9	7.25	7.28	7.29	7.40	7.49	7.40	7.47	7.40	7.39	7.35
L-10	9.22	9.92	7.59	7.62	7.62	7.56	7.75	7.71	7.75	7.60
L-11	10.66	10.08	9.38	8.52	8.46	8.28	7.82	8.51	8.44	8.67
L-12	12.10	12.20	12.02	11.16	10.27	9.73	8.44	----	----	----

Tabla 3.1. Variaciones de pH del medio de enraizamiento utilizando estacas de *Violeta Africana* (*Saintpaulia* sp.) en condiciones de luz.

x/estaca	Porcentaje de enraizamiento	Número de raíces	Tamaño de raíz (cm)	Velocidad de enraizamiento (cm/día)
Tmto				
L- 3	--	-----	-----	----
L- 4	33	8.00	6.10	0.11
L- 5	66	24.00	40.10	0.77
L- 6	66	16.50	27.50	0.52
L- 7	66	26.50	42.30	0.81
L- 8	66	27.00	33.20	0.63
L- 9	66	24.50	39.80	0.76
L-10	66	31.00	56.85	1.09
L-11	66	36.50	68.10	1.30
L-12	--	-----	-----	----

Tabla 3.2. Parámetros de enraizamiento en estacas de *Violeta Africana* (*Saintpaulia* sp.) en condiciones de luz a diferentes valores de pH en el sustrato.

A N E X O 4

Fecha Tmto	30/XI/84	01/XII/84	3/XII/84	6/XII/84	8/XII/84	10/XII/84	12/XII/84	14/XII/84	x de la Variación
T- 3	+ 0.06	+ 0.08	+ 0.11	+ 0.09	+ 0.11	- 0.05	- 0.02	+ 0.05	+ 0.02
T- 5	+ 0.61	+ 0.32	+ 1.45	+ 0.31	+ 0.01	+ 0.49	+ 0.05	+ 0.25	+ 0.22
T- 7	+ 0.15	+ 0.19	+ 1.58	+ 0.21	+ 0.01	+ 0.12	+ 0.01	+ 0.25	+ 0.14
T- 9	- 0.62	- 1.05	- 0.80	- 0.18	- 0.42	- 1.34	- 0.35	- 0.95	- 0.41
T-11	+ 0.06	- 0.30	- 0.59	- 0.10	+ 0.09	- 0.63	- 0.10	- 0.10	- 0.13

Tabla 4.1. Promedio de la variación diaria del pH del medio de enraizamiento utilizando estacas terminales de hiedra (Hedera sp.)

x/estaca Tmto	Porcentaje de enraizamiento	Número de raíces	Tamaño de raíz (cm)	Velocidad de enraizamiento (cm/día)
T- 3	0	---	-----	-----
T- 5	100	1,5	0,95	0,05
T- 7	100	6,0	14,95	0,93
T- 9	100	2,5	5,95	0,37
T-11	0	---	-----	-----

Tabla 4.2. Parámetros de enraizamiento bajo la influencia de un pH constante del sustrato en estacas terminales de hiedra (Hedera sp.)

A N E X O 5

Fecha Tmto	8/III/85	10/III/85	12/III/85	14/III/85	16/III/85	20/III/85	23/III/85	25/III/85	x de la Variación
B- 3	0.0	0.0	0.0	0.0	+ 0.02	+ 0.05	+ 0.11	+ 0.08	+ 0.04
B- 5	+ 0.67	+ 0.40	+ 0.21	+ 0.16	+ 0.21	- 0.32	- 0.28	+ 0.03	+ 0.10
B- 7	- 0.29	- 0.14	- 0.60	- 0.23	- 0.26	- 0.18	- 0.40	+ 0.37	- 0.20
B- 9	- 1.73	- 1.03	- 1.10	- 1.60	- 1.48	- 1.75	- 1.17	- 1.55	- 1.32
B-11	- 0.03	- 0.95	- 0.75	- 1.57	- 0.15	- 0.79	- 0.50	- 0.27	- 0.43

Tabla 5.1. Promedio de la variación diaria del pH del medio de enraizamiento utilizando estacas basales de Sauce (Salix paradoxa)

x/estaca Tmto	Porcentaje de enraizamiento	Número de raíces	Tamaño de raíz (cm)	Velocidad de enraizamiento (cm/día)
B- 3	0	---	-----	----
B- 5	100	11	19.94	0.99
B- 7	80	8	16.82	0.84
B- 9	100	7.2	17.50	0.87
B-11	0	---	-----	----

Tabla 5.2. Parámetros de enraizamiento bajo la influencia de un pH constante en el sustrato en estacas Basales de Sauce (Salix paradoxa)

A N E X O 6

x/estaca Tmto	Número de raíces	Tamaño de raíz (cm)	Porcentaje de enraizamiento
3-a	4.00	0.25	16.66
3-t	1.50	0.50	33.33
3-b	8.00	0.53	16.66
5-a	6.50	3.02	33.33
5-t	1.00	2.50	16.66
5-b	7.00	1.42	16.66
7-a	4.66	1.25	50.00
7-t	----	----	----
7-b	----	----	----
9-a	2.33	0.60	50.00
9-t	5.50	1.86	33.33
9-b	4.50	2.96	33.33
12-a	----	----	----
12-t	----	----	----
12-b	----	----	----

Tabla 6.1.1 Parámetros de enraizamiento en estacas de Bugambilia (Bougainvillea sp.) bajo la influencia de pretratamientos ácidos y básicos a diferentes valores de pH en el sustrato.

especie pH	Manzano	Ciruelo	Bugambilia
3	27.77	88.88	88.88
5	27.77	77.77	88.88
7	27.77	94.44	94.44
9	61.11	100.00	100.00
12	33.33	94.44	83.33

Tabla 6.2. Porcentajes de brotación de estacas de Manzano (Malus pumila), Ciruelo (Prunus cerasifera) y Bugambilia (Bougainvillea sp.) en cinco valores de pH de sustrato.

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

1. Bartollini, G.; Fiorino, P. y M. Bouzar. 1977. Ricerche sulla influenza dell'inmersione in acqua delle talee. 3-Effetto della bagnatura a pH diversi sulla capacità rizogena in talee di Olivo cv. "Frantoio". Riv. Ortoflorofruit 61: 409-417.
2. Buckman, O. H. y N. C. Brady. 1977. Naturaleza y Propiedades de los Suelos. Monter y Simón. Barcelona, España.
3. Calderón, A. E. 1977. Fruticultura General. E.C.A. D. F., México.
4. Cheffins, N. J. 1975. Nursery praction in relation to the carbohydrate resources of leafless hartcod cuttings. Comb. Proc. Int. Plant Propagatore soc. 25: 190-193.
5. Couvillon, G. A.; King, C. A.; Moore, C. M. y P. Bush. 1976. Obtaining small peach plants containing all bud types for "rest" and dormancy studies. Hort Science. 10(1): 78-79.
6. De Largy, J. A. y C. E. Wright. 1978. Root formation in cuttings of apple cr. Bromley's seedling in relation to renbarkin and to etiolation. New Physiol.

7. Galston, W. A.; Davies, J. P. y R. L. Satter. 1980. The Life of the green plant. Prentice - Hall, Inc. E.U.A.
8. Garrido, L. E. 1978. Enraizamiento de estacas de Manzano MM-106, tratadas con ácido indolacético (AIA) y ácido indolbutírico (AIB) en tres tipos de estacas a una temperatura de 21°C en la base. Tesis profesional. Chapingo, Méx.
9. Grajales, M. O. y E. H. Martínez. 1982. Apuntes de Fisiología Vegetal. F. E. S. Cuautitlán, U. N. A. M. Méx.
10. Hartmann, H. T. y D. E. Kester. 1977. Propagación de plantas, principios y prácticas. C. E. C. S. A. México.
11. Hernández, D. J. C. 1977. Estudio de algunos factores que afectan el prendimiento de estacas de Populus alba L., P. balsamifera DuRoi, P. x canadensis Moech y Acer negundo. Tesis profesional. Chapingo, Méx.
12. Howard, P. H. 1968. The influence of 4(indoly-3) butyric acid and basal temperature on the rooting of apple rootstock hartwood cuttings. J. HortSci. 43: 23-31.
13. _____ y N. Nahlawi. 1969. Factors affecting the rooting of plum hartwood cuttings. J. Hort. Sci. 14: 303-316.

14. _____ 1978. Field stablishasens of apple rootstock handpod cuttings as influenced by conditions during a prior stage in heated bins. J. Hort. Sci. 53: 31-37.
15. Ingram, L. D.; Wamocho, L. y B. Dehgan. 1984. Interactive effects of IBA with sulfuric acid, sodium hidroxide, or wounding on rooting of Raphiolepis indica Lindl. stemm cuttings. The Plant Propagator 30: 2-4.
16. Janick, J. 1979. Horticultural Science. Jrd. ed. W. H. Freeman Co. San Francisco, U. S. A. pp. 252.
17. Kawase, M. 1965. Etiolation and rooting in cuttings. Physiol. Plantarum.
18. Lee, C. I.; Paul, J. L. y W. P. Hackett. 1977. Promotion of - rooting in stem cuttings of several ornamental plants by pretreatment with acid or base. Hort Science. 12: 41-42.
19. Locklear, H. J. y J. E. Prece. 1983. Effects of media pH and acid/base pretreatments on the rooting of Gypsophila paniculata cuttings. Journal of Environmental Horticulturae. Hort. Research Institute. 1: 83-86.

20. Moore, P. D. 1974. Physiological effects of pH on roots. In, Carson, A. W. (ed) The plant root and its environmental. University Press Virginia Charlott eville. U. S. A.
21. Moritsugu, M. y T. Dawasaki. 1982. Effects of solution pH on growth and mineral uptake in plants under constant pH condition.
22. Mudge, W. K. y B. T. Swanson. 1978. Effects of ethephon, indole butiric and treatment solution pH on rooting and on ethylene levels within Mung bean cuttings. Plant Physiology. 61: 271-273.
23. Nowaczyk-Zbierska, E. y M. W. Borys. 1978. The effect of aluminium and substrate pH on the rooting of Coleus blumei and Saint-paulia ionanta cuttings. Akademia Rolnicza, Poznan, Poland.
24. Pannelli, G.; Filippucci, B. y P. Daddi. 1979. Rizogenesi e ciclo vegetativo in "Olea europea" cultivar "Frantoio" e "Leccino". Influenza della bagnatura a pH diversi sulla capacità rizogena della talee. Istituto Sperimentale per l'Olivicoltura, Spoleto, Italia.
25. Punjabi, B.; Dewan, A. y N. R. Basu. 1977. Effect of pretreatment of stock plant with growth suppressing chemicals on the rooting of Hibiscus cannabinus L. cuttings. Plant Science. West Bengal, India. 21-23.

26. _____ y N. R. Basu. 1977. Effect of pretreatment on stock plants with ethrel and morphactin on the rooting of French bean - (Phaseolus vulgaris L.) cuttings. Plant Science. West Bengal, India.
27. Ruelas, G. S. 1976. Estudio de los efectos del Rutin y el ácido indolbutírico, así como su interacción en el enraizamiento de estacas del híbrido natural entre Durazno (Prunus persica L.) y Almendro (P. amygdalus Batsch). Tesis de M. C. ENA, Chapingo, Méx.
28. Sadhu, M. K. Effect of pretreatment of stock plants of Mango with cycocel, ethrel and morphactin on the rooting of cuttings and air layers. Scientia Horticulturae. Calcuta, India. 363-368.
29. Salazar, S. A. 1982. Enraizamiento de estacas de Manzano MM-106 con ácido indolbutírico (AIB) y 22°C en la base. Tesis profesional. Chapingo, Méx.
30. Uhrström, I. 1974. The effect of auxin and low pH on young's modulus in Pisum stems and on water permeability in potato parenchyma. Physiol. Plantarum 30: 97-102.
31. Zucconi, F. y A. Péra. 1977. Mineral nutrition and pH effect on the rooting of mung bean cuttings. Riv. Ortoflorofrutti 61.