

00361

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

26

DISTRIBUCION, CARACTERIZACION ECOLOGICA
Y ETNOBOTANICA DE *Sagittaria macrophylla* Y
S. Latifolia EN LA CUENCA ALTA DEL RIO LERMA,
ESTADO DE MEXICO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS
P R E S E N T A
CARMEN ZEPEDA GOMEZ

298529

DIRECTOR DE TESIS: DR. ANTONIO LOT HELGUERAS

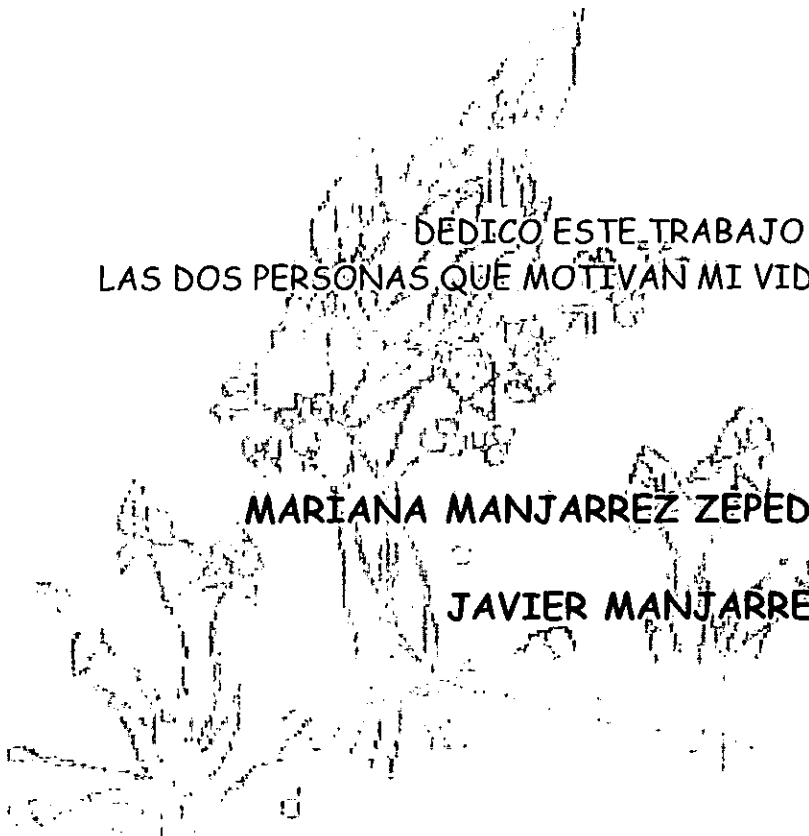


UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

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.



DEDICO ESTE TRABAJO A
LAS DOS PERSONAS QUE MOTIVAN MI VIDA

MARIANA MANJARREZ ZEPEDA
y
JAVIER MANJARREZ

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero y extenso agradecimiento al Dr. Antonio Lot Helgueras por su invaluable contribución a mi formación profesional y apoyo durante la realización de esta tesis.

Agradezco los comentarios y aportaciones a los borradores de este trabajo por los sinodales Dr. Robert A. Bye Boettler, Dra. Alma D.L. Orozco Segovia, M. en C. Agustín de J. Quiroz Flores, M. en C. J. Pedro Ramírez García A., M. en C. Nelly Diego Pérez y M. en C. M. Edelmira Linares Mazari.

Agradezco incomparablemente al M. en C. Javier Manjarrez por su invaluable e incondicional apoyo en las salidas de campo, en los análisis, en la elaboración y revisión del manuscrito, en los momentos buenos y malos etc. etc. Sin duda por sus grandes aportes a mi vida y a mi formación académica.

Al M. en C. Francisco Javier Ramos Durón responsable del Laboratorio de Vegetación Acuática del Departamento de Botánica del Instituto UNAM y a la Técnico Laboratorista Elda García Velazco del Laboratorio de Edafología de la Fac. de Ciencias UAEMéx. por su valiosa ayuda y asesoría en análisis de sedimentos.

Agradezco a los informantes, a todas las personas que muy amablemente accedieron ser entrevistados y a todos aquellos que de diversas maneras contribuyeron a la realización de este trabajo.

A la M. en C. Martha Olvera por su ayuda con los ejemplares de Herbario. Y junto con el Dr. Antonio Lot, M. en C. Daniel Ocaña y M. en C. Pedro Ramírez G. porque hicieron más fácil mi estancia en el laboratorio.

A mis padres, porque su apoyo incondicional ha permanecido durante toda mi vida.

Agradezco a las autoridades de la Facultad de Ciencias de la U.A.E. Méx las facilidades otorgadas.

Este estudio se realizó gracias al apoyo otorgado por: Gobierno del Estado de México periodo 1997-1999. CONACyT (beca- crédito 117260) y Universidad Autónoma del Estado de México (Programa FOMES 1998 y Proyecto de Investigación de la Facultad de Ciencias convenio 1225/97).

Gracias a todos

CONTENIDO

RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	4
ANTECEDENTES.....	6
CUENCA ALTA DEL RÍO LERMA.....	6
DISTRIBUCIÓN DE SAGITTARIA MACROPHYLLA Y S. LATIFOLIA EN MÉXICO.....	7
FACTORES ECOLÓGICOS.....	7
ETNOBOTÁNICA.....	11
OBJETIVOS	14
ÁREA DE ESTUDIO	15
LOCALIZACIÓN Y SUPERFICIE	15
HIDROLOGÍA.....	15
CLIMA.....	17
GEOLOGÍA.....	17
EDAFOLOGÍA.....	17
VEGETACIÓN.....	18
MÉTODO.....	19
SITIOS DE MUESTREO.....	19
DISTRIBUCIÓN.....	19
CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT.....	20
CICLO DE VIDA.....	21
VARIACIÓN DE BIOMASA.....	21
ETNOBOTÁNICA.....	22
ANÁLISIS DE DATOS.....	22
RESULTADOS.....	24
DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT.....	24
<i>Sagittaria macrophylla</i>	24
<i>Sagittaria latifolia</i>	33
CICLO DE VIDA.....	41
<i>Sagittaria macrophylla</i>	41
Emergencia.....	41
Crecimiento.....	45
Reproducción.....	45
Senescencia.....	48
<i>Sagittaria latifolia</i>	48
Emergencia.....	48
Crecimiento.....	49
Reproducción.....	49
Senescencia.....	50
VARIACIÓN DE BIOMASA.....	52
<i>Sagittaria macrophylla</i>	52
<i>Sagittaria latifolia</i>	56
ETNOBOTÁNICA.....	61
<i>Planta de las "papas de agua"</i>	63
Recolecta de tubérculos.....	64
Preparación de los tubérculos.....	67
Venta de tubérculos.....	67
Consumo.....	68
Composición química de tubérculos.....	68

DISCUSIÓN	70
DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT.....	70
CICLO DE VIDA.....	75
VARIACIÓN DE BIOMASA.....	78
ETNOBOTÁNICA.....	80
LITERATURA CITADA	85
APÉNDICE 1	89
APÉNDICE 2	90

RESUMEN

En el trabajo se presenta información básica de las hidrófitas *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia* en la Cuenca Alta del río Lerma, Estado de México, enmarcada en cuatro aspectos generales: distribución, hábitat, biología y etnobotánica.

Mediante revisiones de herbario, bibliográficas y recorridos de campo se estableció la distribución de *S. macrophylla* y *S. latifolia* dentro del Estado de México. En general la distribución de ambas especies en el estado se ha reducido. En la Cuenca Alta del río Lerma es posible encontrarlas de manera más o menos continua desde el inicio del río Lerma, hasta el límite noroeste del estado en altitudes que van de los 2200 hasta los 2600 m.s.n.m. Los cuerpos de agua donde se desarrollan presentan diferentes grados de perturbación y donde es fácil encontrar especies malezoides como *Myriophyllum aquaticum* e *Hydrocotyle ranunculoides*.

Con el fin de elaborar una caracterización general del hábitat donde se desarrollan las especies de estudio, los sedimentos de cuatro localidades de cada una se muestrearon en marzo, agosto y diciembre de 1999 y se evaluaron sus características físicas y químicas. Los sedimentos de las localidades seleccionadas pueden caracterizarse como sedimentos de textura migajon-arcillosa, pH ligeramente ácido, porcentaje de nitrógeno total intermedio, fósforo total alto y proporción de materia orgánica variable. Con la misma finalidad, durante 1999, mensualmente se evaluaron las variaciones en el nivel de agua de las poblaciones y se estableció que ambas especies se desarrollan en niveles de agua inferiores a los 75 cm. sin que se presenten diferencias estadísticas significativas entre ellas ($p=0.11$).

Se definieron los principales eventos del ciclo de vida de cada especie, observándose una clara estacionalidad en su desarrollo y repoblación evidente solo por propágulos asexuales. *S. latifolia* es la más prolífica de las dos especies, presentó un mayor incremento y expansión de los módulos clonales para la siguiente época de crecimiento.

Paralelamente, en tres localidades de cada especie se evaluaron mensualmente durante 1999, la densidad de plantas, longitud de la hoja madura más interna y la distribución de biomasa en las diferentes partes del cuerpo de las plantas, esto con la finalidad de establecer el patrón general de distribución de biomasa en las plantas y posibles relaciones entre estas variables y el nivel de agua. Se encontró una distribución variable de biomasa que se incrementó a lo largo de la estación de crecimiento, llegando a su máximo entre septiembre y noviembre. En *S. macrophylla* se encontraron correlaciones positivas y significativas entre el nivel de agua y las variables citadas anteriormente ($p<0.05$), sugiriendo que estas plantas pueden ser sensitivas a los cambios en el nivel de agua. En *S. latifolia* se observaron relaciones relativamente débiles significativas y negativas entre las mismas variables, indicando un efecto inverso de nivel de agua al observado en *S. macrophylla* y con ello probablemente una menor habilidad de las plantas de *S. latifolia* para crecer en niveles de agua que excedan cierto límite o durante inundaciones repentinas y prolongadas.

En la parte etnobotánica se realizaron entrevistas semiestructuradas que se aplicaron a los vendedores y recolectores de diferentes localidades de la Cuenca Alta del río Lerma, con ello se establecieron los principales eventos del uso de la "papa de agua" y la posible continuidad de su uso. En general el uso de las sagitarias de estudio, ha disminuido junto con la pérdida de hábitats, solo *S. latifolia* parece tener continuidad limitada en su uso a través de la historia. El estilo de vida de los que antes se beneficiaban con su uso se ha modificado y con ello se está perdiendo su conocimiento tradicional. Particularmente el consumo de las "papas de agua" es muy local y esta restringido a la porción del curso alto y medio de la Cuenca Alta del río Lerma donde se encontró la presencia de dos áreas de recolecta cada una con un fenotipo particular de "papas de agua" sugiriendo posibles adaptaciones edáficas y nuevas líneas de investigación.

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo cultural del hombre del altiplano mexicano, las plantas y en especial las acuáticas, han sido un elemento clave. La vegetación de los sistemas lacustres que se extendían por la mayor parte del centro de México formó parte importante de la cultura de los antiguos habitantes de estas zonas, como se documenta en los principales códices. Miranda- Arce (1980) menciona que en el Códice Badiano se citan 10 hidrófitas con usos medicinales, en la Historia Natural de la Nueva España se incluyen 14 con uso medicinal o comestible y en el Códice Florentino se habla aproximadamente de 16 con usos medicinales, alimenticios o artesanales, entre las cuales está *Sagittaria macrophylla* (Urbina, 1903).

Si bien, durante la historia se han usado un número considerable de plantas, muchas de las cuales se han cultivado comercialmente en alguna medida, los hábitos alimenticios y culturales se han modificado por el proceso de transculturación y el deterioro del hábitat, de tal forma que el uso tradicional de muchas especies autóctonas, que en algún momento eran ampliamente distribuidas y usadas, ha declinado y se ha hecho más local.

A nivel mundial algunas hidrófitas han sido muy apreciadas y existe un número cada vez mayor de publicaciones al respecto (Boyd, 1972). Varias especies de *Sagittaria* se han registrado como útiles; el uso más antiguo probablemente sea el encontrado en los coprolitos humanos de la caverna Dryden en Nevada, E.U.A., datados de 3000 años A.C. (Neumann, et al. 1989); Se sabe que desde 1854 los indios Chinoc de Oregon, Estados Unidos, consumían tubérculos de varias especies de este género, al igual que algunas poblaciones del Viejo Mundo (Kays y Dias, 1995; Porterfield, 1940). Actualmente, en California, E.U. se preparan con los tubérculos de *Sagittaria latifolia* diversos platillos como ensaladas o panqués (Clarke, 1977). En otras regiones de América, como Argentina, las plantas de *Sagittaria* se usan con fines ornamentales en acuarios y jardines, y de acuerdo con Gordon (1996) podría utilizarse en planes de manejo y restauración ecológica de cuerpos de agua.

Desde el punto de vista ecológico, las plantas acuáticas son componentes fundamentales de los ecosistemas acuáticos, participan en numerosas relaciones físicas, químicas y biológicas de su ambiente, que pueden influir directa o indirectamente en sus propias historias de vida (Riemier, 1984), de hecho la estructura de los sistemas acuáticos permite la presencia de una gran variedad de condiciones que influyen directamente sobre la distribución, abundancia y mecanismos reproductivos de las plantas acuáticas. Así, la acción combinada de diversos factores abióticos, bióticos (relaciones intra e interespecificas), antropocéntricos e históricos o evolutivos y los efectos

mutuos que mantienen, permiten una extraordinaria diversificación reflejada en las diferentes formas de vida (Pianka, 1982; Tivy, 1971 y 1993).

Para las macrófitas emergentes los factores abióticos más importantes, y que determinan directa o indirectamente su distribución, desarrollo y productividad son: el sustrato y la presencia de algunos nutrimentos, la temperatura, la luz, el régimen de agua, además de la claridad del agua, las corrientes y en su caso la acción de mareas (Eckblad et al, 1977).

El efecto de los factores ambientales sobre la distribución de las hidrófitas, está bien documentado y para diferentes especies del género *Sagittaria* las investigaciones han revelado información importante acerca de sus estrategias e historias de vida. Se ha determinado que la presencia de ecotipos en el género *Sagittaria* está altamente correlacionada con las fluctuaciones del nivel del agua, el tipo de suelo y las concentraciones de nutrimentos presentes en él (Wooten, 1970, 1973), sugiriendo adaptaciones edáficas importantes (Wooten, 1986a). Sin embargo, no sólo las variaciones de algunos factores ambientales como los mencionados anteriormente pueden ser determinantes en la distribución de macrófitas emergentes (Gosselink y Turner, 1978). Los patrones de distribución, también pueden ser modificados por los procesos naturales de dispersión de las plantas y en algunos casos por las actividades humanas, sobre todo cuando las especies acuáticas representan un recurso importante y de valor económico.

En México, a pesar de que se han realizado numerosos estudios en plantas acuáticas, estos se han enfocado principalmente a aspectos de sistemática, taxonomía, florística, fitogeografía y ecología. Desafortunadamente, el aprovechamiento regional de algunas especies así como los patrones fenológicos y reproductivos de un número importante de hidrófitas han sido poco abordados y muchas veces ignorados pese a ser fundamentales para determinar aspectos evolutivos, ecológicos y de manejo de este grupo de plantas.

Los fenómenos básicos de la biología y aprovechamiento de especies como *S. macrophylla* y *S. latifolia* en México son totalmente desconocidos y desafortunadamente los hábitats en donde se desarrollan están siendo modificados y alterados por las actividades agropecuarias e industriales tan severamente, que tienden a desaparecer. El deterioro ecológico en el que se encuentra la Cuenca del río Lerma demanda la realización de más investigaciones sobre sus recursos, antes de su desaparición. El estudio sobre la distribución, hábitat y biología de especies como *S. macrophylla* y *S. latifolia* permitirá generar información básica para otras investigaciones que sustenten y planifiquen el uso y aprovechamiento no sólo de estas especies sino también de los ambientes donde se desarrollan.

ANTECEDENTES

CUENCA ALTA DEL RÍO LERMA

Desde la época prehispánica el río Lerma estuvo conectado a tres lagos, Chiconahuapan, Chimaliapan y Chicahuapan o región del Matlatzincó (los pescadores del otro lado), y fue una zona lacustre importante como fuente de recursos naturales y un punto de estancia en el recorrido que los peregrinos hacían desde Tenochtitlan hasta Chalma para adorar al “dios de las cuevas” u “Otzoteotl” (Romero, 1978). En el siglo XVI la Cuenca Alta del río Lerma era una región que impactaba por su riqueza y belleza natural (Romero, 1978). A principios y mediados del siglo XIX fue considerada como una de las regiones del mundo con mayor tasa de productividad agrícola y ganadera (Anónimo, 1993). Sin embargo, actualmente el crecimiento poblacional, las actividades productivas y el uso irracional del ambiente han conducido a la degradación de los recursos naturales de la zona.

Los estudios sobre la flora acuática de la Cuenca Alta del río Lerma son escasos, las contribuciones más importantes se realizaron por Rioja y Herrera (1951) y Ramírez-Cantú y Herrera (1954); en el primer caso se trata de la primera aportación documentada sobre el conocimiento de la flora del valle de Toluca, se incluyen aspectos generales sobre la geología y la ecología de la región y se citan nueve familias de plantas acuáticas, con 11 géneros y 19 especies. Las investigaciones de Ramírez-Cantú y Herrera (1954) aportan conocimientos sobre la distribución de vegetación del Lerma, se reconocen 22 especies de plantas acuáticas de 13 géneros y 11 familias.

El aporte más reciente sobre la flora acuática de la Cuenca Alta del río Lerma se realizó por Ramos-Ventura (2000), establece que la flora acuática de la región está constituida por 90 especies, 45 géneros y 31 familias, además describe la vegetación acuática con base a las formas de vida y la diversidad de cuerpos de agua.

Si bien, la Cuenca del río Lerma es considerada como una de las más importantes a nivel nacional, el deterioro causado por las actividades humanas es evidente y ha conducido a que la flora local sea desplazada, favoreciendo el desarrollo de especies que son consideradas en algunos casos como malezas acuáticas. Este hecho ha conducido de la misma forma a la reducción de las poblaciones de algunas plantas acuáticas actualmente consideradas como amenazadas o en peligro de extinción o en los casos más dramáticos ha originado la extinción de otras (Ramos-Ventura, 2000).

DISTRIBUCIÓN DE *Sagittaria macrophylla* Y *S. latifolia* EN MÉXICO.

La familia Alismataceae comprende 11 géneros, entre estos destacan por el número de especies los géneros *Sagittaria* (aprox. 25 spp) y *Echinodorus* (aprox. 26 spp) (Haynes y Holm-Nielsen, 1994). En los hábitats dulceacuícolas de México, esta familia es una de las cuatro más diversas (Lot, et al., 1986 y 1998) y presenta al menos once especies del género *Sagittaria*.

El Estado de México es el tercer estado a nivel nacional por la riqueza de especies acuáticas que tiene (41; Lot, et al., 1998), dentro de ellas se incluyen *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia*. En ambos casos se trata de macrófitas emergentes que crecen en las orillas y zonas poco profundas de los cuerpos de agua limpios y de poca corriente.

La distribución de *S. macrophylla* se restringe al centro de la República Mexicana, en la Cuenca del río Lerma y Valle de México, por lo que se considera endémica de esta región y del país (Bogin, 1955; Haynes y Holm-Nielsen, 1994; Novelo y Lot 1990; Smith, 1894; Cuadro 1).

La distribución de *S. latifolia* es más amplia e incluye desde Canadá hasta el noroeste de Sudamérica. En México se ha registrado en los estados de Puebla, Jalisco, Durango, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, México, Veracruz, Campeche, Nayarit y Michoacán (Bogin, 1955; Haynes y Holm-Nielsen, 1994; Lot, et al., 1986; Novelo y Lot 1990; Lot, et al. 1999). Para el Estado de México solo se registra en el Lago de Chalco y Lerma (Cuadro 1).

Algunos autores citados en el cuadro 1 hacen referencia a la distribución y uso de ambas especies, pero estudios detallados sobre su potencial económico o el estado de sus poblaciones es aparentemente nulo.

FACTORES ECOLÓGICOS

Dentro de los sistemas acuáticos, las plantas están involucradas en numerosas relaciones ecológicas que comprenden mecanismos físicos, químicos y biológicos. Sin embargo, las variaciones en algunos factores ambientales determinan directa o indirectamente su distribución, desarrollo y productividad. Entre los factores ambientales que potencialmente influyen sobre las plantas acuáticas están las características fisicoquímicas del sustrato y aquellas relacionadas con el régimen y la profundidad del agua (Eckblad, et al., 1977).

Cuadro 1. Localidades de *S. macrophylla* y *S. latifolia* en el centro de México registradas en la literatura.

Localidad y Estado	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud	<i>S. macrophylla</i>	<i>S. latifolia</i>
Apaxco Edo. de Méx.	2200	19°57'	99°10'	2	
Cuahuitlán Edo. de Méx.	2300	19°40'	99°12'	4	
Chalco Edo. de Méx.					4
Huehuetoca Edo. de Méx.	2300	19°51'	99°22'	2,4	
Lerma Edo. de Méx.	2600	19°15'	99°30'	8,9,10	10
Tepozotlán Edo. de Méx.	2300	19°43'	99°13'	4	
Tequisquiác Edo. de Méx.	2300	19°53'	99°12'	2	
Texcoco Edo. de Méx.	2250	19°30'	99°58'	4	
Tultitlán Edo. de Méx.	2250	19°39'	99°10'	4	
Zumpango Edo. de Méx.	2300	19°46'	99°08'	2,4	
C. de México D.F.				4	
Churubusco D.F.				7	7*
Ixtapalapa D.F.		19°21'	99°06'	7	7*
Lechería D.F.				5	
Mixquic D.F.	2300	19°13'	99°00'	1,6	6*
Tlahuac D.F.	2250	19°18'	99°01'	4	
Xochimilco D.F.	2274	19°16'	99°06'	6,7	6,7*
Tepeji del Río, Hidalgo		19°54'	99°20'	2	
Lago de Patzcuaro, Michoacán				3	3

* Reportadas como *Sagittaria sagittifolia*

1.- Miranda- Arce, (1980); 2.- Romero y Rojas, (1991); 3.- Lot y Novelo, (1988); 4.- Novelo y Lot, (1990); 5.- Conzatti, (1981); 6.- Sánchez, (1980); 7.- Reiche, (1926) 8.- Martínez y Matuda, (1979); 9.- Rioja y Herrera, (1951); 10.- Ramírez-Cantú y Herrera, (1954).

El sustrato, es la fuente principal de absorción de agua y nutrientes disueltos por vía del sistema radicular (Sculphorpe, 1967; Spence, 1967). Sus características fisicoquímicas son limitantes para el desarrollo y autoecología de las hidrófitas enraizadas (Hutchinson, 1975). Características físicas como la textura, influyen directamente en la distribución de la vegetación enraizada de los cuerpos de agua, a través de su efecto en el suplemento de nutrientes disponibles, en la aireación y en la facilidad con la cual las raíces pueden penetrar en él (Sculphorpe, 1967; Tivy, 1971). Además, la pobre aireación que se presenta en el sustrato, así como la acumulación en él, y en la capa continua de agua, de bióxido de carbono, metano y sulfuro, afectan la disponibilidad

de nutrimentos y producen problemas fisiológicos tanto para las raíces como para los tallos subterráneos.

Los primeros estudios, sobre el efecto del sustrato en hidrófitas (Misra, 1938; Pearsall, 1917, 1918, 1920) sugieren que la distribución de las plantas acuáticas esta gobernada principalmente, por las características físicas y químicas de los sedimentos. En general, los estudios de campo sobre las condiciones edáficas en poblaciones de hidrófitas emergentes de agua dulce se han dirigido a evaluar la producción de biomasa, la composición mineral de las plantas y el efecto de las características fisicoquímicas del suelo sobre la distribución de los organismos (Good, et al., 1978).

Se ha establecido que especies como *Sagittaria platyphylla*, *S. graminea*, *S. cristata*, *S. falcata*, *S. lancifolia*, *S. rigida*, *S. isoetiformis*, *S. papillosa*, *S. stagnorrum*, *S. fasciculata* y *S. kurziana* se desarrollan en suelos con niveles de nutrimentos específicos o asociados a alguna característica química de los mismos, como por ejemplo el pH y concentraciones de K, Ca, P y Mg, condiciones que al mismo tiempo permiten delimitar a cada población y en ocasiones a algunos ecotipos (Wooten, 1973, 1986a). Con lo anterior se sugiere que en algunas especies de *Sagittaria* se presentan importantes adaptaciones edáficas y que las diferencias en los factores del suelo pueden indicar posibles preferencias o especificidad a un tipo en especial, determinante en los patrones de distribución y en la diferenciación evolutiva de las especies (Wooten, 1973, 1986a).

El régimen de agua en ambientes acuáticos es indispensable para el crecimiento de muchas macrófitas (Sculpthorpe, 1967). El efecto más importante de este factor es sobre la morfología de las hojas (Sant, 1964; Wooten, 1986b) e inflorescencias de las acuáticas emergentes, así como en la germinación de semillas y establecimiento de plántulas, rizomas y tubérculos (Beal, et al., 1982; Kaul, 1991; Wooten y Lamotte, 1978).

Se ha demostrado que las variaciones del nivel de agua asociados principalmente a los cambios estacionales, influyen directamente en el tipo, la forma y el tamaño de las hojas de algunas especies de *Sagittaria* (Bogin, 1955; Wooten, 1986b; Wooten y Lamotte, 1978). Lo anterior puede estar ligado a las diferencias genéticas interespecíficas y la variabilidad intraespecífica, que permite una amplia plasticidad fenotípica, y consecuentemente habilidad de la planta para sobrevivir en un hábitat particular (Wooten, 1986b).

En algunas especies de sagitarias se ha asociado el nivel de agua y el porcentaje de irradiación con la producción de biomasa sobre el nivel del suelo (McKee y Mendelsohn, 1989), el

crecimiento, producción de flores, en número y tamaño (Kaul, 1991; Wooten y Lamotte, 1978), germinación de semillas (Vescio, 1979; In: Kaul, 1985) y reproducción vegetativa (Kaul, 1985). Clark y Clay (1985) encontraron una relación importante entre la biomasa producida sobre y bajo los sedimentos y la transparencia de las aguas en poblaciones de *S. latifolia* y *S. rigida*, identificando que las plantas que crecían en zonas con aguas transparentes presentan mayor biomasa.

El encharcamiento del agua y la intensidad de las corrientes también parecen tener efecto sobre la densidad y las tasas de sobrevivencia en poblaciones de *S. fasciculata* (Newberry, 1991).

De la misma forma, las características químicas del agua como la alcalinidad, concentración de sulfatos, pH y minerales disueltos han resultado ser importantes en la distribución de otras especies de sagitarias. por ejemplo, Moyle (1945) encontró que *S. latifolia* presentó crecimiento deficiente en aguas blandas, mientras *S. cristata* y *S. rigida* fueron características de aguas duras. *S. lancifolia*, mostró modificaciones anatómicas y tasas de mortandad altas con el incremento de la salinidad del medio (McKee y Mendelsohn, 1989).

Moyle (1945) cita que la química del agua parece ser el factor más importante que influye en la distribución general de las hidrófitas en Minnesota, sin embargo, la variación en la química del agua no influye en la distribución de las acuáticas enraizadas a menos que se encuentren correlacionadas con la naturaleza del sustrato (Pearsal, 1920).

La fluctuación de la temperatura en ambientes acuáticos y en sedimentos saturados de agua, es menor que en los hábitats terrestres y parece tener poca influencia en la distribución de muchas hidrófitas (Pip, 1989; Sculphorpe, 1967; Symoens, 1988).

La temperatura tiene un efecto indirecto en el desarrollo de las plantas acuáticas, por su interacción con la concentración de oxígeno y el suplemento de nutrimentos en el agua (Sculphorpe, 1967; Symoens, 1988). Es responsable de respuestas fisiológicas como la latencia y la formación de turiones (Haag, 1979; Van Wijk y Trompenaars, 1985; Winston y Gorham, 1979), la germinación de semillas (Telstcherova y Hejny, 1973; In: Pip, 1989), el desarrollo (Barko y Smart, 1981; Barko, et al., 1982), el porcentaje de fotosíntesis (Barko y Smart, 1981; Titus y Adams, 1979; In: Pip, 1989) y el consumo de oxígeno (Anderson, 1969; In: Pip, 1989).

Para las hidrófitas emergentes o de hojas flotantes, la temperatura del aire más que la del agua, influye en su crecimiento y en sus patrones de historias de vida, tanto como en las plantas terrestres (Symoens, 1988). De esta forma, puede ser una limitante en la distribución latitudinal y

altitudinal, e influir directamente en algunos de sus procesos fenológicos, de supervivencia, reproducción y desarrollo así como en sus repuestas a la competencia, enfermedades, predación y parasitismo (Krebs, 1985; Tivy, 1971).

Factores ambientales como la precipitación anual, el índice de humedad y la temperatura mínima de la primavera muestran fuertes correlaciones con la distribución de *Sagittaria engelmanniana*, *S. australis* y *S. brevirostra*, debido a los requerimientos de precipitación estacional para la germinación de sus semillas y el establecimiento de sus plántulas, rizomas y tubérculos (Beal, et al., 1982).

De la misma forma, los procesos de sedimentación, junto con los periodos de inundación y las corrientes, influyen en la invasión de especies de sagitaria (Eickblad, et al., 1977). En *S. sagittifolia* y otras siete especies de heliófitas se observó que además de la profundidad y la duración de la inundación, la época en la que ésta ocurre tiene impacto directo en las respuestas de crecimiento y en sus patrones de distribución (Van der Brink, et al., 1995).

Existen otros factores más específicos como los requerimientos de germinación (*S. latifolia*, Gordon, 1996; *S. latifolia* y *S. calycina*, Vesco, 1979; In: Kaul, 1985); de reproducción (*S. calycina*, Turner, 1981; In: Kaul, 1985) u otros menos estudiados como la herbivoría, la competencia y los disturbios producidos por el hombre y el ganado que también restringen la densidad, tasa de sobrevivencia (*S. fasciculata*, Newberry, 1991), así como la presencia y distribución de las heliófitas (Van der Brink, et al., 1995).

ETNOBOTÁNICA

En el desarrollo cultural del hombre, las plantas han sido un elemento clave desde la recolecta y el origen de la agricultura hasta la actualidad. La vegetación de los sistemas lacustres que se extendían por la mayor parte del centro de México formó parte importante de la cultura de los antiguos habitantes de estas zonas.

Los registros acerca del uso indígena de las plantas en México se iniciaron después de la conquista con la creación de diversos códices, que de alguna forma rescataron mucha de la información indígena sobre el uso de las plantas. Entre las obras más importantes al respecto destacan el Códice Badiano o Libellus de Medicinalibus Indorum Herbis escrito por Martín de la Cruz en 1552 y traducido por Juan Badiano; La Historia Natural de la Nueva España (1576) de Francisco Hernández y La Historia General de las Cosas de Nueva España, particularmente el

Códice Florentino de Fray Bernardino de Sahagun (1577-1585). En estas obras se incluye un número importante de plantas acuáticas con algún uso. Por ejemplo, en el Códice Badiano se citan 10 hidrófitas con usos medicinales, en la obra de la Historia Natural de la Nueva España se incluyen 14 con uso medicinal o comestible y en el Códice Florentino se habla aproximadamente de 16 con usos medicinales, alimenticios o artesanales (Miranda- Arce, 1980).

En la información etnobotánica del Códice Florentino se cita, en la sección sobre las “hierbas comestibles”, el uso de una “*hierba esparragada larga, que crece en la orilla del agua, que se come cocida y que es sabrosa*” denominada “Acuitlacpalli” (del Nahuatl *atl*= agua; *cuilac*= planta, excreción y *palli*= barro negro), consumida por los hombres de alto rango o “Tlatoque” (Zepeda y Lot, 1999). Esta descripción y la representación gráfica de esta planta (Fig. 1) corresponden a *S. macrophylla* (Urbina, 1903). En la misma obra, pero en la sección de las “raíces comestibles” se menciona el uso de la raíz llamada “Cacateztlí” (del Nahuatl *cacatl*= paja o planta y *textli*= harina), descrita en el texto en español como una “*raíz redonda, pequeña, como grano de maíz que se come cocida y que es sabrosa*” (Zepeda y Lot, 1999); aparentemente no hay una representación gráfica de esta raíz ni de la planta, pero Lot y Miranda-Arce (1983) mencionan que corresponde con bastante seguridad a los atributos de la “papa de agua” o tubérculos de *S. macrophylla*.

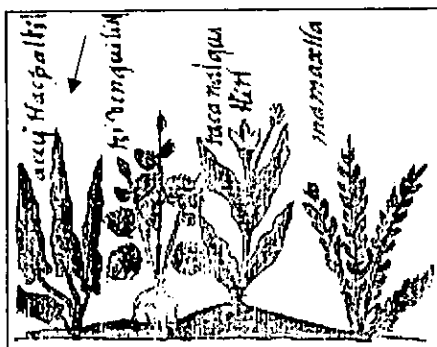


Fig. 1. Representación de “Acuitlacpalli” (flecha) en el Códice Florentino

En el Códice Badiano y en la Historia Natural de la Nueva España aparentemente no se registró ninguna de las especies de estudio.

De acuerdo con varios autores (Martínez y Matuda, 1979; Miranda-Arce, 1980; Sahagun, 1926 y 1977), actualmente esta planta es conocida en la región del río Lerma, Edo. de México.

como “apaclol” “apacolillo”, “cucharilla”, “hoja flecha” o “cola de pato” por la forma característica de sus hojas sagitadas. Sus tubérculos se reconocen con el nombre de “papas de agua” y se consumen y venden hervidos en los mercados de la región.

Por otro lado, el uso tradicional de *S. latifolia* aparentemente no se incluye en ninguna de las obras antes citadas, en México no se tiene registros de algún uso directo de esta especie, es conocida generalmente como “colomo”, “flecha de agua”, “hierba de la flecha” y “hoja flecha” (Novelo y Lot, 1990).

A nivel mundial y dada la distribución natural de *S. latifolia*, su aprovechamiento resulta ser más generalizado. Se ha registrado el uso de esta especie desde 1854, los indios Chinoc de Oregon, Estados Unidos, incluían en su dieta sus tubérculos (“Wapato”) junto con los tubérculos de *S. cuneata* (Porterfield, 1940). Actualmente, en California, E.U. se preparan con los tubérculos de esta especie diversos platillos como ensaladas o panqués (Clarke, 1977). En otras regiones, como Argentina y sur del Continente Americano, las plantas de esta especie se usan con fines ornamentales en acuarios y jardines, y probablemente en programas de manejo y restauración de cuerpos de agua (Gordon, 1996).

En general, los órganos de perennación o tubérculos formados en el invierno por algunas otras especies del género *Sagittaria*, así como las hojas, son comestibles y tienen importancia económica en algunas regiones. En el Viejo Mundo *S. sagittifolia* o “Chinese arrowhead” es común en los arrozales, y aun cuando no es cultivada, se incorpora a la dieta como una planta de valor secundario (Porterfield, 1940). Los tubérculos de *S. trifolia* var *edulis* son cultivados y reconocidos en China como “ye ci qu” o “Chinese arrowhead” (Kays y Dias, 1995). La hoja sagitada llamada T’zu-Ku descrita en el Pen-tsao por los Chinos, se ha identificado como *S. trifolia* por algunos autores (Porterfield, 1940). Recientemente se sabe que los tubérculos de *S. rhombifolia* son consumidos por los indios Pumé de Venezuela (Gragson, 1997). La mayoría de los tubérculos son cocinados y consumidos en la misma forma que la “Papa”, o el “Taro” del género *Colocasia*, algunos se consumen crudos y otros se secan para usarlos posteriormente como harina (Clarke, 1977).

Quizá el registro más antiguo del uso de sagitarias sea el encontrado en los coprolitos humanos de Dryden Cave, Nevada datados de 3000 años A.C., en los cuales se encontraron fragmentos de raíces de *Sagittaria* (Neumann, et al., 1989).

El Folk-lore les adjudica propiedades terapéuticas a varias estructuras de algunas especies, pero actualmente el género o las especies no tienen algún uso en la medicina, solo se reporta que Sharma, et al., (1975) observaron la actividad antiinflamatoria de un extracto de *S. sagittifolia* del cual aislaron un nuevo diterpeno, el Sagittariol. Tradicionalmente, las hojas maceradas son aplicadas a úlceras infectadas, picaduras de culebras e insectos y el polvo de las mismas se usa para enfermedades del prurito. Además, se cree que el consumo de los tubérculos crudos es peligroso porque produce flujos, hemorroides e induce nacimientos prematuros (Porterfield, 1940), los pedicelos de *S. sagittifolia* son usados en la India para inducir abortos o junto con pimienta negra para retener al feto (Sensarma y Ghosh 1995).

OBJETIVOS

1. Delimitar la distribución de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia* en la Cuenca Alta del río Lerma.
2. Describir los principales eventos del ciclo de vida de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia*.
3. Establecer las variaciones del nivel de agua y su relación con la fenología y distribución de biomasa de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia*.
4. Evaluar las características físicas y químicas de los sedimentos donde se desarrollan *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia*.
5. Determinar el uso y aprovechamiento de ambas especies por los habitantes de la región.

El Folk-lore les adjudica propiedades terapéuticas a varias estructuras de algunas especies, pero actualmente el género o las especies no tienen algún uso en la medicina, solo se reporta que Sharma, et al., (1975) observaron la actividad antiinflamatoria de un extracto de *S. sagittifolia* del cual aislaron un nuevo diterpeno, el Sagittariol. Tradicionalmente, las hojas maceradas son aplicadas a úlceras infectadas, picaduras de culebras e insectos y el polvo de las mismas se usa para enfermedades del prurito. Además, se cree que el consumo de los tubérculos crudos es peligroso porque produce flujos, hemorroides e induce nacimientos prematuros (Porterfield, 1940), los pedicelos de *S. sagittifolia* son usados en la India para inducir abortos o junto con pimienta negra para retener al feto (Sensarma y Ghosh 1995).

OBJETIVOS

1. Delimitar la distribución de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia* en la Cuenca Alta del río Lerma.
2. Describir los principales eventos del ciclo de vida de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia*.
3. Establecer las variaciones del nivel de agua y su relación con la fenología y distribución de biomasa de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia*.
4. Evaluar las características físicas y químicas de los sedimentos donde se desarrollan *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia*.
5. Determinar el uso y aprovechamiento de ambas especies por los habitantes de la región.

ÁREA DE ESTUDIO

LOCALIZACIÓN Y SUPERFICIE

La Cuenca Alta del río Lerma tiene una superficie de 5 548 Km² y se encuentra en la parte centro-noroeste del Estado de México. Se localiza entre los 19°05' y 20°00' de latitud norte y los 99°20' y 100°05' de longitud oeste (Fig. 2). Presenta una elevación máxima en el Nevado de Toluca de 4 580 m s.n.m. y una mínima en el valle de 2 360 m s.n.m.. Incluye 32 municipios.

Geográficamente se encuentra delimitada en dirección oeste-este, por un parteaguas meridional que une al Nevado de Toluca con el Cerro de Zempoala. Por el oriente, en dirección norte-sur, el parteaguas esta formado principalmente por la serranía de Las Cruces, la cual colinda con la Cuenca del Valle de México. A partir del cerro de La Malinche, ubicado en esta misma serranía, el parteaguas sufre una inclinación hacia el noroeste y se dirige hacia Amecolco, Qro. Por la vertiente izquierda, el parteaguas baja del Nevado de Toluca, hacia la parte sur de Villa Victoria y en dirección oriente llega al Cerro de la Campana (Anónimo, 1993).

HIDROLOGÍA

En el Estado de México, el río Lerma tiene una longitud aproximada de 175 Km., se origina en los manantiales que alimentaban la laguna de Almoloya del Río. Esta laguna, que era la más alta de tres, junto con la laguna de Lerma y de San Bartolo, descendían hacia el norte para encauzar sus aguas en el Lerma. En conjunto, constituían una importante zona lacustre que actualmente se encuentra en avanzado proceso de senectud, acelerado por el aprovechamiento de las aguas subterráneas y el descenso de la recarga hidrológica (Anónimo, 1993).

Los ríos Tejalpa, Verdigué, Santiaguillo, La Gavia, Oztolotepec, Ocoyoacac, Temoaya, Silla, entre otros, proceden del punto más alto de la cuenca (el Nevado de Toluca), y fluyen hacia el norte, noreste y oriente de la misma para formar al río Lerma (Anónimo, 1993).

Además de este sistema hidrológico natural, en la cuenca hay un gran número de obras hidráulicas cuyo uso principal es el riego, dentro de ellas sobresalen por su capacidad las presas: Tepetitlan (con 70,100,000 m³ de capacidad), José Antonio Alzate (con 35,300,000 m³ de capacidad) e Ignacio Ramírez (con 20,500,000 m³ de capacidad) y cerca de 1900 almacenamientos de agua, cuya superficie generalmente no excede una hectárea, son usados como abrevaderos y para la pesca incipiente (Delegación Federal de Pesca en Estado de México, 1990). De acuerdo con el inventario nacional de cuerpos de agua y vegetación acuática se reporta para el Estado de México un total de 63 cuerpos de agua con una superficie mayor a 8 ha, que representan una superficie de agua de 13, 734 ha y en las cuales se presenta una cobertura vegetal del 0.71% (91.80 ha, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1993).

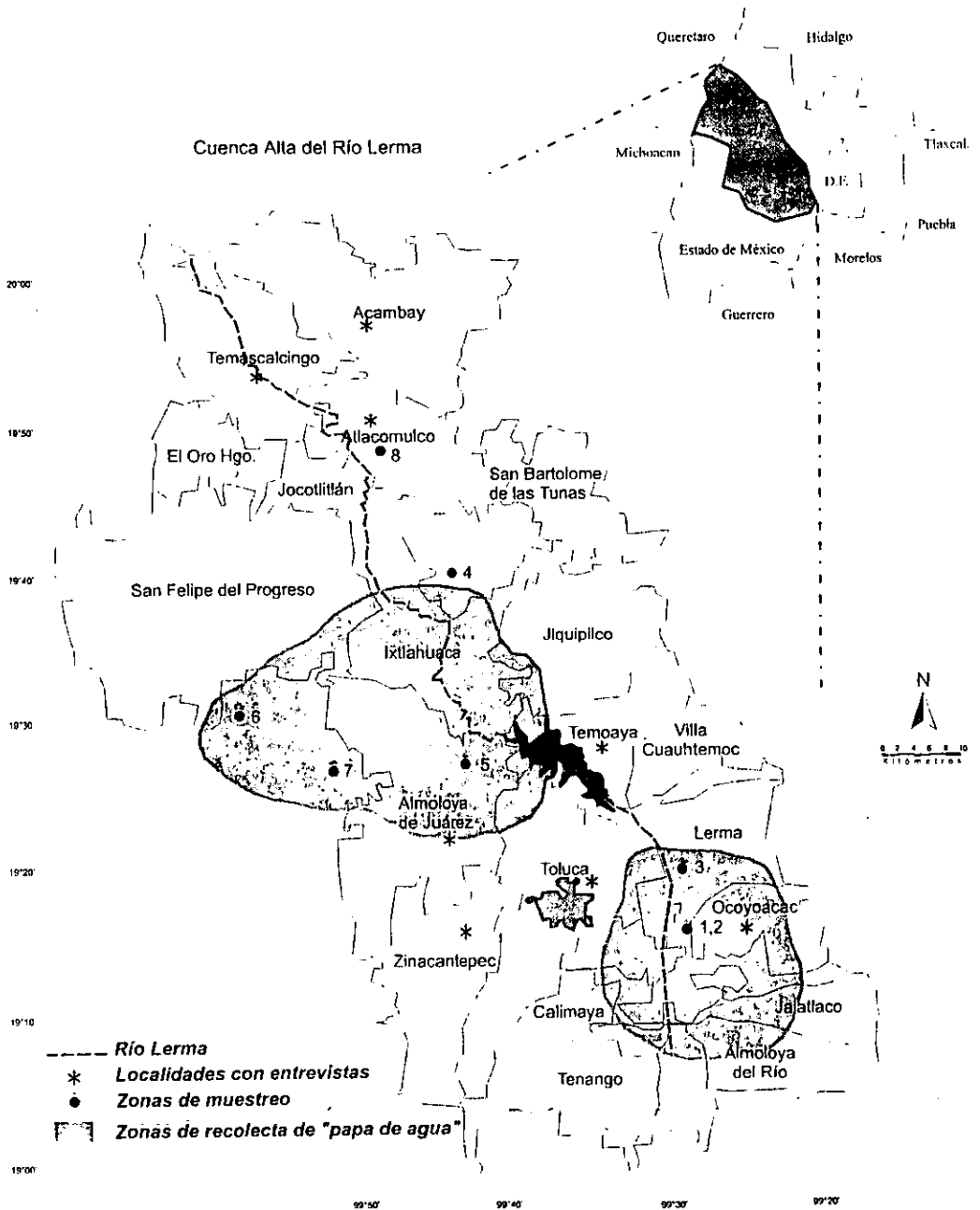


Fig. 2. Zona de estudio

CLIMA

La Cuenca del río Lerma en el Estado de México, presenta una mínima variación en sus condiciones Climáticas (Fig. 3). Por sus características altitudinales, predominan cuatro de las variantes del clima templado subhúmedo con lluvias en verano (C(w2)(w), C(w1)(w), C(E)(w2)(w) y C(F)(m)(w)), en más del 90% de la extensión de la cuenca predomina el tipo C(w2)(w) (Anónimo, 1993).

La excepción más importante, en la región, corresponde a la parte alta del Nevado de Toluca, donde se presenta un clima frío de altura (E(T)H) con -2 a 5 °C de temperatura media anual (Anónimo, 1993).

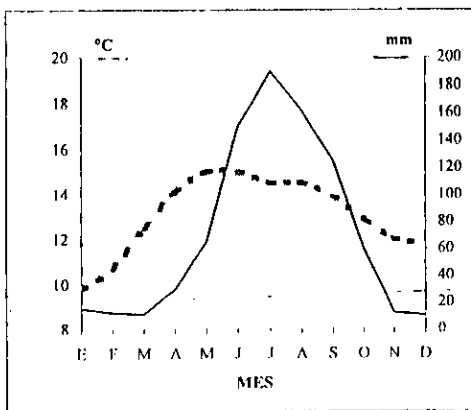


Fig. 3. Climograma de la Cuenca Alta del río Lerma (promedio de 20 estaciones).

GEOLOGÍA

En la Cuenca Alta del río Lerma dominan las rocas de tipo volcánico. En el parteaguas sur-norte (Nevado de Toluca, Sierra Nahuatlaca Matlazinca y Sierra de las Cruces) la geología está constituida principalmente por rocas de intermedias a básicas, calcialcalinas que incluyen depósitos piroclásticos. En el valle de Toluca, se encuentran rocas clásticas y volcánoclasticas que rellenan las depresiones. Hacia la región sur-oeste se encuentran rocas intrusivas félsicas, representadas por granito, cuarzomonzonita, riolitas y dacitas porfídicas (Anónimo, 1993).

EDAFOLOGÍA

Los suelos presentes en la Cuenca Alta del río Lerma son los andosoles, sustentan vegetación de bosques templados y se distribuyen en la zona del Nevado de Toluca y la Sierra de

las Cruces. Los suelos de importancia agrícola son de tipo feozem y se extienden en la mayor parte del valle. Los vertisoles con una considerable extensión en la cuenca son localizados principalmente al alrededor de las presas Alzate y Ramírez (Comisión Nacional del Agua, 1991). En la región de Ocoyoacac, Sierra Nahuatlaca Matlazinca y en las partes altas del Nevado de Toluca se localizan suelos de tipo litosol que sustentan pastizales, matorrales y ocasionalmente bosques. En las zonas inundables donde la vegetación es de tipo tular, dominan suelos de tipo histosol, son los suelos que tienen la distribución más restringida y localizada en la cuenca (Comisión Nacional del Agua, 1991).

VEGETACIÓN

En las zonas montañosas de la Cuenca Alta del río Lerma es posible encontrar: bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de encino, bosques mixtos y pradera de alta montaña, con diferentes grados de conservación (Anónimo, 1981 y Rzedowski, 1978).

En el valle son frecuentes áreas sin vegetación, bosque de tipo secundario, zonas de reforestación, extensos pastizales y zonas de cultivo, además de zonas con vegetación acuática. En el último caso se trata de zonas inundadas con vegetación francamente acuática distribuida en forma de manchones sobre todo el valle de la Cuenca Alta del río Lerma, la región más importante es la de Álmoloya del Río, donde se origina el río Lerma, pero también sobresalen Santa Ma. Atarasquillo, Ocoyoacac y San Pedro Tultepec, con aguas que alcanzan 2 ó 3 m de profundidad y rodeadas de régimen lacustre o sometidas a inundación estacional, además de otras pequeñas porciones repartidas a lo largo de la cuenca. Ramos-Ventura (2000), establece que la flora acuática de la región está constituida por 90 especies, 45 géneros y 31 familias distribuidas en ambientes naturales (ciénegas, lagos, ríos, charcas y canales) y artificiales (bordos y presas) prevaleciendo las hidrófitas enraizadas emergentes. La vegetación acuática característica incluye comunidades de tulares que presentan especies como *Typha latifolia*, *Scirpus validus*, *Eichhornia crassipes* y varias especies de *Cyperus*, además de comunidades de plantas flotadoras y sumergidas, que son dominantes en zonas de aguas tranquilas o de corrientes moderadas. Por su frecuencia, las plantas flotadoras que destacan son varias especies de *Lemna*, *Azolla*, *Spirodela*, *Wolffia* y *Wolffiella*, y entre las especies sumergidas sobresalen algunas especies de *Ceratophyllum*, *Myriophyllum* y *Ranunculus*.

MÉTODO

SITIOS DE MUESTREO

Los sitios de muestreo que se consideraron para las diferentes etapas del trabajo de campo se encuentran señalados en la figura 2 y en el cuadro 2.

Cuadro 2. Sitios de muestreo para *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia*.

Sitio	Población de	Latitud norte Longitud oeste	Altitud (m s.n.m.)
1 y 2.- San Pedro Tlaltizapan, Mpio. de Lerma	<i>S. macrophylla</i> <i>S. latifolia</i>	19°13'28'' 99°29'46''	2475
3.- San Pedro Tultepec Mpio. de Lerma	<i>S. macrophylla</i>	19°16'98'' 99°30'34''	2462
4.- Pasteje, Mpio. de Jocotitlan	<i>S. macrophylla</i>	19°40'10'' 99°46'92''	2430
5.- Presa Ignacio Ramírez, Mpio. de Almoloya de Juárez	<i>S. latifolia</i>	19°27'74'' 99°46'32''	2420
6.- La Presa, Mpio. de Villa Victoria*	<i>S. latifolia</i>	19°27'56'' 100°03'39''	2485
7.- La Gavia, Mpio. de Villa Victoria**	<i>S. macrophylla</i> <i>S. latifolia</i>	19°24'02'' 99°54'42''	2583
8.- Canales de la carretera Toluca- Atlacomulco, Km 68, Mpio. de Atlacomulco**	<i>S. macrophylla</i> <i>S. latifolia</i>	19°46'42'' 99°51'49''	2362

* Localidad incluida en la Cuenca del río Balsas, cerca de los límites con la Cuenca Alta del río Lerma.

** Localidades incluidas sólo para el muestreo y análisis de sedimentos.

DISTRIBUCIÓN

Se revisó la base de datos del Laboratorio de Vegetación Acuática del Instituto de Biología U.N.A.M. donde se incluyen los registros de las colecciones de plantas acuáticas depositadas en 64 herbarios nacionales e internacionales. Solo 12 herbarios presentaron ejemplares de las dos especies de estudio (Apéndice 1). Con lo anterior se registraron 50 ejemplares de la especie *S. macrophylla*, de los cuales 41 pertenecen a 20 localidades de Jalisco, Michoacán, Hidalgo, México y D.F. El Estado de México tiene el mayor número de registros de esta especie (33), diez de los cuales se incluyen en 8 localidades diferentes en la Cuenca Alta del río Lerma, los restantes 23 han sido colectados en la región noreste del Estado de México.

La especie *S. latifolia* se ha registrado en los estados de Puebla, Jalisco, Durango, Tlaxcala, México, Veracruz y Michoacán. Los dos últimos tienen el mayor número de registros apoyados en colecciones de herbario. En el Estado de México, sólo se tienen dos registros para la región de Chalco y dos para la región de Lerma (Apéndice 1).

A los registros anteriores se sumaron los obtenidos por revisiones bibliográficas y recorridos de campo para establecer la distribución de ambas especies en un mapa escala 1:1 000 000.

CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT

Para la caracterización del hábitat, se muestrearon mensualmente de enero a diciembre de 1999 cuatro localidades de cada especie (Cuadro 2) para obtener muestras de sedimento (solo en los meses de Marzo, Agosto y Diciembre) y la variación del nivel de agua. En cada población se colocaron y marcaron con estacas tres puntos de muestreo distribuidos a lo largo de los manchones de plantas, en cada visita los puntos de muestreo se recorrían un metro para evitar muestrear en el mismo punto.

En cada punto de muestreo se estimó y colectó en cada visita:

- a. El nivel del agua, dentro y fuera de los manchones de plantas
- b. Mediante un tubo de PVC de 7 cm de diámetro se colectó por duplicado una muestra de sedimento en cada punto de muestreo. Se colectó los 15 cm más superficiales de sedimento y se almacenó en bolsas de polietileno para trasladarlo al laboratorio donde se secaron a temperatura constante para posteriores análisis de: 1) textura, 2) pH, 3) materia orgánica, 4) nitrógeno y fósforo total y 5) Relación carbono- nitrógeno. La granulometría se determinó por el método del hidrómetro (Day, 1965; In: Black, 1965) y se establecieron las clases de suelo en referencia al triángulo de textura según la USDA (Porta, et al., 1993). El pH de los sedimentos se determinó a través de la suspensión con agua destilada en relación 1:2.5 y utilizando un potenciómetro marca Corning Mod. 340. El porcentaje de materia orgánica se determinó por el método de Walkley y Black (1947) modificado. El nitrógeno total se estimó por el método de Kjeldhal (Chapman y Pratt, 1973), el fósforo total por el método de digestión ácida y determinación de ortofosfatos (Murphy y Riley, 1962). La relación carbono nitrógeno se estimó multiplicando el porcentaje de materia orgánica por 0.58 y dividiendo el resultante por el porcentaje de nitrógeno total (Jackson, 1982). Todas estas determinaciones se realizaron en el Laboratorio de Edafología de la Facultad de Ciencias, UAEM y en el Laboratorio de Vegetación Acuática del Instituto de Biología, UNAM.
- c. Se colectaron las diferentes especies vegetales acuáticas presentes en las zonas de estudio. Se determinaron y se depositaron en el herbario de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México y en el herbario de del Instituto de Biología de la UNAM (MEXU).

CICLO DE VIDA

Para elaborar una descripción general de los principales eventos del ciclo de vida de cada especie, durante el periodo de crecimiento de las plantas (julio a noviembre) de 1997 y 1998, se muestreó periódicamente una población de *S. macrophylla* y otra de *S. latifolia* localizadas en la ciénega de San Pedro Tlaltizapan, Mpio. de Lerma (Cuadro 2; Fig. 2).

En cada población se realizaron observaciones periódicas de emergencia de plantas por semillas, tubérculos y/o rizomas, aparición de hojas, estolones, tubérculos, inflorescencias y achenios. Se colectaron quincenal o mensualmente de 15 a 30 plantas completas. De cada planta se contó el número de hojas, de inflorescencias, de cabezuelas masculinas y femeninas, de achenios y estolones. Además, se estimó la longitud y área de la hoja madura más interna, la longitud, diámetro y biomasa de tubérculos y la longitud y diámetro de estolones con plantas o tubérculos en la punta.

Se seleccionaron 100 achenios de cada especie y se sumergieron en Tétrazoleo al 0.2% durante una hora. El porcentaje de viabilidad se estimó por el número de achenios cuyo embrión se presentara teñido de rojo intenso.

VARIACIÓN DE BIOMASA

Para estimar las variaciones anuales y mensuales del nivel de agua, la densidad de organismos y su relación con la biomasa de ambas especies y entre las diferentes localidades, durante 1999 se visitaron mensualmente tres localidades de cada especie distribuidas en la Cuenca Alta del río Lerma (Cuadro 2; Fig. 2). En cada población se seleccionaron 10 puntos al azar a lo largo de 2 transectos paralelos localizados en la porción central de los manchones de plantas y en cada uno de ellos se estimó; a) el nivel de agua, b) la cobertura (%) de las plantas de *Sagittaria* y c) la densidad de organismos de *Sagittaria* por metro cuadrado.

Para las estimaciones de biomasa, en zonas aledañas a los transectos se colectó en cada visita de 15 a 30 plantas de *Sagittaria*. Cada planta se limpió y separó en hojas, inflorescencias, raíces, estolones y tubérculos cuando estuvieran presentes. Cada categoría se pesó por separado. Adicionalmente, de cada planta se midió la longitud y diámetro del pecíolo y el área de la lámina de la hoja madura más interna (porque refleja las últimas condiciones ambientales, Wooten, 1986b). Cada estructura se pesó por separado. Posteriormente, todas las estructuras se colocaron a secar a 60°C durante 72h. Se pesaron de nuevo y se calculó la proporción de peso seco/peso húmedo para obtener la biomasa estandarizada correspondiente a cada estructura, por planta y por metro cuadrado. Estos valores y los de densidad se usaron para calcular el promedio mensual de biomasa por metro cuadrado y realizar las estimaciones anuales y mensuales respectivas por sitio.

ETNOBOTÁNICA

Se determinó el uso antiguo y el aprovechamiento actual de las especies de estudio.

Para determinar si existe una continuidad en el uso de las especies de estudio (van der Loo, 1953) se revisaron el Códice Badiano o Libellus de Medicinalibus Indorum Herbis (De la Cruz, 1964), La Historia Natural de la Nueva España (Hernández, 1959) y La Historia General de las Cosas de Nueva España, particularmente el Códice Florentino de Fray Bernardino de Sahagun (Sahagun, 1926). En el Códice Badiano y en la Historia Natural de la Nueva España aparentemente no se registra ninguna de las especies de estudio, por lo que solo se comparó la información del Códice Florentino con la información obtenida de entrevistas en campo.

Para establecer el aprovechamiento de las dos especies de *Sagittaria* por parte de los habitantes de la región, se realizaron 15 entrevistas semiestructuradas (Alexiades, 1996) a comerciantes y recolectores de los tubérculos conocidos como “papas de agua” en los principales mercados semanales o “tianguis” de 8 municipios de la zona de estudio (Acambay, Temascalcingo, Atlacomulco, Temoaya, Almoloya de Juárez, Zinacantepec, Ocoyoacac y Toluca, Fig. 2) de noviembre de 1996 a mayo de 1997.

Cada entrevistas semiestructurada (Alexiades, 1996) contenía 25 preguntas (Apéndice 2) y se aplicaron a las personas que estaban dispuestos a ser entrevistados, que conocían las plantas y las zonas de crecimiento. A las personas que ignoraban estos datos y que solo eran vendedores, únicamente se preguntó el precio por unidad o montón de papas y se calculó la cantidad que vendía (17 personas).

Destaca que en los mercados de los municipios del norte del Estado de México las personas potenciales para ser entrevistadas (porque vendían productos extraídos de las lagunas) mencionaron que en esas regiones no se vende ni consume la “papa de agua”, de forma que en esos lugares no se realizaron entrevistas completas.

La información obtenida se corroboró con recorridos de campo y visitas a los cuerpos de agua de la zona de estudio.

El porcentaje de los principales nutrimentos en los tubérculos se evaluó mediante un análisis proximal de muestras de tubérculos crudos parcialmente húmedos (Muller y Tobin, 1980).

ANÁLISIS DE DATOS

- Los datos de longitud, diámetro, peso húmedo, biomasa de tubérculos y rizomas, así como los de longitud del eje tubérculo-retorño y estolones, usados en la descripción del ciclo de vida de cada especie se compararon mediante pruebas de “t” de Student, para detectar diferencias entre

especies. Con el mismo objetivo, los valores de viabilidad de achenios se compararon con el cálculo de una tabla de contingencia de χ^2 de dos por dos.

Las estimaciones de las características de los sedimentos (pII, M.O. nitrógeno y fósforo total) se compararon mediante una prueba de ANOVA, para establecer variaciones entre localidades, fechas de colecta y especies. Los porcentajes de M.O., nitrógeno y fósforo total se transformaron mediante el Arco Seno para realizar las comparaciones respectivas. Para establecer las diferencias en las características de los sedimentos, las localidades de estudio de cada especie se compararon mediante análisis de varianza de dos factores. Con los siete parámetros evaluados de los sedimentos y el nivel de agua de las diferentes localidades se elaboró un dendrograma de clasificación por el método del “vecino más lejano” (Furthest Neighborhood) y distancias métricas euclidianas.

Los valores mensuales de nivel de agua y densidad de organismos se calcularon promediando los datos respectivos obtenidos en los transectos. Los promedios mensuales de la longitud del peciolo, tubérculos por metro cuadrado y biomasa total, sobre y bajo el suelo de estructuras, se calcularon promediando los valores obtenidos mensualmente de 30 plantas colectadas en las regiones aledañas en cada sitio o localidad de cada especie y se usaron para estimar los valores mensuales por metro cuadrado respectivos. Los promedios mensuales se compararon mediante una prueba de ANOVA de dos factores para estimar posibles variaciones entre las localidades y meses de colecta de ambas especies.

Los promedios mensuales de nivel de agua, densidad de organismos, longitud del peciolo y biomasa total, sobre y bajo el suelo de estructuras por metro cuadrado, también se utilizaron para establecer las posibles relaciones entre pares de variables por localidad y especie mediante el coeficiente de correlación de Pearson y regresiones lineales entre variables. Las variables obtenidas por localidad se agruparon para realizar un análisis general de las mismas variables por especie.

La variación en la asignación promedio de biomasa a estructuras reproductoras en los tres sitios de estudio de *S. latifolia* se comparó mediante una prueba de ANOVA.

Los datos de edad de vendedores y antigüedad de venta se correlacionaron mediante el coeficiente de correlación de Pearson para establecer posibles asociaciones.

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico StatgraphicsPlus versión 2.

RESULTADOS

Las plantas de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia* se pueden reconocer fácilmente por las características morfológicas de sus hojas y de otras estructuras, sin embargo y como ocurre en el resto de los integrantes de la familia Alismataceae la profundidad a la que se desarrollan o la tolerancia a la sequía por las diferentes especies varía ampliamente y está íntimamente relacionado con la diversidad de su follaje, por lo que deben considerarse otras características menos variables para su reconocimiento, como las que se citan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Principales características morfológicas de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia*, según Haynes y Holm-Nielsen (1994).

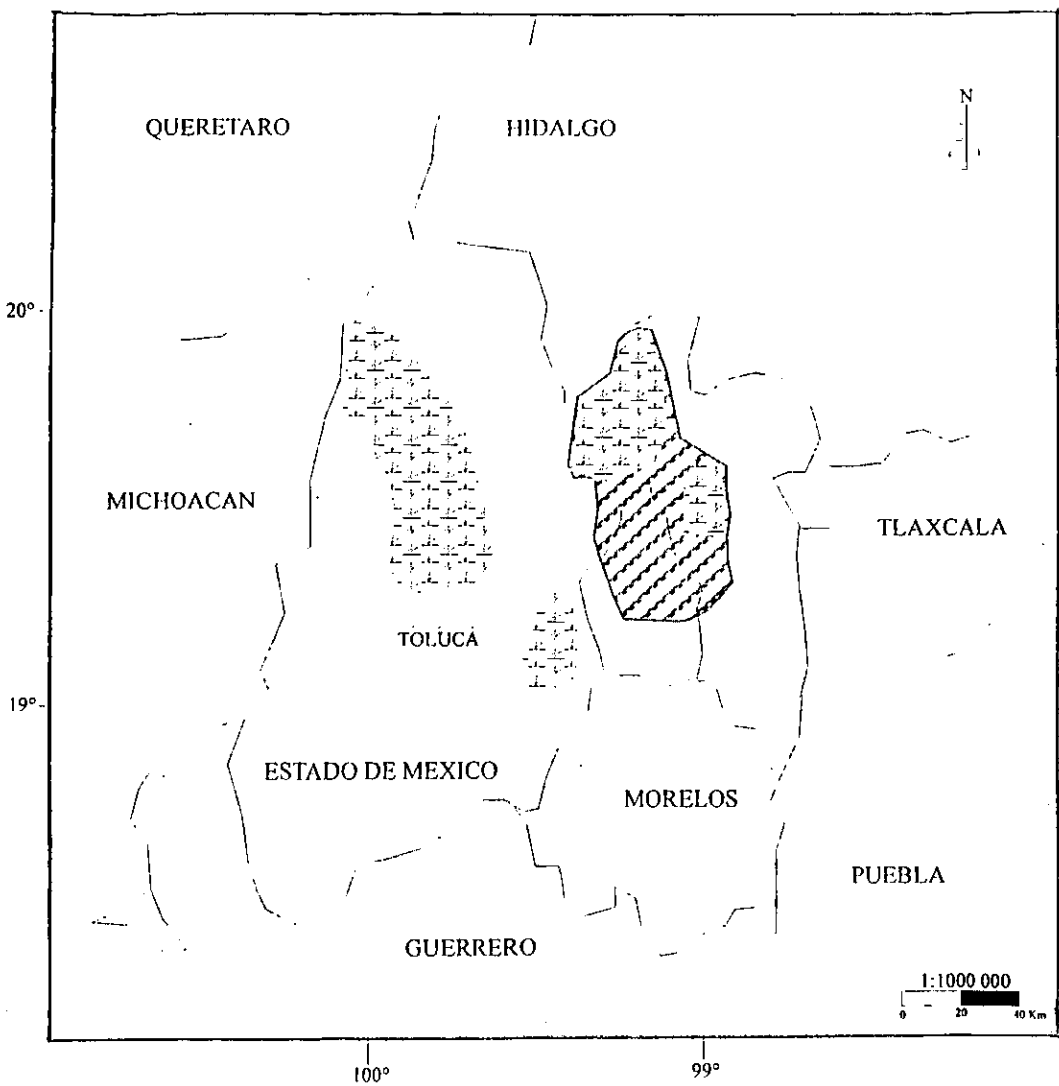
<i>Sagittaria macrophylla</i>	<i>Sagittaria latifolia</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Planta perenne por estolones (15 cm long. Prom.) y/o cormos (1.5 x 1.5 cm prom.) de 25 cm de long prom. • Hojas glabras, sagitadas o hastadas o raramente elípticas (8.5-24.5 cm x 0.7-6.1 cm) con 7 a 9 venas y lóbulos basales menos de la mitad de longitud que el lóbulo superior o raramente ausentes. Lámina más ancha en la porción media del lóbulo superior. • Escapo simple con 3-5 verticilos de flores, bracteas estaminales separadas (7-11 mm de long). Pedicelos estaminales ascendentes de hasta 3.2 cm de long. Pedicelos de flores y frutos de hasta 11 cm de long. • Fruto agregado de 1.1 a 1.7 cm de diam. Aquenios de 3.1 a 3.5 mm de long., con un pico lateral y erecto de 0.6 a 1.2 mm de long. 	<ul style="list-style-type: none"> • Planta perenne por estolones (30 cm de long. prom.) y/o cormos (0.5-1x x 2 cm prom.) de 45 cm de long. prom. • Hojas glabras o pubescentes, sagitadas o raramente hastadas (1.5-30.5 x 2-17 cm) con 7 a 13 venas y lóbulos basales tan largos o más que el lóbulo superior. Lámina más ancha en la base del lóbulo superior. • Escapo simple o raramente paniculado con 3 a 9 verticilos de flores, bracteas estaminales unidas (3 a 5.5 mm de long). Pedicelos estaminales ascendentes de hasta 2.5 cm de long. Pedicelos de las flores y frutos extendidos de hasta 3.5 cm de long. • Fruto agregado de 1.1 a 1.7 cm de diam. Aquenios de 2.5 a 3.5 mm de long., con un pico lateral y horizontal de 1-2 mm de long.

DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT

En general las especies estudiadas crecen en diversos hábitats acuáticos dentro de la zona de estudio, sin embargo todas las poblaciones conocidas se desarrollaron en áreas perturbadas.

Sagittaria macrophylla

Sagittaria macrophylla se localizó en la mayor parte del centro y norte del Estado de México. Presentó una distribución continua en la Cuenca Alta el río Lerma (Fig. 4), desde el inicio del río Lerma, en Almoloya del Río, hasta el límite noroeste del estado, interrumpida sólo por la mancha urbana de la Ciudad de Toluca.






-  Cuenca Alta del río Lerma
-  Distribución actual de *Sagittaria macrophylla*
-  Distribución de *S. macrophylla* en 1864

Fig. 4. Distribución de *Sagittaria macrophylla* en el Estado de México.

Por otro lado, en la región noreste del Estado de México, en lo que corresponde a la Cuenca del Valle de México, la distribución de *S. macrophylla* se interrumpe por la zona metropolitana de la Ciudad de México. Los registros de herbario indicaron que anteriormente su distribución en esta región era mayor (1865: Borgeau 242 MEXU; Fig. 4).

En la Cuenca Alta del río Lerma, es una especie común entre los 2200 y los 2600 m s.n.m. en zonas inundadas, zanjas y canales de riego profundos (Fig. 5,6,7). Se asocia a especies acuáticas como *Lilaeopsis schafferiana*, *Hydromistria laevigata*, *Myriophyllum aquaticum*, *Lilaea scilloides*, *Jaegeria bellidiflora*, *Potamogeton pusillus*, *Rorippa nasturtium-aquaticum*, *Sagittaria latifolia* y a varias especies de *Juncus*, *Polygonum*, *Lemma* y *Eleocharis*, entre las más importantes.

Los cuerpos de agua estudiados, en los que se desarrolla esta especie, presentaron una considerable variación en el nivel de agua durante 1999 (Fig. 8). En general, se observaron diferencias estadísticas en el promedio anual de nivel de agua de los tres sitios estudiados (San Pedro Tlaltizapan = 25 cm; San Pedro Tultepec = 34 cm y Pasteje = 26 cm; $F_{2,330}=6.97$; $p=0.001$). En San Pedro Tultepec se registró la mayor profundidad (75 cm, octubre y noviembre) y el periodo más largo sin agua (tres meses; Fig. 8) de los tres sitios de estudio.

En contraste, la localidad de Pasteje presentó durante todo el año niveles de agua mayores a 10 cm de profundidad y el máximo no superó los 60 cm, al igual que en San Pedro Tlaltizapan (Fig. 8).

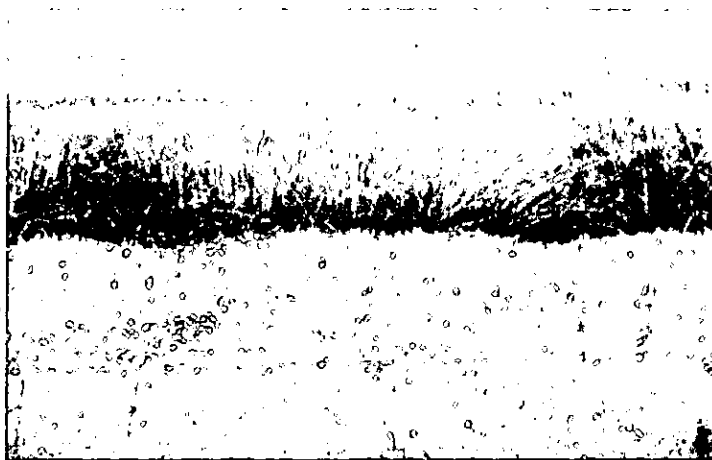


Fig. 5 Población de *Sagittaria macrophylla*, localidad de San Pedro Tlaltizapan, Estado de México.



Fig. 6. Población de *Sagittaria macrophylla*, localidad de Pasteje, Estado de México.



Fig. 7. Población de *Sagittaria macrophylla*, localidad de San Pedro Tultepec, Estado de México

En San Pedro Tultepec se presentó el mayor promedio de plantas por metro cuadrado durante la época de crecimiento ($\bar{x}=94; F_{2,176}=20.3$ $p=0.001$; Fig. 8), aun cuando iniciaron su desarrollo dos meses después.

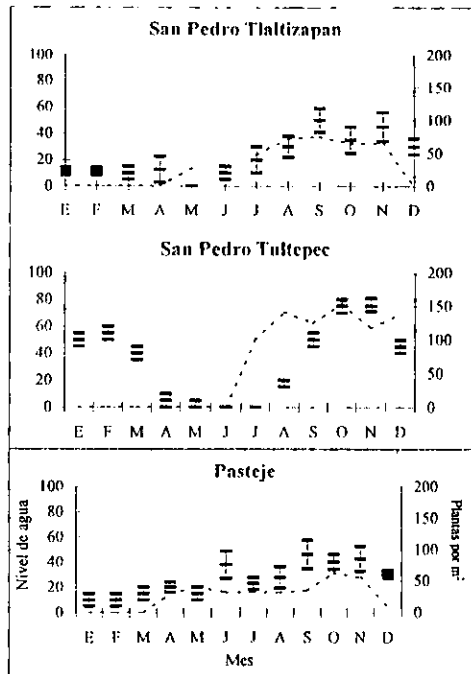


Fig. 8. Nivel de agua ($\bar{x}\pm d.e.$) y densidad de plantas (línea punteada) de *Sagittaria macrophylla* durante 1999 en tres sitios de estudio.

En las tres localidades se presentó una correlación positiva y una relación significativa entre el nivel de agua y la densidad de plantas por metro cuadrado, así como entre el nivel de agua y la longitud del peciolo de la hoja madura más interna (Cuadro 4). En San Pedro Tlaltizapan el 87% de la variación en la densidad de plantas de *S. macrophylla* puede explicarse por diferencias en el nivel de agua ($r^2=0.87$, $y=0.91x+30.9$) mientras que en San Pedro Tultepec las diferencias en el nivel de agua pudieron explicar el 78% de la variación de la longitud del peciolo ($r^2=0.78$, $y=0.69x+9.74$).

Al agrupar las tres localidades se observó para esta especie, una correlación positiva y una relación significativa entre el nivel del agua y la densidad, así como entre el nivel de agua y la

longitud del peciolo (Cuadro 4). En general, las diferencias en el nivel de agua pueden explicar el 24% de las variaciones en la densidad ($r^2=0.24$, $y= 1.0x+36.4$) y el 34% de las variaciones en la longitud del peciolo ($r^2=0.34$, $y= 0.65x+11.2$) de esta especie (Fig. 9).

Cuadro 4. Correlación y valores de la pendiente por regresión lineal, del nivel de agua, densidad y longitud del peciolo de la hoja madura más interna de *S. macrophylla* en los tres sitios de estudio. *** $P<0.001$, ** $P<0.01$, * $P<0.05$, ns=diferencia no significativa.

	Nivel de agua				Densidad			
	N	r^2	Pendiente	P	N	r^2	Pendiente	P
San Pedro Tlaltizapan								
Densidad	173	0.87	0.91	***	159	0.51	0.58	***
Longitud del peciolo		0.28	0.42	***				
San Pedro Tultepec								
Densidad	161	0.18	0.27	***	117	0.20	0.55	***
Longitud del peciolo		0.78	0.69	***				
Pasteje								
Densidad	190	0.13	0.49	***	184	0.02	0.33	**
Longitud del peciolo		0.10	0.72	***				
Tres localidades agrupadas								
Densidad	464	0.24	0.99	***	464	0.04	0.11	***
Longitud del peciolo		0.34	0.65	***				

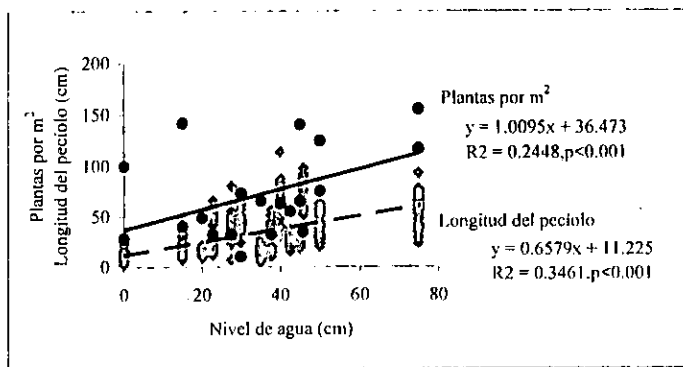


Fig. 9. Relación entre el nivel de agua y densidad (línea continua, ●) y nivel de agua y longitud de la hoja madura más interna (línea discontinua, ◆) de *S. macrophylla* durante 1999

Los sedimentos de las localidades de estudio donde se desarrolla *S. macrophylla* presentaron de 16-47% de arena, 23-46% de arcilla y 28-37% de limo (Cuadro 5, Fig. 10), predominando los suelos migajón- arcillosos. La localidad de San Pedro Tlaltizapan presentó el porcentaje más alto de arena y los porcentajes más bajos de arcilla y limo, mientras que en Pasteje se presentaron los porcentajes más altos de arcilla y limo, pero el porcentaje más bajo de arena (Fig. 10).

En pH de los sedimentos se encontró en el rango de 5.5 a 6.3, que se considera de fuertemente ácido a ligeramente ácido. El análisis de varianza sugiere que entre las localidades de estudio, existe una diferencia significativa en el pH de los sedimentos ($F_{4,145} = 12.7; p < 0.001$), de acuerdo a lo anterior se establecieron tres grupos, donde destaca la localidad de San Pedro Tultepec por presentar los valores de pH menos ácidos. En las tres fechas de muestreo se presentaron variaciones significativas en los valores de pH ($F_{2,147} = 46.7; p < 0.001$), los sedimentos colectados durante la época de lluvias (agosto de 1999) fueron menos ácidos en comparación con las otras dos colectas (Fig. 11).

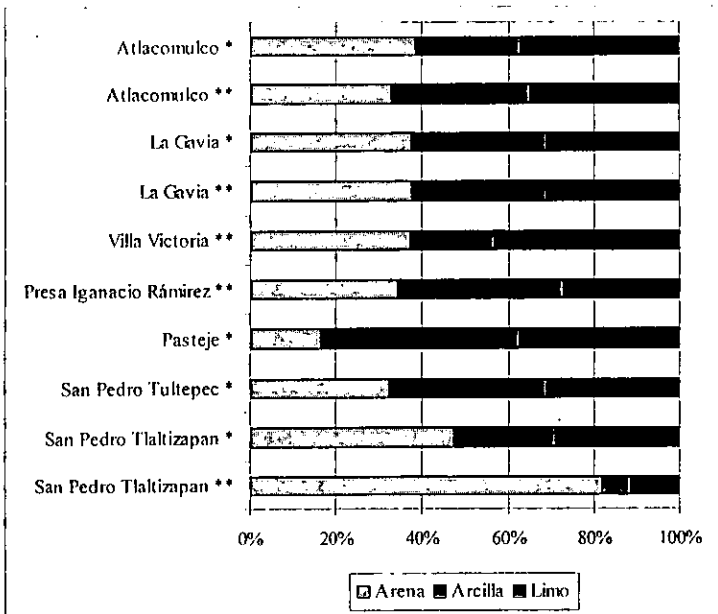
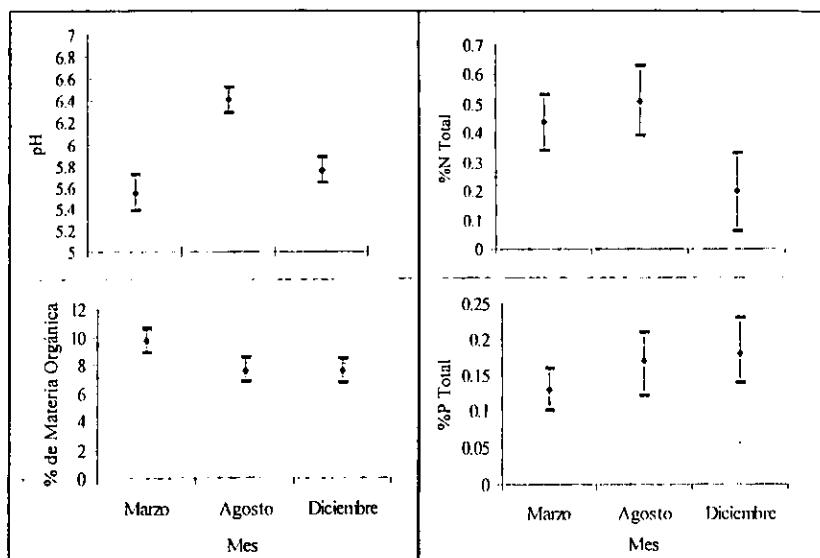


Fig. 10. Granulometría de los sedimentos de las localidades de estudio de **Sagittaria macrophylla* y ***S. latifolia*

Cuadro 5. Variables analizadas de los sedimentos ($\bar{x} \pm d.e.$) de cinco localidades de estudio de *Sagittaria macrophylla* (Cuadro 2).

Variable	San Pedro Tlaltizapan	San Pedro Tultepec	Pasteje	La Gavia	Atlacomulco
Arena %	47.4±22.3	32.2±1.4	16.2±0.8	37.4±3.1	38.4±15.8
Arcilla %	23.8±9.3	37.0±0.28	46.6±19.9	31.6±2.2	24.6±12.1
Limo %	28.8±13	30.8±1.1	37.2±15	31.0±0.8	37.0±3.6
pH	6±0.2	6.4±0.8	5.8±0.7	5.6±0.3	5.9±0.4
M.O %	11.3±5.5	7.9±2.4	3.8±0.9	11.8±4.2	5.7±2.6
N%	0.76±0.5	0.46±0.31	0.13±0.03	0.35±0.25	0.21±0.17
C/N	8.7	10	17	19.5	15.7
P%	0.20±0.05	0.14±0.03	0.18±0.25	0.13±0.03	0.13±0.03

Fig. 11. Promedio ($\pm d.e.$) de pH, materia orgánica, nitrógeno total y fósforo total de los sedimentos en tres fechas de colecta durante 1999 en cinco poblaciones de *Sagittaria macrophylla*

El porcentaje de materia orgánica para las localidades de esta especie se encontró entre 3.8 y 11.8% (Cuadro 5) que se considera de bajo a considerablemente alto. Este porcentaje varió significativamente entre las localidades analizadas ($F_{4,169}=38.4; p<0.001$) y durante el mes de marzo se registró el porcentaje más alto de materia orgánica ($F_{2,121}=3.9; p=0.02$), comparado con las dos colectas posteriores (Fig. 11).

El porcentaje de concentración de nitrógeno de los sedimentos se considera en general como bajo. Las variaciones en este valor fueron importantes y significativas entre las localidades de *S. macrophylla* ($F_{4,58}=12.06;p<0.001$). La localidad de San Pedro Tlaltizapan presentó el porcentaje más alto de nitrógeno total, al igual que de materia orgánica (Cuadro 5), mientras que el menor porcentaje (más de dos veces menor) en ambas variables se obtuvo en los sedimentos de Pasteje (Cuadro 5). La concentración de nitrógeno mostró variaciones importantes a lo largo del año ($F_{2,60}=5.08;p=0.009$), el menor porcentaje se presentó en el mes de diciembre (Fig. 11).

En contraste, no se presentaron diferencias importantes y significativas en el porcentaje de concentración de fósforo total entre las localidades donde se desarrolla *S. macrophylla*, ($F_{4,55}=1.47;p=0.22$), así como tampoco entre las fechas de muestreo ($F_{2,57}=1.33;p=0.27$; Fig. 11). Sin embargo, los valores obtenidos de fósforo total fueron de intermedios a altos en todas las localidades de estudio, de acuerdo con los valores reportados para suelos orgánicos (0.01 – 0.2%, Quiroz, A. comunicación personal).

En el análisis de clasificación de las localidades de estudio que considera las variables de los sedimentos para esta especie mostró la formación de dos grandes grupos, un grupo constituido por 3 localidades en las cuales la relación de C/N > 15 y con el mayor porcentaje de limo y el valor de pH más bajo. El segundo bloque constituido por San Pedro Tultepec y San Pedro Tlaltizapan, que presentaron valores de C/N < 15 (Fig. 12).

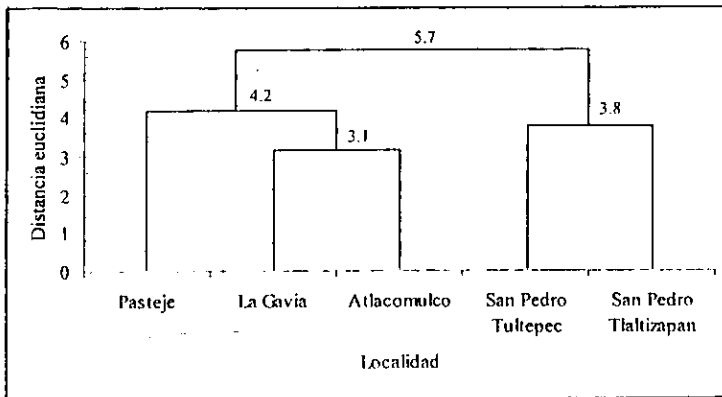


Fig. 12. Dendrograma de clasificación (vecino más lejano) de las localidades de *Sagittaria macrophylla*.

Sagittaria latifolia

Sagittaria latifolia es común en zonas templadas y tropicales de México. En el Estado de México se localizó principalmente en la región central y noreste, sobre la Cuenca Alta del río Lerma (Fig. 13). El registro más antiguo para el estado con datos relativamente completos de colecta data de 1888 en la región de Chalco (Altamirano F. S/N: MEXU), sin embargo, probablemente ya este extinta en la Cuenca del Valle de México (Novelo y Lot, 1990).

En la Cuenca Alta del río Lerma se encontró desde los 2300 hasta los 2600 m s.n.m., en zanjas poco profundas y de poca corriente o regiones inundadas temporalmente (Fig. 14,15). Se asocia a especies acuáticas como *Lilaeopsis schaffariana*, *Hydromistria laevigata*, *Myriophyllum aquaticum*, *Lilaea scilloides*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Rorippa nasturtium-aquaticum*, *Ludwigia peploides*, *Jaegeria bellidiflora*, *Potamogeton pusillus*, *Typha latifolia*, *Sagittaria macrophylla* y a varias especies de *Juncus*, *Polygonum*, *Lemna* y *Eleocharis* entre las más importantes.

Al comparar el promedio anual de nivel de agua de los tres sitios de estudio de esta especie, se observaron diferencias estadísticas entre estos (San Pedro Tlaltizapan = 33 cm; Presa Ignacio Ramírez = 25 cm y Villa Victoria = 12 cm; $F_{2,315} = 41.41$; $p = 0.001$). San Pedro Tlaltizapan fue la única localidad en la que no hubo agua sobre los sedimentos durante los cinco primeros meses del año y en la que se alcanzó el máximo nivel de agua (75 cm) de las tres localidades para esta especie (Fig. 16). En comparación, en la Presa Ignacio Ramírez y en Villa Victoria siempre se mantuvo una capa de agua por arriba de los sedimentos, el nivel máximo se alcanzó en septiembre. Las variaciones a lo largo del año fueron menos marcadas en la Presa Ignacio Ramírez (Fig. 16).

Se encontró una diferencia importante y significativa en la densidad de plantas entre los tres sitios ($F_{2,232} = 49.4$; $p = 0.001$), particularmente el sitio de San Pedro Tlaltizapan fue el que presentó la menor densidad de plantas ($x = 8.8/m^2$), mientras que en los otros dos sitios el promedio de densidad al menos se duplicó (Fig. 16).

En San Pedro Tlaltizapan y Villa Victoria se observó una correlación negativa entre el nivel de agua y la densidad de plantas (Cuadro 6), solo en San Pedro Tlaltizapan esta relación fue significativa pero baja ($r = -0.38$). La relación entre el nivel de agua y la longitud del peciolo de la hoja madura más interna solamente fue positiva y significativa en el sitio de Villa Victoria, en esta localidad el 56% de la variación en la longitud del peciolo de la hoja madura más interna se pudo explicar por diferencias en el nivel de agua ($r^2 = 0.56$, $y = 3.9x - 3.15$). En San Pedro Tlaltizapan no hubo relación entre estas dos variables, mientras que en la Presa Ignacio Ramírez, la relación aunque significativa fue negativa (Cuadro 6).

Cuadro 6. Correlación y valores de la pendiente por regresión lineal, del nivel de agua, densidad y longitud del peciolo de la hoja madura más interna de *S. latifolia* en los tres sitios de estudio. *** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, ns=diferencia no significativa.

	Nivel de agua				Densidad			
	N	r^2	Pendiente	P	N	r^2	Pendiente	P
San Pedro Tlaltizapan								
Densidad	133	0.15	-0.07	***	102	0.18	-1.9	***
Longitud del peciolo		0.01	0.05	ns				
Presa Ignacio Ramírez								
Densidad	102	0.03	0.35	*	133	0.11	0.50	***
Longitud del peciolo		0.08	-0.78	***				
Villa Victoria								
Densidad	124	0.00 01	-0.24	ns	124	0.10	0.75	***
Longitud del peciolo		0.56	3.9	***				
Tres localidades agrupadas								
Densidad	363	0.35	-0.43	***	363	0.06	0.33	***
Longitud del peciolo		0.01	-0.12	*				

Al agrupar las tres localidades se observó para esta especie, una correlación negativa y una relación significativa entre el nivel del agua y la densidad, así como entre el nivel de agua y la longitud del peciolo (Cuadro 6). En general, las diferencias en el nivel de agua pueden explicar el 34% de las variaciones en la densidad ($r^2=0.35$, $y=42.11-0.43x$) y sólo el 1% de las variaciones en la longitud del peciolo ($r^2=0.01$, $y=42.41-0.12x$) de esta especie (Fig. 17).

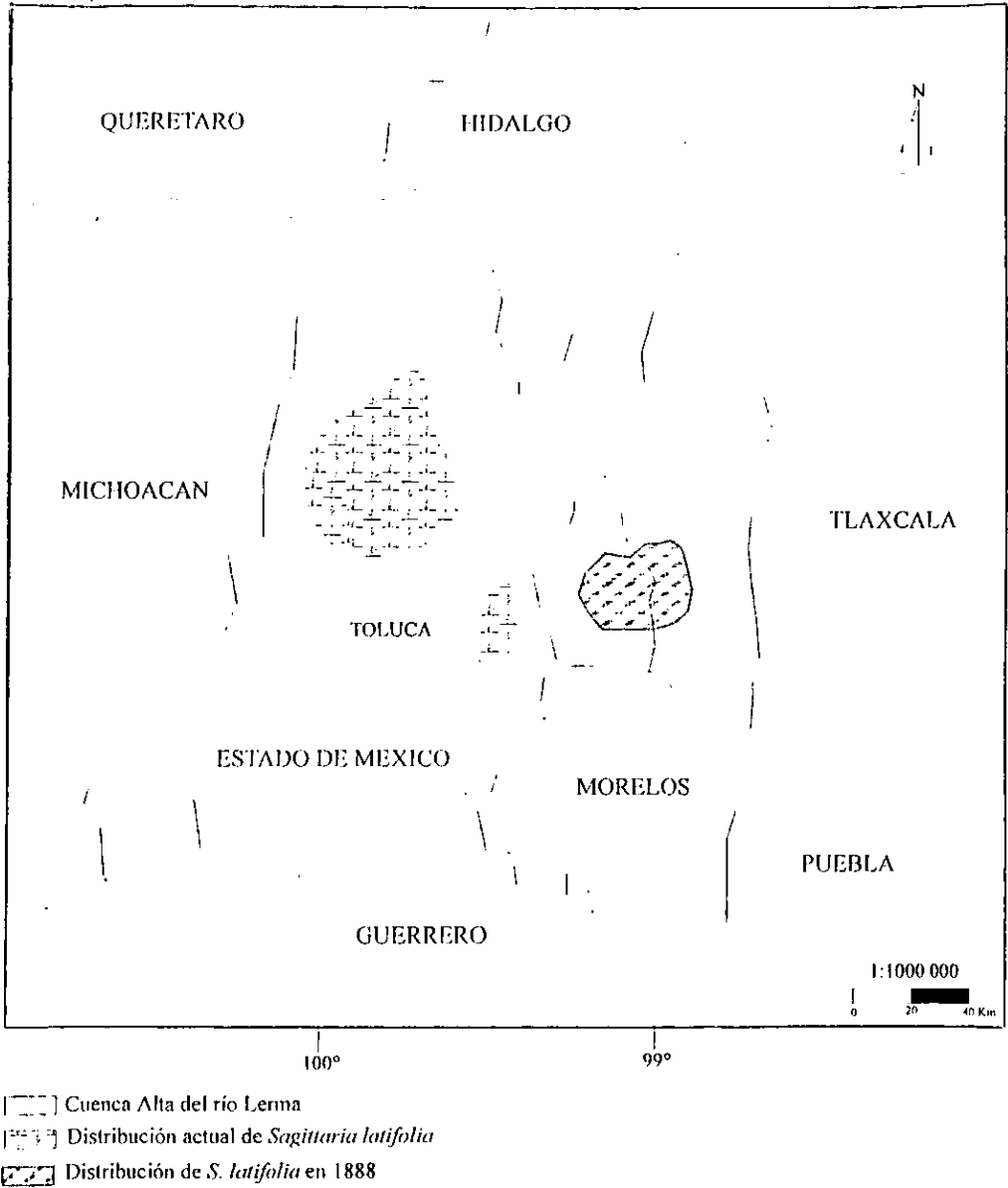


Fig. 13. Distribución de *Sagittaria latifolia* en el Estado de México.

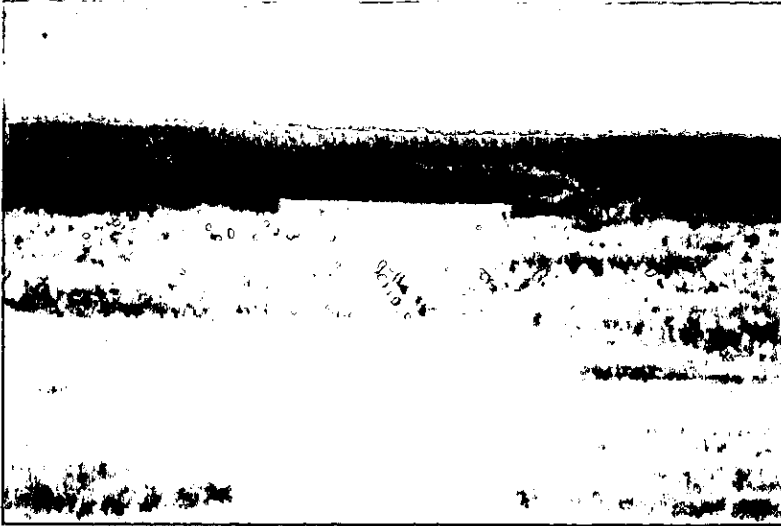


Fig. 14. Población de *Sagittaria latifolia*, localidad de San Pedro Tlaltizapan, Estado de México.



Fig. 15. Población de *Sagittaria latifolia*, localidad de La Presa, Villa Victoria, Estado de México.

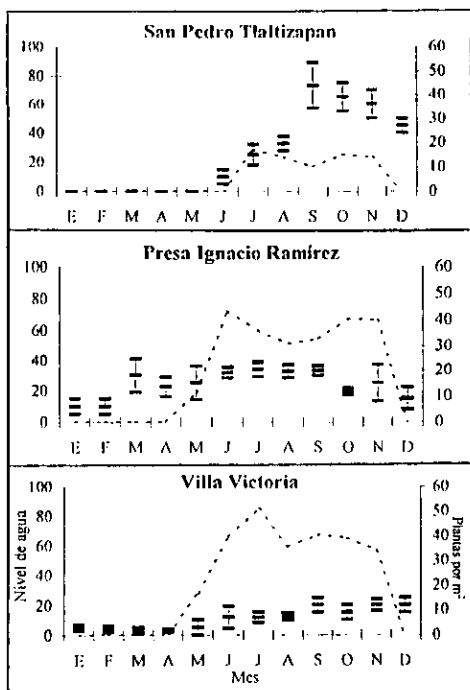


Fig. 16. Nivel de agua (x±d.e.) y densidad de plantas (línea punteada) de *Sagittaria latifolia* durante 1999 en tres sitios de estudio.

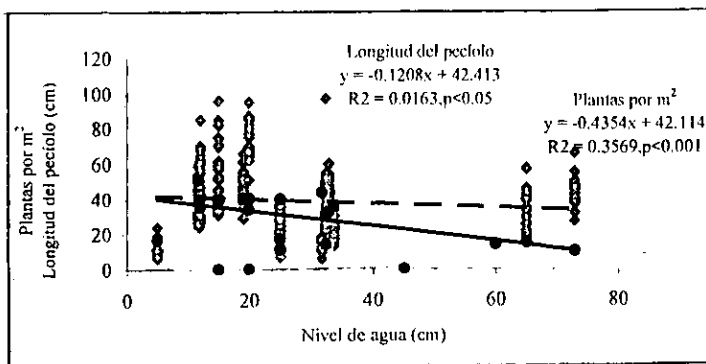


Fig. 17. Relación entre el nivel de agua y densidad (línea continua, ●) y nivel de agua y longitud de la hoja madura más interna (línea discontinua, ◆) de *S. latifolia* durante 1999

La granulometría de los sedimentos de las localidades donde se desarrolla *S. latifolia* presentó de 32-82% de arena, de 6 a 38% de arcilla y de 11 a 43% de limo, predominando los suelos migajón- arcillosos (Cuadro 7, Fig. 10). El porcentaje más alto de arena, arcilla y limo se presentó en San Pedro Tlaltizapan, Presa Ignacio Ramírez y Villa Victoria, respectivamente, mientras que los valores más bajos de arena fueron en Atlacomulco y de arcilla y limo en San Pedro Tlaltizapan.

Los sedimentos de las localidades de estudio de esta especie presentaron un rango de pH de 5.4 a 6.2 que se considera de fuertemente ácido a ligeramente ácido y mostraron ser significativamente diferentes ($F_{4,145}=22.06; p<0.001$) entre ellas, la Presa Ignacio Ramírez presentó el promedio de pH menos ácido de las cinco localidades analizadas. El pH de estos sedimentos mostró variaciones a lo largo del año, en la época de lluvias (agosto de 1999) fue significativamente menos ácido ($F_{2,147}=37; p<0.001$) que los colectados en marzo y diciembre (Fig. 18).

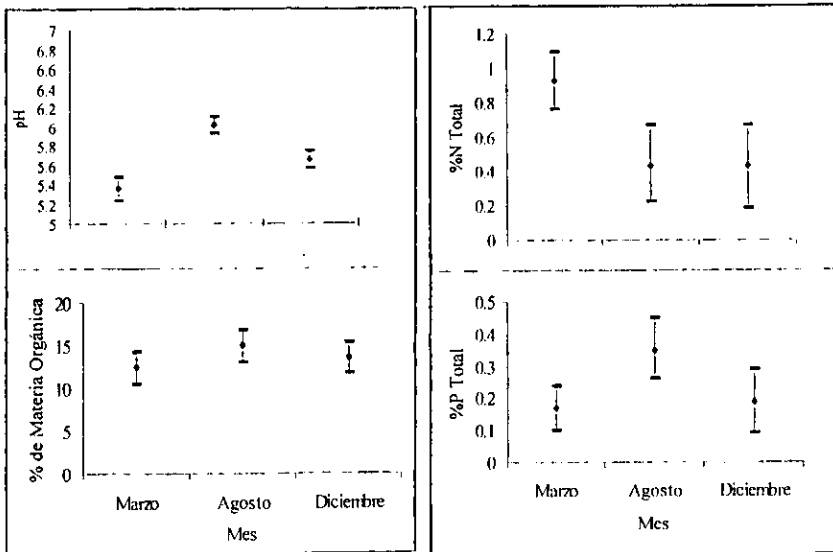


Fig. 18. Promedio (\pm d.e.) de pH, materia orgánica, nitrógeno total y fósforo total de los sedimentos en tres fechas de colecta durante 1999 en cinco poblaciones de *Sagittaria latifolia*.

El porcentaje de materia orgánica del sedimento de las localidades de estudio para esta especie se considera en general de bajo a considerable e importante, con el valor mayor de 29.4 en San Pedro Tlaltizapan y el menor de 6.1 en Atlacomulco. Se observaron diferencias significativas

en este parámetro entre las localidades de estudio ($F_{4,167}=64.22; p<0.001$), pero no entre las épocas de colecta ($F_{2,169}=2.17; p=0.11$; Fig. 18).

Cuadro 7. Variables analizadas de los sedimentos ($\bar{x} \pm d.e.$) de cinco localidades de estudio de *Sagittaria latifolia* (Cuadro 2).

Variable	San Pedro Tlaltizapan	Presa Ignacio Ramírez	Villa Victoria	La Gavia	Atlacomulco
Arena %	82.0±3.9	34.2±1.9	37.0±2.5	37.4±3.1	32.6±13.2
Arcilla %	6.6±2.5	38.8±2.2	20.0±1.1	31.6±2.2	32.6±23.4
Limo %	11.4±1.4	27.0±4.2	43.0±1.4	31.0±0.8	34.8±10.1
PH	5.5±0.4	6.2±0.4	5.5±0.5	5.5±0.3	5.6±0.3
M.O %	29.4±11	9.4±5.5	13.9±6.4	11.8±4.2	6.1±2.2
N%	1.61±0.35	0.89±0.92	0.38±0.25	0.28±0.16	0.23±0.17
C/N	10.6	6	21	24.5	15
P%	0.45±0.5	0.18±0.06	0.15±0.05	0.13±0.03	0.20±0.25

El porcentaje de concentración de nitrógeno para estos sedimentos se considera de intermedio a alto. La comparación entre las localidades de estudio mostró que la concentración de este elemento fue significativamente diferente ($F_{4,55}=29.9; p<0.001$) entre ellas, San Pedro Tlaltizapan presentó el valor más alto, al igual que de materia orgánica, mientras que los valores más bajos en ambos parámetros se encontraron en Atlacomulco (Cuadro 7). Temporalmente la concentración de nitrógeno varió de manera importante ($F_{2,57}=1.24; p=0.001$) de valores bajos en agosto y diciembre a porcentajes mayores en marzo (Cuadro 7; Fig. 18).

En general las cinco localidades presentaron valores de fósforo total de intermedios a altos (Quiroz, A. comunicación personal). El mayor porcentaje de concentración de fósforo se presentó en San Pedro Tlaltizapan, duplicando al menos la concentración ($F_{4,55}=4.77; p=0.002$) en relación al resto de las localidades. Temporalmente también se presentaron diferencias importantes ($F_{2,57}=3.31; p=0.04$), el mes de agosto fue en el que se registró el mayor porcentaje en este elemento (Fig. 18).

Con el análisis de clasificación de las cinco localidades de estudio para esta especie se muestra la formación de dos grandes bloques (Fig. 19). Un bloque está constituido únicamente por la localidad de San Pedro Tlaltizapan que se separa del resto de las localidades a una distancia de 5.7, en esta localidad se presentaron los mayores porcentajes de arena, materia orgánica y fósforo total. El segundo grupo está conformado por las cuatro localidades restantes que se agrupan consecutivamente una con otra a una distancia cada vez menor. Destaca el grupo de las localidades de Villa Victoria, Atlacomulco y La Gavia en donde la relación C/N(15.

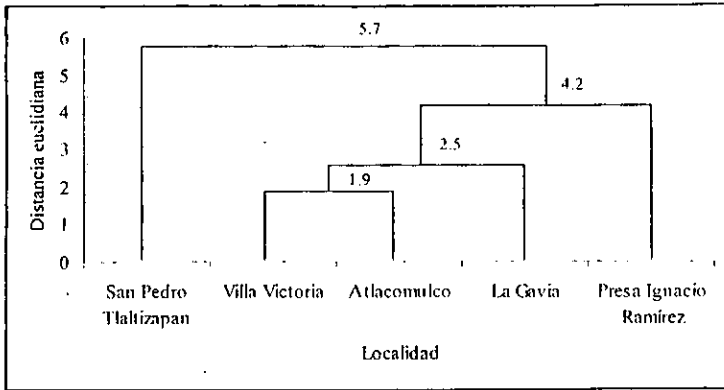


Fig. 19. Dendrograma de clasificación (vecino más lejano) de las localidades de *Sagittaria latifolia*.

CICLO DE VIDA

Sagittaria macrophylla

Emergencia

Dependiendo de las condiciones locales, la emergencia de plantas de *S. macrophylla* comenzó a mediados de febrero o hasta finales de mayo en zonas inundadas temporal o permanentemente, coincidiendo con el aumento de la temperatura y el inicio de la época de lluvias (Fig. 20). Los organismos que comenzaron a crecer a partir de estas fechas se originaron de los tubérculos producidos el año anterior o de tallos horizontales subterráneos con hojas escamosas (rizomas) que permanecieron latentes (Fig. 21). La emergencia de plántulas a partir del banco de semillas no se ha detectado, sin embargo, es probable que se realice mientras los sedimentos se encuentran expuestos, de acuerdo con lo sugerido por (Kaul, 1985; Fig. 20).

En las poblaciones naturales de la zona de estudio la densidad inicial de las primeras plantas que se observó a principios de la época de crecimiento, se relacionó directamente con la densidad del banco de tubérculos y rizomas. En 1998, en las localidades de San Pedro Taltizapan, los tubérculos que constituían este banco se encontraron en un promedio de 46 tubérculos por metro cuadrado (Cuadro 8) a una profundidad de hasta 30 cm bajo el nivel de los sedimentos. Se trató de tubérculos de 1.5 cm de longitud y 1.2 cm de diámetro promedio (Cuadro 9; Fig. 23), ovoides, de color café oscuro, con una yema apical y hojas escamosas a su alrededor (Fig. 22).

Cuadro 8. Número de tubérculos y rizomas por metro cuadrado ($x \pm d.e.$) de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia* en las localidades de estudio en 1998.

	<i>S. macrophylla</i>	<i>S. latifolia</i>
Tubérculos	46±19	58±14
Rizomas	27±12	---

Los rizomas, que también funcionaron en esta especie como órgano de perennación, se mantuvieron sólo 10 cm como máximo por debajo del nivel de los sedimentos y a una densidad promedio de 27 rizomas por metro cuadrado. Fueron estructuras horizontales y cilíndricas con 5.4 cm de longitud promedio (Cuadro 9) a partir de los cuales se generaron numerosas raíces y estolones (brotes laterales que emergen de la base de los tallos y se distinguen por la presencia de entrenudos largos con hojas escamosas).

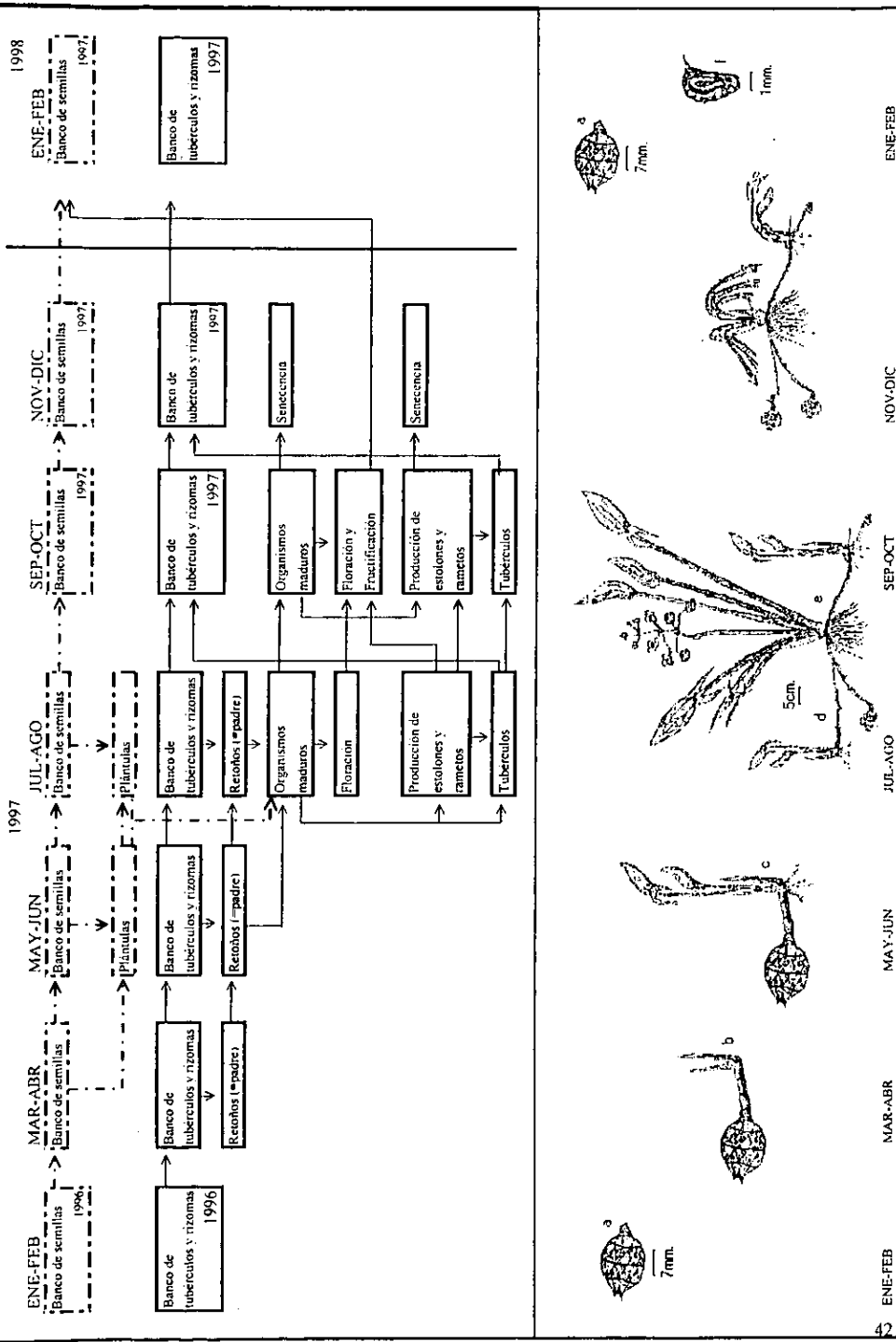


Fig. 20. Descripción del ciclo de vida de *Sigittaria macrophylla*. (La línea segmentada representa rutas probables, establecidas por inf. bibliográfica). a) tubérculo, b) hojas filodiales, c) retoño, d) estolon, e) hábito, f) aquenio.



Fig. 21. Retoño de *Sagittaria macrophylla*, con rizoma y raíces.

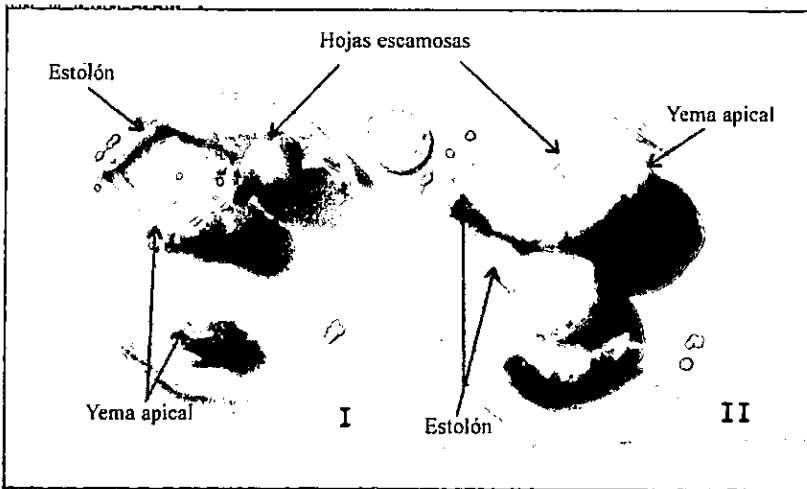


Fig. 22. Tubérculos de I) *Sagittaria macrophylla* y II) *S. latifolia*.

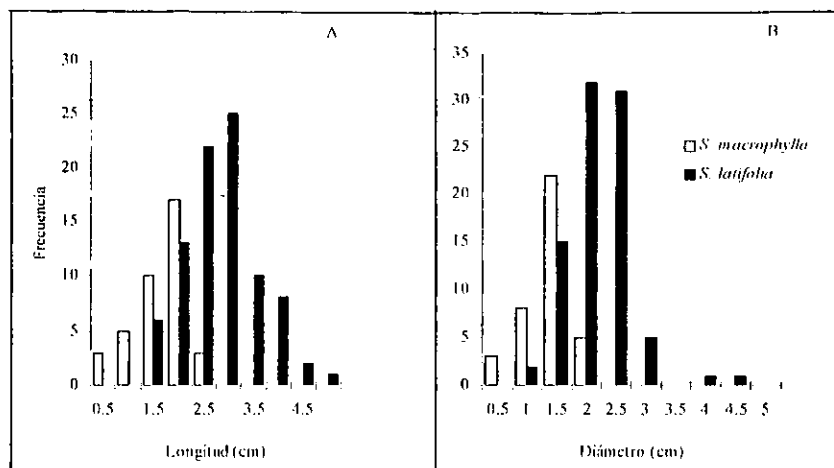


Fig. 23. Distribución de frecuencias de A) Longitud del tubérculo y B) Diámetro del tubérculo de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia*.

Cuadro 9. Dimensiones de tubérculos y rizomas ($\bar{x} \pm d.e.$) de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia*.

	<i>S. macrophylla</i> (n=38)	<i>S. latifolia</i> (n=87)	t- Student (p)
Tubérculos:			
Longitud (cm)	1.5±0.4	2.6±0.7	8.7 (0.00)
Diámetro (cm)	1.2±0.3	2.0±0.5	7.7 (0.00)
Peso húmedo (gr)	1.1±0.7	7±7	2.5 (0.01)
Biomasa (gr)	0.06±0.04	0.9±1.2	2.0 (0.04)
Rizomas			
Longitud (cm)	5.4±2.4		
Diámetro (cm)	1.5±0.5		
Peso húmedo (gr)	19.9±15.3		

Después del rompimiento de la latencia y a partir de la yema apical, en cada tubérculo se formó un eje alargado, articulado, con hojas escamosas y un bulbo folioso en el ápice, del cual se originó una nueva planta. Este eje separó en promedio 5 ± 2.8 cm el tubérculo y el retoño que produjo (Cuadro 11; Fig. 24).

Los rizomas de *S. macrophylla*, rompieron su latencia al mismo tiempo que los tubérculos, cada uno originó una roseta de hojas por estación, raíces y estolones.

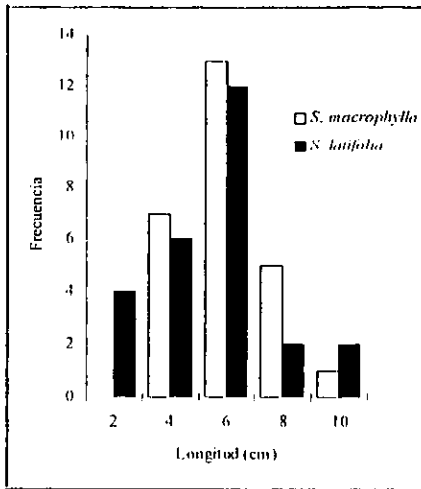


Fig. 24. Distribución de frecuencias de la longitud del eje tubérculo-retoño en *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia*.

Crecimiento

Durante la estación de crecimiento (mayo a noviembre) las plantas originadas por tubérculos o rizomas presentaron un desarrollo constante de hojas. Las plantas de *S. macrophylla* produjeron en promedio 13.3 hojas (una hoja cada ~11.4 días) de julio a noviembre de 1997, alcanzaron hasta un metro de altura y llegaron a presentar en promedio 27.3 gr de biomasa foliar. Se estimó una tasa de crecimiento del peciolo de 10.5 cm por semana y entre 148 y 191 cm² de área foliar a la mitad de la época de crecimiento. Sin embargo, estos valores varían dependiendo de las condiciones ambientales, principalmente del nivel de agua.

Reproducción

Los organismos de la población de estudio fueron monoicos y se reprodujeron sexualmente con la formación de flores imperfectas sobre una inflorescencia (Cuadro 10) que se desarrolló después de que se formaron de 5 a 8 hojas. Las cabezuelas femeninas y masculinas se agruparon sobre la inflorescencia en verticilos de tres y se desarrollaron progresivamente hacia el ápice. El inicio de la época de floración se presentó de finales de julio a principios de agosto, con el desarrollo de las primeras flores femeninas. El pico de floración se alcanzó en septiembre u octubre, la polinización es entomófila.

Las aportaciones promedio de aquenios por planta se muestran en la Cuadro 10. los datos se basan en el número promedio de inflorescencias, de flores por inflorescencia y de aquenios por flor encontrados en condiciones naturales. Un individuo de *S. macrophylla* produjo en promedio 669 aquenios en un año, con un porcentaje de viabilidad de 72.3% (Cuadro 10).

Los aquenios maduros y secos se desprenden de las cabezuelas y son dispersados por hidrocoria o epizocoria, incorporándose posteriormente al banco de semillas.

Cuadro 10. Número de cabezuelas, flores, aquenios e inflorescencias por planta ($x \pm d.e.$) de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia*, y porcentaje de viabilidad de aquenios por especie.

Estructuras	<i>S. macrophylla</i>	<i>S. latifolia</i>
Cabezuelas masculinas/ planta	9 \pm 2	14 \pm 3
Cabezuelas femeninas/ planta	3 \pm 1	5 \pm 1
Flores femeninas/ cabezuela	365 \pm 100	1056 \pm 333
Aquenios/ cabezuela	223 \pm 55	518 \pm 250
Aquenios/ cabezuela (gr)	0.212 \pm 0.08	0.372 \pm 0.2
Aquenios/ inflorescencia	669	2595
Aquenios por inflorescencia (gr)	0.636	1.86
Aquenios/ planta	670 \pm 166	5291 \pm 2500
Inflorescencias/ planta/ año	1	2
% de viabilidad (viables/total)*	72.3	81.4

* $\chi^2 = 1.91$, $p = 0.05$.

Durante la estación de crecimiento (mayo a noviembre), las plantas de esta especie se reprodujeron clonalmente con la formación de estolones. Éstos comenzaron a formarse cerca de agosto, sobre los rizomas o bajo la roseta de hojas. Cuando los estolones se localizaron bajo el nivel de los sedimentos fueron de color café cobrizo y de 0.5 cm de diámetro promedio. Al final de la temporada de crecimiento (noviembre) estas plantas formaron en promedio 5.3 \pm 1.7 estolones por planta en 1997 (Fig. 25) y 5.1 \pm 1.3 durante 1998.

Los estolones formaron en su ápice una planta nueva (rameto) o un tubérculo a cierta distancia de la planta que los produjo. En el primer caso y durante 1997, los estolones formaron un rameto a 43.5cm de distancia promedio de la planta progenitora (Fig. 26). Las nuevas plantas (rametos) formadas por esta vía se conformaron inicialmente por hojas lineares (filodios) sin distinción entre el pecíolo y la lámina, que fueron posteriormente reemplazados por hojas completas. Paralelamente cada nueva planta desarrolló su propio sistema radicular y al mismo tiempo nuevos estolones con un rameto o tubérculo en su ápice.

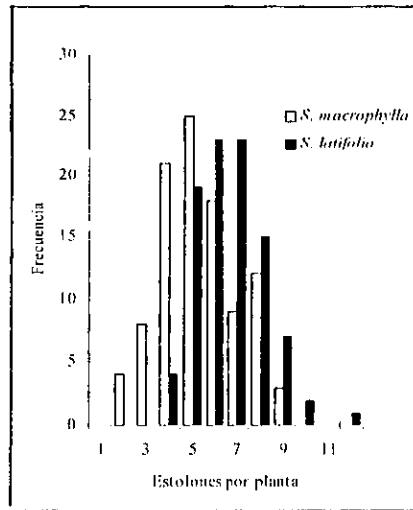


Fig. 25. Distribución de frecuencias del número de estolones por planta en *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia*.

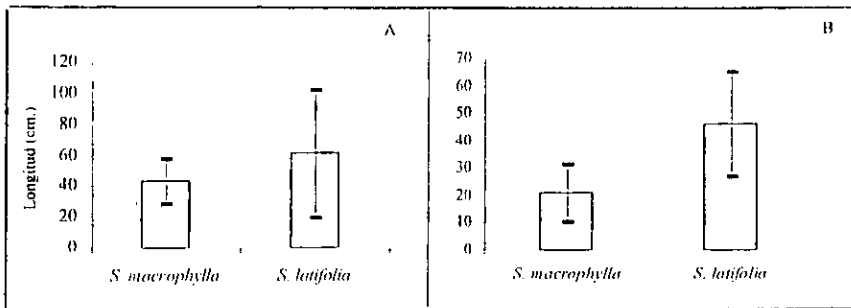


Fig. 26. Longitud de estolones ($\bar{x} \pm d.e.$) en *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia*: A) Estolones con rameto y B) Estolones con tubérculo.

Cuando los estolones no desarrollaron un rameto, formaron al final de la época de crecimiento un tubérculo a una distancia promedio de 20 cm (Fig. 26), la mitad de la distancia promedio a la que se formó un rameto de la planta progenitora ($t=6.53$; $g.l.=152$; $p=0.001$; Cuadro 11).

Cuadro II. Longitud ($\bar{x} \pm d.e.$) del eje tubérculo-retoño y de los estolones con rameto (planta) o tubérculo por especie.

	<i>S. macrophylla</i>	<i>S. latifolia</i>	t-Student (p)
Eje tubérculo-retoño (cm)	5 \pm 2.8 (n=27)	5.5 \pm 2.4 (n=27)	0.424 (0.67)
Estolón planta-rameto (cm)	43.5 \pm 14.5 (n=11)	61 \pm 41.9 (n=34)	1.36 (0.17)
Estolón planta-tubérculo (cm)	20.8 \pm 10.6 (n=141)	45.8 \pm 18.8 (n=133)	13.62 (0.001)
Estolón planta-rameto vs estolón planta tubérculo en <i>S. macrophylla</i>			6.53 (0.001)
Estolón planta-rameto vs estolón planta tubérculo en <i>S. latifolia</i>			3.13 (0.002)

Senescencia

Los rametos y los tubérculos que se desarrollaron a distancia de la planta progenitora se mantuvieron unidos a ésta, hasta que los estolones que las unieron se degeneraron. Los rizomas, así como los nuevos tubérculos producidos por la planta progenitora o por los rametos quedaron latentes, bajo el nivel de los sedimentos, hasta la siguiente temporada de crecimiento.

Sagittaria latifolia.

Emergencia

La emergencia de plantas de *S. latifolia* se inició a principios de mayo o junio (Fig. 27) dependiendo de las condiciones locales, coincidiendo con el aumento de la temperatura y la precipitación.

Aun no se ha observado la presencia de plántulas originadas a partir del banco de semillas, es probable que empiece mientras los sedimentos se encuentran expuestos como sucede con otras especies del género (Kaul, 1985). Los primeros organismos que se desarrollaron en las poblaciones naturales emergieron de los tubérculos producidos el año anterior, que permanecieron latentes durante el invierno y parte de la primavera (Fig. 28).

En esta especie, los tubérculos fueron el principal órgano de perennación, en ninguna de las localidades de estudio se observaron rizomas. Morfológicamente los tubérculos fueron ovoides, amarillentos, rodeados por hojas escamosas y con un bulbo folioso en el ápice (Fig. 22). Las dimensiones promedio de los tubérculos se muestran en el Cuadro 9. La longitud más frecuente fue de 2 a 4 cm (Fig. 23). En la zona de estudio fueron frecuentes de 30 a 50 cm bajo el nivel de los sedimentos, a una densidad de 58 \pm 14 tubérculos por m² (Cuadro 8).

Cada tubérculo formó, después del rompimiento de su latencia, un eje alargado, articulado, con hojas escamosas y un bulbo folioso en el ápice, a partir del cual se originó una nueva planta a 5.5 cm de distancia en promedio, la longitud más frecuente de este eje para la especie fue de 6cm (Cuadro II; Fig. 22).

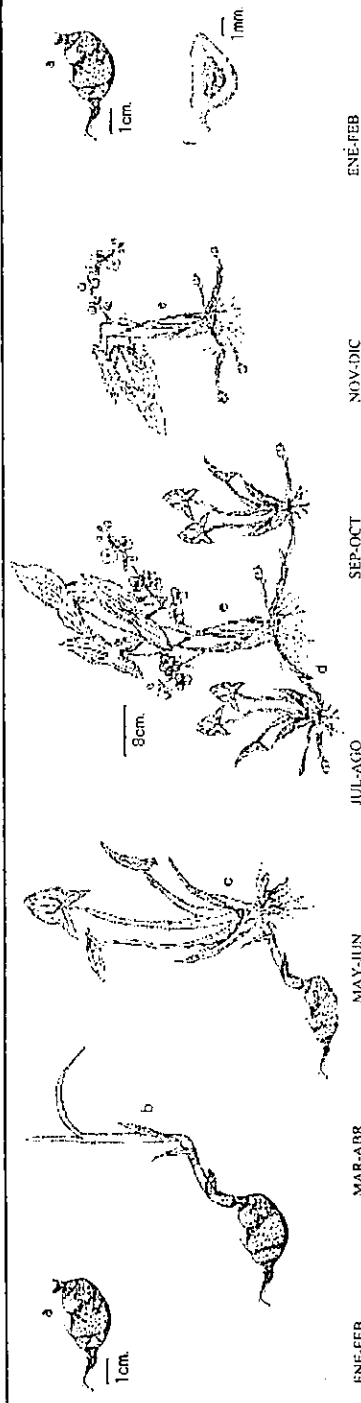
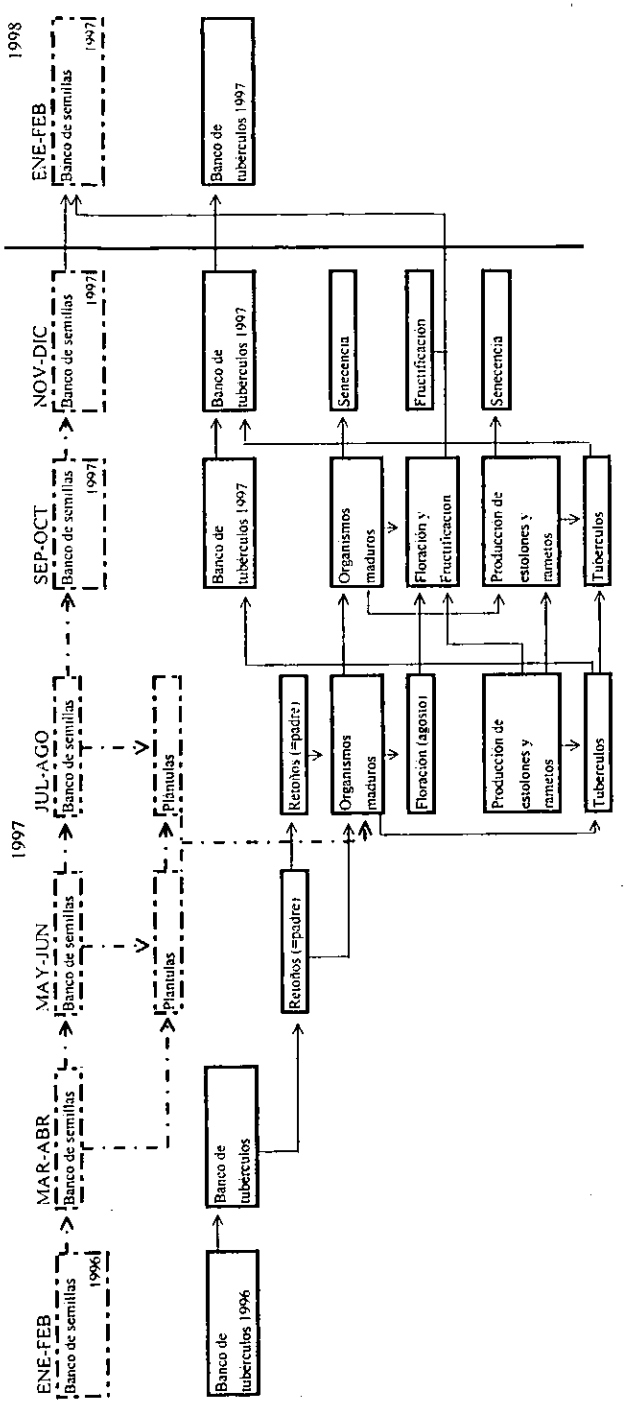


Fig. 27. Descripción del ciclo de vida de *Sagittaria latifolia* (La línea segmentada representa rutas probables, establecidas por inf. bibliográfica). a) tubérculo. b) hojas filiales. c) estolon. d) hábito. e) tubérculo. f) ajuenejo.



Fig. 28. Retoño de *Sagittaria latifolia* con tubérculo y raíces.

Crecimiento

De julio a noviembre de 1997 las plantas de *S. latifolia* produjeron en promedio 8.7 hojas (una hoja cada ~17.5 días), alcanzaron hasta 1.2 m de altura y presentaron en promedio 52 gr de biomasa foliar. Se estimó una tasa de crecimiento del peciolo de 14 cm por semana. A la mitad de la época de crecimiento llegaron a presentar un área foliar de 240 ± 59 cm² no obstante, estos valores se modifican dependiendo de las condiciones ambientales.

Reproducción

Los organismos de *S. latifolia* son monoicos y se reprodujeron sexualmente, formando una o más frecuentemente dos inflorescencias con verticilos de tres cabezuelas de flores imperfectas (Cuadro 10). Las inflorescencias se produjeron después de que se formaron de 6 a 8 hojas. Las primeras flores fueron femeninas y se presentaron entre julio y agosto, correspondieron a las flores del verticilo basal de la inflorescencia y presentaron polinización entomófila. El pico de floración se alcanzó en septiembre y se prolongó hasta octubre.

Las plantas de *S. latifolia* produjeron en promedio 5291 ± 2500 achenios por año o el doble si se presentan dos inflorescencias, con una viabilidad de 81.49% (Cuadro 10).

Los achenios maduros y parcialmente secos se desprenden de las cabezuelas y son dispersados por hidrocoria o epizocoria, para incorporarse al banco de semillas.

La reproducción clonal se realizó por estolones de 1.0 ± 0.5 cm de diámetro promedio y color blanco moteado. En 1997 y 1998 iniciaron su crecimiento en junio y se formaron en promedio 6.8 ± 1.5 (Fig. 25) y 6.5 ± 1.6 estolones por planta en cada año respectivo.

En la punta de los estolones se formó un rameto a 61 ± 11.9 cm de distancia de la planta progenitora (Fig. 26), cada rameto formó su propio sistema radicular y al mismo tiempo nuevos estolones con plantas en su ápice o un tubérculo.

Al final de la estación de crecimiento algunos estolones formaron tubérculos a una distancia de 45.8 ± 18.8 cm de la planta progenitora (Fig. 26). La distancia promedio (61 cm) a la cual se formó un rameto fue 26 % mayor que la distancia a la cual se formó un tubérculo ($t=3.13$; $g.l.=167$; $p=0.002$; Cuadro 11; Fig. 26).

Senescencia

Los rametos y los tubérculos que se desarrollaron a distancia de la planta progenitora se mantuvieron unidos hasta que los estolones que las unían se degeneraron.

Al final de la época de crecimiento (diciembre), la roseta de hojas de cada planta murió por efecto de las heladas. Los nuevos tubérculos producidos por la planta progenitora o por los rametos quedaron latentes bajo el nivel de los sedimentos hasta la siguiente temporada de crecimiento.

VARIACIÓN DE BIOMASA

En la Fig. 29 y 32 se muestra el promedio del peso seco total por metro cuadrado y el porcentaje de peso seco distribuido en las partes de las plantas de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia* durante 1999 en tres sitios de estudio.

Sagittaria macrophylla

El análisis de varianza de dos vías mostró que el promedio anual de biomasa total por metro cuadrado no fue significativamente diferente entre las localidades de estudio para esta especie ($F_{2,31}=2.69; p=0.09$) pero sí entre las fechas de muestreo ($F_{11,31}=3.54; p=0.006$). La localidad de Pasteje presentó la mayor biomasa total de los tres sitios (1108 gr de peso seco/m², octubre 1999) y el mayor promedio anual ($\bar{x}=231\text{gr/m}^2$; Fig. 29). Los organismos de esta localidad iniciaron al menos un mes antes su desarrollo y la producción de estructuras de reproducción, en comparación con las otras dos localidades. La asignación de biomasa para estas estructuras alcanzó el máximo (23%) en septiembre (Fig. 29). En San Pedro Tlaltizapan los patrones de crecimiento fueron muy similares a los que se presentaron en Pasteje, sin embargo se registró un promedio menor de biomasa total (409 gr de peso seco/m², noviembre 1999), y de asignación a estructuras reproductoras (10%).

En Tultepec, el desarrollo de hojas y raíces inició mucho más tarde (junio), cuando las otras dos poblaciones presentaban su floración. No hubo desarrollo de inflorescencias y los estolones se desarrollaron incipientemente al final de la temporada de crecimiento. La mayoría de la biomasa se asignó a la producción de hojas y los tubérculos iniciales se mantuvieron durante la mayor parte del tiempo. El promedio de biomasa total por metro cuadrado que se presentó en este sitio fue el más bajo de los tres sitios estudiados para esta especie (346 gr de peso seco/m²).

La biomasa sobre los sedimentos por metro cuadrado de los tres sitios de estudio no fue significativamente diferente ($F_{2,31}=2.44; p=0.11$) entre las localidades, pero sí a lo largo del periodo de estudio ($F_{11,31}=3.0; p=0.01$). Para el caso de Pasteje y San Pedro Tlaltizapan el máximo de biomasa sobre los sedimentos se presentó en octubre y noviembre respectivamente, incluyendo el periodo de floración (Fig. 29 y 30) y declinó hacia diciembre.

La biomasa bajo los sedimentos por metro cuadrado tampoco presentó diferencias significativas entre los sitios de estudio ($F_{2,34}=2.38$; $p=0.11$; Fig. 30), pero fue significativamente diferente entre los meses considerados ($F_{11,34}=3.22$; $p=0.01$). En general, el valor numérico más alto de biomasa sobre y bajo los sedimentos se presentó en los organismos de Pasteje en el mes de octubre.

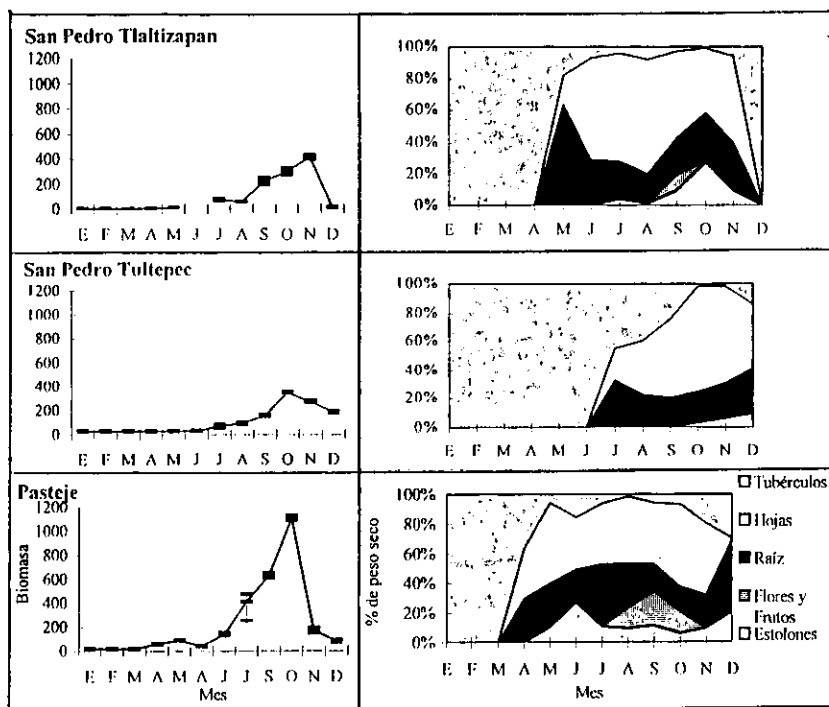


Fig. 29. Peso seco total ($\bar{x} \pm$ d.e.; gr/m^2) y porcentaje de peso seco distribuido en las diferentes partes de las plantas de *Sagittaria macrophylla* durante 1999 en tres sitios de estudio.

El número de tubérculos de *S. macrophylla* se presentó en promedio de 35 ± 6 tubérculos/ $0.5m^2$ y no fue diferente entre San Pedro Tultepec y Pasteje, sin embargo, el promedio de peso seco de los tubérculos de Pasteje ($\bar{x}=1.109$ gr de peso seco) fue más del doble ($t= 4.14$; $p=0.0002$) que en San Pedro Tultepec.

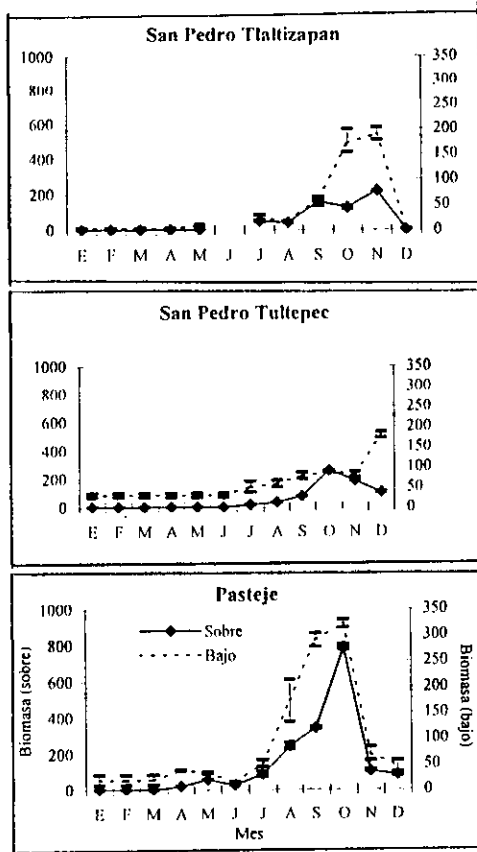


Fig. 30. Peso seco sobre y bajo los sedimentos ($\bar{x} \pm d.e.$; gr/m²) de *Sagittaria macrophylla* durante 1999 en tres sitios de estudio.

Al analizar la relación entre el nivel de agua y la biomasa total por metro cuadrado, se observó una correlación positiva y significativa en las tres localidades (Cuadro 12), sólo en San Pedro Tlaltizapan más del 50% de las variaciones en la biomasa total pueden explicarse por las diferencias en el nivel de agua ($r^2=0.61$, $y=7.0x-4.91$). De la misma forma, las diferencias en el nivel del agua pueden explicar en San Pedro Tlaltizapan y San Pedro Tultepec más del 50% de las variaciones en la biomasa sobre los sedimentos ($r^2=0.72$, $y=4.1x-41.8$; $r^2=0.50$, $y=2.16x-18.4$ respectivamente, Cuadro 12).

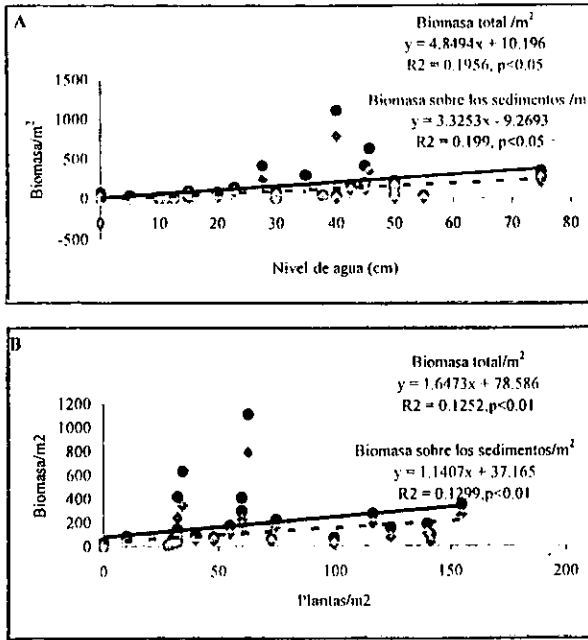


Fig. 31. A) Relación entre el nivel de agua y la biomasa total /m² (línea continua, ●) y nivel de agua y biomasa sobre los sedimentos (línea discontinua, ◆) y B) Relación entre la densidad (plantas/m²) y la biomasa total /m² (línea continua, ●) y nivel de agua y biomasa sobre los sedimentos (línea discontinua, ◆) de *Sagittaria macrophylla* durante 1999.

La relación entre la densidad de plantas y la biomasa total, la biomasa sobre y bajo los sedimentos fue más alta en la localidad de San Pedro Tultepec, donde el 64% de las variaciones en la biomasa total ($r^2=0.64, y=1.26x+25.11$), el 55% en la biomasa sobre los sedimentos ($r^2=0.55, y=0.92x-3.8$) y el 88% en la biomasa bajo los sedimentos ($r^2=0.88, y=0.32x+29.37$) pueden ser explicadas por las diferencias en el número de plantas por metro cuadrado (Cuadro 12).

Al agrupar las tres localidades para establecer una generalidad en la especie, se observó una correlación positiva y una relación significativa entre el nivel de agua y la biomasa total ($p=0.007$) así como entre el nivel de agua y la biomasa sobre los sedimentos ($p=0.007$). Sin embargo, en ésta especie las diferencias en el nivel de agua solo pueden explicar el 19% de la variación de ambas variables (Cuadro 12, Fig. 31).

Para esta especie la densidad de plantas mantiene una relación baja pero significativa con la biomasa total y la biomasa sobre los sedimentos. Solo el 12% de las variaciones en estas variables puede ser explicadas por los cambios en la densidad de plantas ($r^2=0.12$, $y=78.5+1.64x$; $r^2=0.12$, $y=37.16+1.14x$ respectivamente, Cuadro 12, Fig. 31)

Cuadro 12. Correlación y valores de pendiente por regresión lineal del nivel de agua, densidad, biomasa total, biomasa sobre y bajo los sedimentos en los tres sitios de estudio de *Sagittaria macrophylla*. *** $P<0.001$, ** $P<0.01$, * $P<0.05$, ns=diferencia no significativa.

	Nivel de agua			Densidad (plantas/m ²)		
	r ²	Pendiente	P	r ²	Pendiente	P
San Pedro Tlaltizapan (n=9)						
Biomasa total/ m ²	0.61	7.0	*	0.41	10.19	*
Biomasa sobre los sedimentos/ m ²	0.72	4.1	*	0.43	7.17	*
Biomasa bajo los sedimentos/ m ²	0.44	5.5	**	0.34	3.02	*
San Pedro Tultepec (n=10)						
Biomasa total	0.48	2.66	*	0.64	1.26	**
Biomasa sobre los sedimentos	0.50	2.16	***	0.55	0.92	**
Biomasa bajo los sedimentos	0.33	0.49	*	0.88	0.32	***
Pasteje (n=11)						
Biomasa total	0.37	15.7	*	0.49	3.11	*
Biomasa sobre los sedimentos	0.33	4.1	***	0.55	1.82	**
Biomasa bajo los sedimentos	0.43	2.9	**	0.36	1.28	ns
Tres localidades agrupadas (n=30)						
Biomasa total	0.19	4.84	**	0.12	1.64	*
Biomasa sobre los sedimentos	0.19	3.32	**	0.12	1.14	*
Biomasa bajo los sedimentos	0.16	1.5	*	0.9	0.5	ns

Sagittaria latifolia

En ninguna localidad estudiada de *S. latifolia* se presentaron estructuras vegetativas sobre los sedimentos durante el invierno, en general los patrones de crecimiento de las tres localidades fueron muy similares (Fig. 32). El análisis de varianza de dos vías mostró que el promedio anual de biomasa total por metro cuadrado fue significativamente diferente entre las localidades ($F_{2,35}=4.07$; $p=0.03$) y entre los meses de muestreo ($F_{11,35}=3.79$; $p=0.003$). Las poblaciones de la Presa Ignacio Ramírez y Villa Victoria iniciaron su desarrollo dos meses antes y particularmente en Villa Victoria se presentó la mayor biomasa total de los tres sitios (1084 gr de peso seco/m², septiembre 1999) y el mayor promedio anual ($\bar{x}=220$ gr/m²).

En los tres sitios el pico de floración se alcanzó después de agosto, la asignación mensual de biomasa a estas estructuras fue mayor en Villa Victoria ($F=7.7$; $p=0.001$), duplicando la asignación en comparación con los otros dos sitios.

La biomasa sobre los sedimentos por metro cuadrado de los tres sitios de estudio no fue significativamente diferente entre las localidades ($F_{2,35}=3.09$; $p=0.06$), pero sí a lo largo del periodo de estudio ($F_{11,35}=2.93$; $p=0.01$). El máximo se presentó en octubre en San Pedro Tlaltizapan y la Presa Ignacio Ramírez, y en septiembre para Villa Victoria, justo en el periodo de floración (Fig. 33).

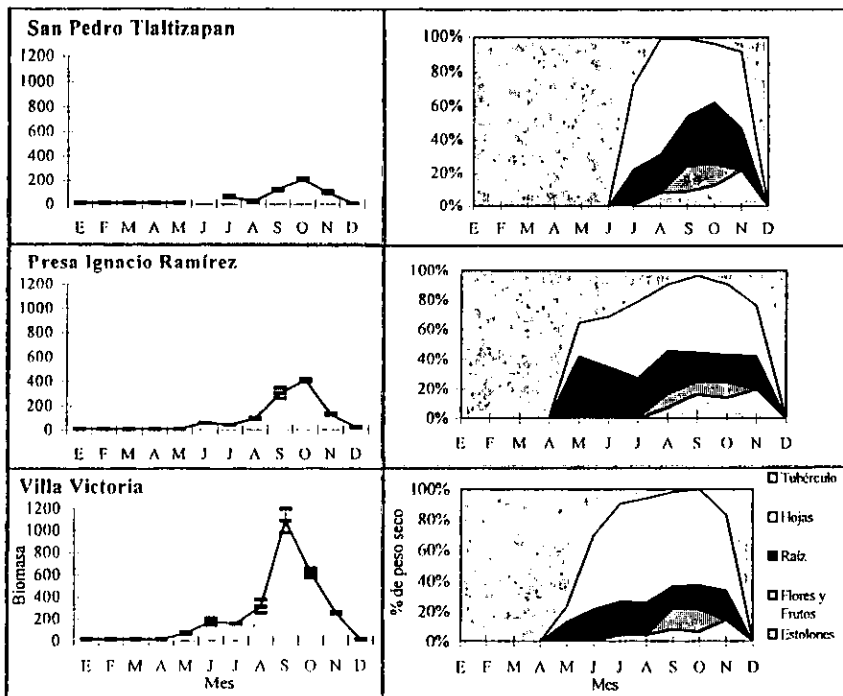


Fig. 32. Peso seco total ($\bar{x} \pm d.e.$; gr/m^2) y porcentaje de peso seco distribuido en las diferentes partes de las plantas de *Sagittaria latifolia* durante 1999 en tres sitios de estudio.

La biomasa bajo los sedimentos por metro cuadrado presentó diferencias significativas entre los sitios de estudio ($F_{2,35}=5.76$; $p=0.0009$; Fig. 33) y entre los meses considerados ($F_{11,35}=6.11$; $p<0.001$). Durante la temporada de crecimiento la biomasa asignada a las estructuras bajo los sedimentos varió entre el 20 y 60% del peso seco promedio del organismo (Fig. 32 y 33). En la

Presas Ignacio Ramírez la producción de estolones fue 4 ó 6% mayor en comparación con las otras dos localidades (Fig. 33). Sin embargo, el promedio de peso seco de los tubérculos de Villa Victoria ($x=1.85$ gr de peso seco) fue significativamente superior ($H=10.3$; $g.l.=2$; $p=0.005$) al de las otras dos localidades, duplicó su valor con relación a los tubérculos de la presa Ignacio Ramírez ($x=0.66$ gr de peso seco).

El número de tubérculos de *S. latifolia* fue en promedio de 36 ± 14 tuberculos/m² sin ser diferente entre los sitios de estudio.

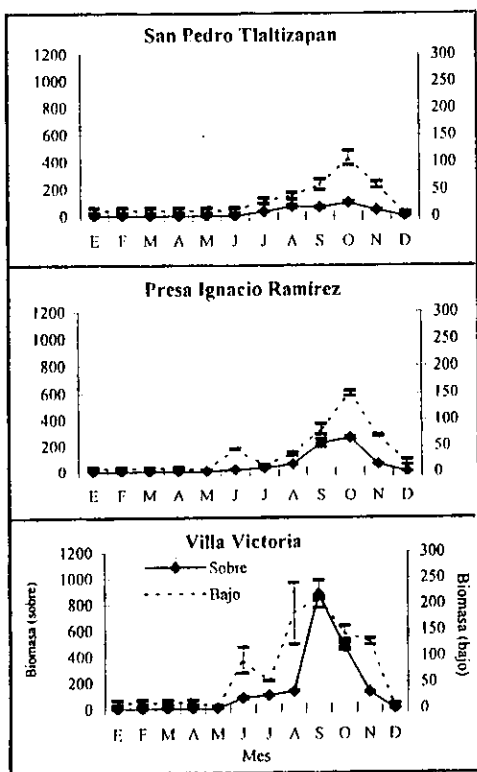


Fig. 33. Peso seco sobre y bajo los sedimentos ($x \pm d.e.$; gr/m^2) de *Sagittaria latifolia* durante 1999 en tres sitios de estudio.

Al analizar la relación entre el nivel de agua y la biomasa total, se observó solamente una correlación positiva y significativa en San Pedro Tlaltizapan y Villa Victoria (Cuadro 13), en San Pedro Tlaltizapan más del 50% de las variaciones en la biomasa total, la biomasa sobre y bajo los

sedimentos pueden explicarse por las diferencias en el nivel de agua ($r^2=0.65$, $y=7.82+1.84x$; $r^2=0.62$, $y=0.43+0.98x$; $r^2=0.63$, $y=7.3+0.86x$, respectivamente, Cuadro 13).

El análisis de la relación entre la densidad de plantas y la biomasa total, la biomasa sobre y bajo los sedimentos fue más alta y significativa en la localidad de San Pedro Tlaltizapan, donde el 69% de las variaciones en la biomasa total ($r^2=0.69$, $y=12.8+7.3x$), el 74% en la biomasa sobre los sedimentos ($r^2=0.74$, $y=1.75+4.13x$) y el 58% en la biomasa bajo los sedimentos ($r^2=0.58$, $y=11.13+3.16x$) pudieron ser explicadas por diferencias en el número de plantas por metro cuadrado (Cuadro 13).

Al agrupar las tres localidades para hacer una generalización para la especie se observó una correlación positiva y una relación no significativa entre el nivel de agua y la biomasa total ($p=0.48$) así como entre el nivel de agua y la biomasa sobre los sedimentos ($p=0.62$) y la biomasa bajo los sedimentos ($p=0.22$, Cuadro 13).

Para esta especie la densidad de plantas mantiene una relación relativamente baja pero significativa con la biomasa total y la biomasa sobre y bajo los sedimentos. Las diferencias en la densidad de plantas pueden explicar el 36% de las variaciones en la biomasa total ($r^2=0.36$, $y=6.03+7.3x$), el 29% en la biomasa sobre los sedimentos ($r^2=0.29$, $y=5.13x-4.95$) y el 50% en la biomasa bajo los sedimentos ($r^2=0.50$, $y=10.9+2.23x$, Cuadro 13, Fig. 34)

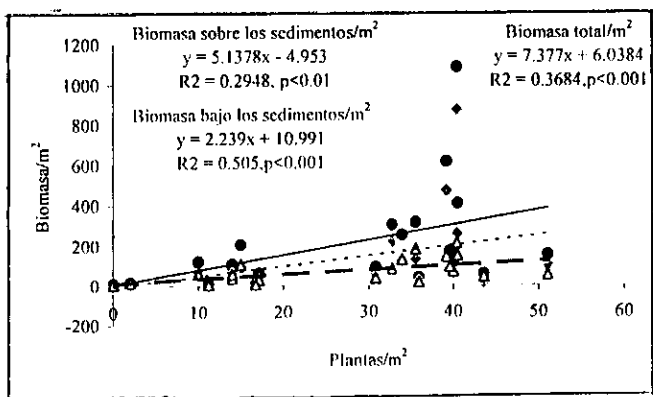


Fig. 34. Relación entre la densidad (plantas/m²) y la biomasa total/m² (línea continua, ●), biomasa sobre los sedimentos (línea punteada, ◆) y bajo los sedimentos (línea discontinua, ▲) de *S. latifolia* durante 1999.

Cuadro 13. Correlación y valores de pendiente por regresión lineal del nivel de agua, densidad, biomasa total, biomasa sobre y bajo los sedimentos en los tres sitios de estudio de *Sagittaria latifolia*. *** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, ns=diferencia no significativa.

	Nivel de agua			Densidad (plantas/m ²)		
	r ²	Pendiente	P	r ²	Pendiente	P
San Pedro Tlaltizapan (n=11)						
Biomasa total/ m ²	0.65	1.84	**	0.69	7.30	***
Biomasa sobre los sedimentos/ m ²	0.62	0.98	*	0.74	4.13	**
Biomasa bajo los sedimentos/ m ²	0.63	0.86	**	0.58	3.16	**
Presa Ignacio Ramírez (n=11)						
Biomasa total	0.02	2.48	ns	0.38	4.32	*
Biomasa sobre los sedimentos	0.03	1.89	ns	0.33	2.7	*
Biomasa bajo los sedimentos	0.01	0.59	ns	0.47	1.59	*
Villa Victoria (n=11)						
Biomasa total	0.37	29.48	*	0.38	9.9	*
Biomasa sobre los sedimentos	0.32	22.20	*	0.30	7.18	ns
Biomasa bajo los sedimentos	0.42	7.28	*	0.56	2.81	**
Tres localidades agrupadas (n=33)						
Biomasa total	0.01	1.39	ns	0.36	7.37	***
Biomasa sobre los sedimentos	0.007	0.77	ns	0.29	5.13	**
Biomasa bajo los sedimentos	0.04	0.62	ns	0.50	2.23	***

ETNOBOTÁNICA

El uso de *S. macrophylla* y *S. latifolia* se ha registrado desde la época prehispánica en el códice Florentino (Cuadro 14), aparentemente en el códice Badiano y en la Historia Natural de la Nueva España no se registra ninguna de las especies de estudio. Urbina (1903) ha citado que la planta denominada "Acuitlacpalli" en el códice Florentino corresponde a *S. macrophylla* (Fig. 1; Zepeda y Lot, 1999).

Lot y Miranda-Arce (1983) sugieren que descripción de "Cacatextli" que aparece en el mismo códice puede corresponder a las "papas de agua" o tubérculos de la *S. macrophylla*. Sin embargo, en la misma sección de "raíces comestibles" y debajo del texto de la descripción de "Cacatextli" aparece sin nombre la ilustración de una planta acuática (Fig. 35), con hojas sagitadas y lóbulos basales amplios que emergen de un tubérculo, características que coinciden más con *S. latifolia* que con *S. macrophylla* por lo que podría considerarse que estas raíces corresponden a los tubérculos de *S. latifolia* y no a los de *S. macrophylla* como ha sido propuesto.

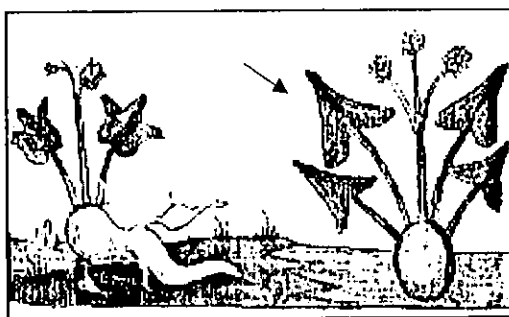


Fig. 35. Probable representación de "Cacatextli" (flecha) en el códice Florentino.

De esta forma y de acuerdo con el Códice Florentino los usos de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia* en el siglo 16th se presentan en las Cuadro 14.

Cuadro 14. Estructuras de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia* usadas antiguamente.

Especie	Nombre	Uso antiguo	Estructura	Preparación
<i>S. macrophylla</i>	Acuitlacpalli*	Alimentario	Hojas	Hervida
<i>S. latifolia</i>	Cacatextli*	Forraje	Hojas	
	Cacatextli*	Alimentario	Tubérculos	Hervida

* Nombre Nahuatl.

Las investigaciones de campo permitieron establecer los usos actuales de las mismas especies en el Estado de México (Cuadro 15).

Cuadro 15. Estructuras de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia* en el Estado de México usadas actualmente.

Especie	Nombre	Uso actual	Estructura	Preparación
<i>S. macrophylla</i>	Apaclol ó apaclolillo	Forraje	hojas	-
	Papa de agua criolla	Forraje, alimentario	tubérculos	- Hervida
<i>S. latifolia</i>	Hoja de papa de agua	Forraje	hojas	-
	Papa de agua	Alimentario	tubérculos	Hervida
		Medicinal ? Cebo para peces		- -

Con base en las entrevistas, se sabe que actualmente las estructuras más comercializadas y con un uso directo son los tubérculos de *S. latifolia* o comúnmente conocidos como “papas de agua”, las cuales representan una fuente de ingreso económico para las personas que se dedican a la venta de productos acuáticos. Los tubérculos de *S. macrophylla*, “papas de agua criollas” o “papa del apaclol ó apaclolillo”, también son usados como alimento, para prepararlos “se lavan y se hierven con sal o se tuestan en el comal”. Sin embargo, su venta es en general escasa. Únicamente se registró en vendedores ocasionales de los mercados de Almoloya de Juárez y Zinacantepec. Algunos informantes (80%) mencionaron que en realidad éstos no son usados.

Dado que los tubérculos de *S. latifolia* son las estructuras que representan mayor importancia económica y tradicional en la región, la repuesta de las entrevistas estuvo centrada en esta especie y los análisis de esta información también.

Los datos demográficos de los entrevistados se muestran en el Cuadro 16.

De las entrevistas destaca que la venta de las “papas de agua” puede tener en la región al menos veinte años, solo un entrevistado manifestó que tenía cuarenta años dedicado a la venta de “papas de agua”. Sin embargo algunas personas de la Ciudad de Toluca que no fueron directamente entrevistadas, de manera informal comentan que hace cincuenta años era común el uso y la venta de las “papas de agua”.

Cuadro 16. Datos demográficos de los 15 entrevistados, valores en porcentaje.

Residencia		Tipo de vendedor		Antigüedad de venta	
Almoleya de Juárez	6.6	Permanente	0	≤20	86.6
San Pedro Tlalitzapan	40	Ambulante	100	21 a 40	13.3
Villa Victoria	6.6			41 a 60	0
San Mateo Atenco	26.6	Sexo		≥61	0
Metepac	6.6	Masculino	20	Estatus	
Toluca	6.6	Femenino	80	Vendedor	80
Ocoyoacac	6.6			Cosechador	0
		Educación		Vendedor y cosechador	20
Edad (años)		0 años	33.3		
≤20	6.6	1-5 años	53.3		
21 a 40	60.0	>5 años	13.3		
41 a 60	20.0				
≥61	13.3				

La edad de los vendedores no se correlacionó significativamente con la antigüedad que tienen dedicados a la venta de “papas de agua” ($r=0.41$, $p=0.12$), aparentemente la mayor parte de los vendedores (60%) tenían entre veinte y cuarenta años y la mayoría de las personas (86.6%) dijeron tener veinte años o menos vendiendo “papas de agua”.

La venta se realiza principalmente por vendedoras ambulantes que con cierta frecuencia asisten a los mercados semanales de la región, o directamente por los recolectores. La venta de estas estructuras está ligada principalmente al sexo femenino (80%), en tanto que la recolección al masculino.

Planta de las “papas de agua”

De acuerdo con el 78% de los entrevistados, las “papas de agua” se obtienen de un solo tipo de plantas (*S. latifolia*), reconocidas por ellos comúnmente como “papas de agua” (57% de los entrevistados) o también “flor de papa” (7.1%), “hierba de papa” (7.1%), “pulla” (7.1%) o “guía” (7.1%). Las personas dedicadas a la recolección de los tubérculos mencionan que una planta produce hasta cinco “papas de agua” en la punta de sus “raíces” (estolones).

La información de los entrevistados indica que estas plantas no reciben ningún cuidado especial, crecen silvestres (92.8% de los entrevistados) en las regiones estacionalmente inundadas, ya sea en la ciénaga, potreros, orilla de ríos limpios (7.1%, para cada caso), en los lagos (21.4%) o en la orilla de lagunas (57%), formando manchones de plantas de tamaño variable.

En términos generales, se pueden reconocer cuatro etapas en el aprovechamiento de las “papas de agua”: la recolección, la preparación, la venta y el consumo.

Recolecta de tubérculos

La recolecta de “papas de agua” se realiza con técnicas manuales, y los informantes establecen que la mejor época para ello es de noviembre a mayo, que corresponde a la época de secas o estiaje. Durante este período, el nivel de agua disminuye y las estructuras vegetativas de las plantas mueren, excepto los tubérculos, facilitándose su extracción.

De acuerdo con los recolectores entrevistados (3) la recolecta se realiza generalmente dos veces por semana en lugares permanentemente inundados o en zonas que tienen “lodo bofo” formado por un manto flotante de vegetación acuática viva y muerta.

La recolección de los tubérculos en los lugares permanentemente inundados se realiza con las manos, “tentando y buscando entre el fango”. Pero en la mayoría de los casos los recolectores remueven las capas de sedimentos con los pies y con la ayuda de un azadón, de esta forma los tubérculos flotan o quedan expuestos entre los bloques de sedimento removidos. Después de extraer los tubérculos enterrados, les quitan el exceso de tierra con el agua de las zonas adyacentes y los almacenan en bolsas, algunos (2) citaron que a los tubérculos que tienen una “pulla” (estolón en formación) ésta se les quita y se deja en el agua “porque puede formar una nueva mata”. No todos los tubérculos extraídos son recolectados, se seleccionan solo los que están enteros, de consistencia dura y color amarillo, los tubérculos degenerados o que han desarrollado pequeñas hojas a finales de la temporada de recolecta (mayo) no son útiles y se abandonan en la zona, porque también pueden producir una nueva planta.

No hay un mes con mayor o menor producción de papas, ni variación en el tamaño de las mismas, ya que durante toda la temporada se presentan tanto “papas chicas” (2.5 cm de longitud promedio) como “papas grandes” (5 o 6 cm. de longitud promedio), su tamaño determina su precio, y esta en función del tamaño y biomasa sobre los sedimentos de la planta que lo produjo, aparentemente una planta grande y con mayor biomasa producirá tubérculos más grandes que una planta de menor talla. Solo dos entrevistados (14.2%) explicaron que de abril a junio hay menos papas ya que la planta empieza a crecer de ellas.

Generalmente, los recolectores acuden a diferentes zonas de recolecta preestablecidas, para obtener los tubérculos. Los vendedores y recolectores tienen una visión limitada de la distribución geográfica natural de la “papa de agua”. La mayoría de los vendedores pudo establecer zonas de recolecta en sus lugares de residencia, pero no más allá. Las zonas de recolecta pueden ser sus propios terrenos, cuando están localizados en la orilla de las zonas inundables de la región, terrenos

inundados abandonados o bien terrenos de sus vecinos a quienes tienen que pagar (alrededor de \$100.00 por mes) para que les permita entrar y extraer “papas de agua”.

En algunos casos, como en la localidad de Villa Victoria algunos consumidores y vendedores han creado o adaptado pequeñas charcas o canales para el cultivo de la “papa de agua”. Se trata de áreas de extensión variable con una profundidad en las orillas no mayor de 1 mt, temporalmente inundadas y con sedimentos permanentemente saturados de agua. En estas áreas se “siembra” sin técnicas específicas “una sola vez” tubérculos extraídos de zonas cercanas. De acuerdo con dos informantes estos tubérculos deben sembrarse cuando inicia la temporada de lluvias. Posteriormente se dejan crecer solas y si crecen no requieren de cuidados especiales, solo se protegen de la depredación por ganado. A finales y principios de año se extraen las “papas de agua”, “pero se producen tantas que no todas se sacan, las que quedan permiten que la producción se mantenga para la siguiente temporada”.

Las principales regiones de recolecta de la “papa de agua” citadas por los informantes fueron:

- 1.- San Pedro Tlaltizapan, Mpio. de Metepec (42.8%),
- 2.- Barrio de Guadalupe, Mpio. de Metepec (21.4%),
- 3.- San Nicolás Peralta y Atarasquillo, Mpio. de Lerma (7.1%)
- 4.- Salitre de Mañones, Mpio. de Almoloya de Juárez (7.1%) y
- 5.- El Salto y La Presa, Mpio. de Villa Victoria (7.1%).

En estas regiones de recolección, se pueden distinguir dos zonas principales (Fig. 2). Una zona se localiza en la periferia de la ciénaga del río Lerma (al sureste de la Ciudad de Toluca), incluyendo los municipios de Lerma y Metepec. La segunda zona se localiza hacia el noroeste de la ciudad de Toluca, en los municipios de Almoloya de Juárez y Villa Victoria.

En ambas zonas se desarrollan plantas de *S. latifolia*, de las cuales se extraen “papas de agua”, sin embargo se observan diferencias de coloración y tamaño entre los tubérculos de las dos regiones (Fig. 36) Los tubérculos de la zona que rodea al río Lerma (zona sureste) tienen forma circular, color amarillento claro y llegan a medir en promedio de 2 a 5 cm. de largo y pesan de 5 a 32 gr (peso húmedo) en promedio. Su composición química se señala en el cuadro 18.

Los tubérculos de la segunda zona de recolecta (al noroeste de la Ciudad de Toluca) presentan una forma más alargada, una coloración grisácea con manchas rojizas, miden entre 3 y 6 cm. de largo y pesan de 4 a 18 gr (peso húmedo) en promedio, su composición química se señala en

el cuadro 18. Se trata de zonas permanentemente inundados o con manantiales que mantienen una capa de agua constante sobre los sedimentos. Los vendedores de este tipo de "papa de agua" aseguran que las zonas en donde crecen son más limpias y menos contaminadas que las de la región del río Lerma y reconocen visualmente a cada una.



Fig. 36. "Papas de agua" de A) San Pedro Tlaltizapan y B) Villa Victoria, Estado de México.

En la localidad de Villa Victoria y como se menciona en la sección anterior, destaca que en 1999 las plantas iniciaron su crecimiento dos meses antes que las de San Pedro Tlaltizapan, el pico de biomasa total por metro cuadrado se presentó un mes antes y fue casi cuatro veces mayor, al igual que el promedio anual de biomasa. Además, las plantas de esta localidad fueron en promedio 25% más grandes y asignaron mayor biomasa a las estructuras de reproducción sexual y a los tubérculos.

Las zonas de crecimiento natural de la "papa de agua" se han transformado paulatinamente en zonas agrícolas o potreros. Los entrevistados (71.4%) mencionaron que las poblaciones de la "papa de agua" han disminuido de manera importante, en algunos casos se menciona que las poblaciones prácticamente han desaparecido en los poblados de Atarasquillo y San Nicolás Peralta, municipio de Lerma. Como causas de estos cambios los entrevistados señalan las siguientes:

- 1.- La expansión del tule y su competencia con las plantas de la "papa de agua".

- 2.- La disminución de los cuerpos de agua y por lo tanto la carencia de lugares para que la planta de la “papa de agua” crezca.
- 3.- La contaminación del río Lerma y consecuentemente de las zonas inundables en sus orillas.
- 4.- La sobreexplotación de los tubérculos ya que las personas están extrayendo grandes cantidades de estos, tantos que en algunas zonas ya no hay.

Preparación de los tubérculos

Después de la recolecta, los tubérculos enteros son lavados para quitarles el exceso de tierra. Posteriormente y horas antes de su venta, se ponen a hervir con agua, limón (“para que se pongan blancas”) y sal, sobre carbón hasta por cuatro horas dependiendo de la cantidad y cuando presentan una consistencia blanda son retirados del fuego.

Para la venta los tubérculos hervidos se “limpian” de los extremos, quitándoles los restos de los estolones que los formaron y los restos de las hojas escamosas que los rodean.

Venta de tubérculos

De acuerdo con los recolectores entrevistados (3), la recolecta se realiza generalmente dos veces por semana y dependiendo del tiempo que dedique a esta actividad, un recolector puede obtener de 10 a 25 Kg de “papas de agua” al día, si trabaja dos días llega a obtener cerca de 35 Kg de “papas de agua”. Cada kilogramo tenía 70 ± 10 “papas de agua” de tamaño diverso y se vendió de \$7.00 a \$10.00 en 1997 y 1998. Así, por dos días de trabajo el recolector llegó a obtener de \$250.00 a \$350.00. Considerando que trabajó semanalmente de noviembre a marzo, durante la temporada de cosecha pudo obtener al menos \$5.000.00 en 1997 y 1998.

Los recolectores venden a las revendedoras “papas de agua” por botes de 2 a 3 Kg o directamente al consumidor por montones cuyo precio depende del tamaño y número de papas (Cuadro 17). Junto con otros productos del agua como: berros (*Rorippa nasturtium-aquaticum*), cabezas de negro (rizomas de *Nymphaea* sp.), mamalacote, San Ranjel u ombligo de Venus (*Hydrocotyle ramunculoides*), acociles (*Cambarellus* sp.), patos, peces (carpa o pez blanco) entre otros, los recolectores asisten a los mercados cada semana con al menos 15 kilos de “papas de agua” que han recolectado y preparado horas antes.

Cuadro 17. Unidades de venta de "papas de agua", tamaño y peso promedio (diciembre de 1997).

Unidad de venta	Num. De papas	Tamaño por papa (cm.)	Peso por unidad (gr)	Precio (Pesos)
Montón de papas chicas	3	2.5	14.4	Uno
Montón de papas grandes	7	4.8	220.5	Cinco
Bote	±150	Variable	2000	Catorce a veinte

La venta es una actividad principalmente desarrollada por las mujeres, aunque los hombres pueden participar ocasionalmente.

Consumo

El consumo y uso principal de las "papas de agua" es como alimento (85.7% de los entrevistados), pero algunos vendedores (2) le atribuyen un uso medicinal ya que refirieron que son "buenas" para el hígado y el riñón. En la mayoría de los casos las "papas de agua" son compradas por consumidores cuya edad rebasa los treinta años. Tradicionalmente su consumo se ha transmitido de generación en generación, sin embargo algunas personas mencionan que los niños y adolescentes ya no conocen su consumo. Las personas se comen las "papas de agua" ya sea solas o acompañadas en los tradicionales "tacos de plaza".

Composición química de tubérculos

Los tubérculos de *S. macrophylla* aun cuando son de dimensiones menores (Cuadro 18) tienen casi dos veces más biomasa que los de *S. latifolia*. *S. macrophylla* presentó el mayor porcentaje de extracto libre de nitrógeno, fibra cruda y contenido de proteínas, duplicándose en algunos casos (Cuadro 18). Al comparar los porcentajes de extracto libre de nitrógeno, fibra cruda y contenido de proteínas en los dos tipos de tubérculos de *S. latifolia* se observa que dichos componentes se presentan en porcentajes similares.

Cuadro 18. Porcentaje de muestra húmeda y muestra seca (en paréntesis) obtenidos por el análisis proximal de los tubérculos *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia* (región 1 y 2).

Determinación	Porcentaje de muestra húmeda y (seca)		
	<i>S. macrophylla</i>	<i>S. latifolia</i>	
		Región 1	Región 2
Proteínas	8.75 (17.71)	3.22 (11.93)	4.13 (15.53)
Extracto etéreo (lípidos)	0.59 (1.19)	0.26 (0.98)	0.41 (1.54)
Cenizas (minerales)	1.39 (2.81)	1.58 (5.85)	1.30 (4.89)
Fibra cruda (celulosa y lignina)	1.06 (2.14)	0.52 (1.91)	0.64 (2.41)
Extracto libre de nitrógeno (almidones)	37.65 (76.15)	21.45 (79.33)	20.12 (75.63)
% Materia seca (biomasa)	49.44 (100)	27.9 (100)	26.61 (100)
% Humedad (agua)	50.56	72.96	73.39
Peso de Muestra (gr).	257.95	506.8	500

DISCUSIÓN

DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT

Como se ha mencionado anteriormente la distribución local y regional de las macrófitas emergentes, y en especial de algunas especies de *Sagittaria*, puede estar determinada primordialmente por la variación temporal del nivel de agua y las características físicas y químicas del sustrato (Gosselink y Turner, 1978), así como por los procesos naturales de dispersión de propágulos sexuales (aquenios ornamentados o alados) y asexuales (tubérculos, rizomas o plantas enteras) e incluso, por la influencia de las actividades humanas.

Históricamente las actividades humanas han tenido un papel importante en la distribución de estas plantas. A través de la mayor parte de su rango de distribución, diversas especies de *Sagittaria* son utilizadas de distintas formas y particularmente sus tubérculos son altamente estimados. Presumiblemente ciertas actividades humanas ha favorecido directa o indirectamente el crecimiento de algunas sagitarias como malezas en los arrozales, los tubérculos pudieron ser transportados, al igual que los aquenios, por antiguos pobladores a nuevos lugares (Rogers, 1983), creando puntos focales para el desarrollo de nuevas poblaciones de plantas. De esta forma, podría esperarse que en la zona de estudio la distribución actual de algunas de las poblaciones de sagitaria con algún uso o sin él estuviera relacionada con ciertas actividades humanas.

No obstante, el impacto del hombre sobre los hábitats acuáticos, también ha tenido el efecto contrario, algunas localidades donde se registraban las especies de estudio han desaparecido y todas las localidades en las que se conoce actualmente su presencia tienen algún grado de perturbación.

El mapa de distribución de *S. macrophylla* (Fig. 4) indica que anteriormente esta especie tenía una distribución más amplia en el Estado de México. El crecimiento urbano de la Ciudad de México ha desplazado y restringido las poblaciones de esta hidrófita hacia regiones más al norte de la Cuenca del Valle de México y, en lo que corresponde a la Cuenca Alta del río Lerma podría existir la misma tendencia de continuar la misma tasa de crecimiento de la Ciudad de Toluca (4% anual aproximadamente) con las consecuentes implicaciones. *Sagittaria macrophylla* es una especie endémica de México, de interés cultural y que de acuerdo con Olmsted (1993) puede considerarse en peligro de extinción o vulnerable (Lot et al, 1999), la reducción y deterioro de sus hábitats puede conducir a su extinción.

De la misma forma, *S. latifolia* ha tenido una reducción en su distribución natural (Fig. 13). Novelo y Lot (1990) sugieren que probablemente ya esté extinta de la Cuenca del Valle de México, y si bien tiene una distribución más continental, en la región de la Cuenca Alta del río Lerma se considera como una especie "rara" dado que sus poblaciones naturales son escasas, se encuentran

restringidas a un área reducida o a hábitats muy específicos (Ramos-Ventura, 2000). Actualmente los tubérculos de esta planta (“papas de agua”) son apreciados por los pobladores del centro del Estado de México y si bien el uso que representa para ellos ha permitido la creación de cuerpos de agua ex profeso para su crecimiento, la investigación etnobotánica parece indicar que aun así su distribución e incluso su uso, ha disminuido, por ejemplo; algunos de los entrevistados (40%) hablaron acerca de los cambios en poblaciones específicas de la “papa de agua”, mencionaron que cuando eran niños, las “papas de agua” y sus plantas crecían y eran vendidas ampliamente en sus lugares de origen pero que ahora no son comunes y que aparentemente están desapareciendo.

En el plano nacional la Cuenca Alta del río Lerma es una de las regiones más importantes para el desarrollo y presencia de especies de plantas acuáticas. Presenta el 11.8% de especies de plantas acuáticas de México y es la región más rica en familias de acuáticas estrictas dentro del estado (Ramos-Ventura, 2000). Sin embargo, también se encuentra en un avanzado deterioro ecológico, las actividades humanas, entre las que destaca la extracción de agua, han propiciado la pérdida de hábitats, el desplazamiento de la flora local, la reducción del rango de distribución de varias especies acuáticas, algunas de las cuales están consideradas como amenazadas, en peligro de extinción o incluso ya están extintas (Ramos-Ventura, 2000) y al mismo tiempo, han favoreciendo el desarrollo de otras especies consideradas como malezas acuáticas, tal es el caso de *Hydrocotyle ranunculoides*, *Hydromistria laevigata* y *Myriophyllum aquaticum* (Ramos-Ventura, 2000), dominantes en los cuerpos de agua de la región, tolerantes a las nuevas condiciones ambientales y fuertes competidoras frente a las especies nativas.

No obstante, existen razones de peso para conservar una especie y su hábitat, desde consideraciones éticas, hasta cualidades estéticas, de diversidad y estabilidad, valor científico e incluso utilitario como el que presentan las especies del género *Sagittaria*. Recientemente un grupo de comuneros ha buscado mediante el proyecto comunitario “Por la Ciénega del Río Lerma” la creación de un Área Natural Protegida (3 023 ha) en la zona lacustre donde nace el río Lerma y las áreas aledañas. Su objetivo central favorecerá la protección no solo de las especies silvestres acuáticas de la zona sino también de aquellas que representan un recurso potencial, económico y cultural para los habitantes de la región.

Desde un punto de vista ecológico y dentro de los factores que potencialmente influyen sobre la distribución de las plantas acuáticas, Kaul (1991) menciona que la profundidad del agua es el factor que más fácilmente se relaciona con la distribución de sagitarias, así como con la forma y

desarrollo de sus hojas. Especies de este grupo se han reportado entre 0.2 y 1 m de profundidad (Van der Valk y Davis, 1976, Eckblad et al, 1977, Huber et al. 1983: In Clarck y Clay, 1985). De la misma forma, se ha establecido que la producción de biomasa sobre los sedimentos (Pilcher, 1981: In: Clarck y Clay, 1985) y la producción de flores y semillas (Pilcher, 1981; Lieffers y Shay, 1982; Kaul, 1991) disminuye conforme el nivel de agua disminuye. No obstante, otros autores ha citado también que el aumento de la profundidad del agua puede reflejarse en una disminución o ausencia en la producción de flores (Wooten y Lamotte, 1978), estolones y tubérculos (Garbisch y McLininch, 1994).

En los sitios de estudio las plantas de *S. macrophylla* y *S. latifolia* crecieron en niveles máximos de profundidad de 60-75 cm, sin que se presentaran diferencias importantes entre las dos especies ($F_{1,70}=2.5; p=0.11$). Por arriba de estos límites las poblaciones tendieron a no producir flores, disminuir su tamaño y/o desaparecer. Los datos obtenidos en el presente estudio sugieren que las plantas de ambas especies pueden ser sensitivas a los cambios en el nivel de agua.

Las correlaciones entre la profundidad del agua con la longitud del peciolo de la hoja madura más interna, la densidad y la biomasa en los tres sitios de *S. macrophylla*, así como el análisis general para esta especie (Cuadros 4, 12) muestran relaciones moderadamente fuertes, positivas y significativas entre las variables (Fig. 9), sugiriendo que los incrementos en los atributos físicos considerados pueden explicarse parcialmente por aumentos en el nivel de agua.

Las poblaciones de *S. latifolia* no mostraron un patrón en las relaciones entre el nivel de agua con la densidad y la longitud del peciolo, sin embargo en el análisis general para la especie se observó una relación relativamente débil pero significativa y negativa entre las variables citadas (Cuadro 6, Fig. 17), indicando un efecto inverso del nivel de agua al observado en *S. macrophylla* y con ello probablemente una menor habilidad de las plantas de *S. latifolia* para crecer en un nivel de agua que exceda cierto límite (al rededor de 40 cm, Fig.17) o durante inundaciones repentinas y prolongadas. Al respecto Garbisch y McLininch (1994) citan el número de estolones y tubérculos, así como la sobrevivencia de plantas de esta especie declina significativamente con el aumento de la profundidad, las plantas no sobreviven en niveles de agua superiores a 1mt, de forma que la densidad de las poblaciones está limitada por el nivel de agua.

La inundación y las consecuentes condiciones anóxicas en la zona de raíces son afrontadas en la heliófitas principalmente por; 1) el desarrollo de lagunas intercelulares en tallos, rizomas y raíces, que facilita el transporte y almacenamiento de oxígeno a zonas demandantes (Sculthorpe, 1977, Van der Brink, et al, 1995), 2) el incremento en la longitud de tallos o peciolos y con ello el restablecimiento del contacto con el aire (Van der Brink, et al, 1995) y 3) retardo en el crecimiento, hasta la restitución de niveles inferiores de agua (Van der Brink, et al, 1995). Aunado a lo anterior y

como sucede en plantas acuáticas sumergidas, las sagitarias podrían percibir la profundidad por un mecanismo que involucra cambios en el fitocromo de sus cloroplastos (Wooten y Lamotte, 1978).

Particularmente, en el sitio de San Pedro Tultepec, las plantas de *S. macrophylla* fueron las más numerosas, pero estuvieron sometidos a niveles de agua superiores a los 60 cm de profundidad durante su crecimiento, las hojas no emergieron del nivel de agua, no obstante la longitud del peciolo y el nivel de agua presentaron la correlación positiva más alta de los tres sitios para esta especie, además, no se formaron flores y el promedio de biomasa total por metro cuadrado así como el promedio de biomasa de los tubérculos fue el menor de los tres sitios de estudio. En este respecto Wooten y Lamotte (1978) mencionan que a menos que las hojas maduras emerjan del nivel del agua, las sagitarias no producirán normalmente inflorescencias y la secuencia de eventos morfológicos podrá modificarse por su dependencia a la profundidad.

De esta forma, es probable que el aumento de la profundidad del agua, la presencia de partículas suspendidas en la misma o el agrupamiento de varias plantas conduzca a que la irradiación se atenúe y por lo tanto disminuya la fotosíntesis. Las plantas expuestas a bajas irradiaciones serán menos capaces para elevar y expandir sus superficies foliares (sobre todo en periodos prolongados de inundación) y crecer para disminuir la atenuación de la fotosíntesis, dependiente de la profundidad (Wooten y Lamotte, 1978).

Sin embargo, en condiciones naturales la colonización e invasión así como el control del crecimiento e interacciones de estas plantas es complejo y puede involucrar otros factores como la temperatura, las características del agua y los sedimentos, las propias habilidades competitivas de las plantas y el efecto del hombre.

El análisis de las características físicas y químicas de los sedimentos de las zonas de estudio indica variaciones entre las localidades y especies. Sin embargo éstos se pueden caracterizar para las dos especies como sedimentos de textura migajón-arcillosa, pH ligeramente ácido, porcentaje de nitrógeno total intermedio, porcentaje de fósforo total alto y materia orgánica variable. En general las localidades de *S. latifolia* presentaron sedimentos con menor porcentaje de arcilla y mayor porcentaje de materia orgánica ($F_{1,34}=42.8$; $p=0.0001$), nitrógeno total ($F_{1,121}=5.67$; $p=0.01$) y fósforo total ($F_{1,118}=3.61$; $p=0.05$).

Dentro de las características del sustrato, la textura de los sedimentos de los sistemas dulceacuícolas influye de manera importante sobre la colonización, distribución y productividad de hidrófitas enraizadas (Sculthorpe, 1967 y Ramírez-García y Vázquez-Gutiérrez, 1989). En este

sentido, y aunque no se puede justificar una correlación significativa, en algunas poblaciones de las dos especies de estudio, se observó de manera general un patrón de relación entre el promedio de biomasa de los organismos y la textura de los sedimentos. En la localidad de San Pedro Tlaltizapan, cada especie obtuvo los valores promedio más bajos de biomasa por metro cuadrado y se presentaron los porcentajes más altos de arena y los más bajos de arcilla y limo. En contraposición, en las localidades restantes de ambas especies, se presentaron los organismos más desarrollados, los valores más altos de biomasa y los porcentajes más bajos de arena en sus sedimentos (Cuadros 4, 6, 12, 13).

De la misma forma, los valores más altos de materia orgánica, nitrógeno y fósforo total también se registraron en la localidad de San Pedro Tlaltizapan de cada especie. La composición química del material vegetal y animal parcialmente degradado en los sedimentos, su relativa resistencia a la degradación microbiana, así como las condiciones físicas del cuerpo de agua, conducen a acumular y mantener la materia orgánica en los sedimentos por largo tiempo (Margalef, 1983; Wetzel, 1981), lo que a su vez influye en la disponibilidad de nutrientes (Barko et al., 1991) y se refleja en una baja productividad de las macrófitas.

Con base en los valores obtenidos de la relación C/N y el análisis de clasificación por especie (Fig. 12 y 19) en donde se observó la formación de grupos de localidades bien definidos, se puede definir a los sedimentos con $C/N < 15$ de San Pedro Tlaltizapan para las dos especies y de San Pedro Tultepec y la Presa Ignacio Ramirez, para *S. macrophylla* y *S. latifolia* respectivamente, como sedimentos constituidos por cantidades relativamente altas de nitrógeno potencialmente disponible para las plantas superiores. Aparentemente se trata de localidades cuya materia orgánica proviene principalmente de los organismos que en el mismo cuerpo de agua se desarrollan y que se mantiene reducida por algún tiempo.

Valores de $C/N > 15$ como los que se presentan en Pasteje, Villa Victoria, Atlaconulco y La Gavia indican que podrían presentarse fenómenos de competencia por nitrógeno entre las plantas superiores y los microorganismos (Duchaufour, 1987; Navarro, 2000; Wetzel, 1981, 2001). La localización y las características físicas de los cuerpos de agua de estas localidades hacen suponer un origen aloctono de la materia orgánica de los sedimentos, producida en las zonas aledañas y probablemente arrastrada por erosión.

Durante la degradación de esta materia orgánica y dependiendo de la naturaleza química de las sustancias que la conformen, la actividad y demanda de nitrógeno de los microorganismos aumenta, por lo que el nitrógeno queda secuestrado en formas orgánicas estructurales de los microorganismos y temporalmente retirado al uso por las plantas (Duchaufour, 1987; Navarro,

2000; Wetzel, 1981, 2001). No obstante la baja disponibilidad de nitrógeno en las localidades mencionadas, las plantas no presentaron síntomas de deficiencia.

El fósforo y el nitrógeno son los dos elementos más frecuentemente implicados en la aceleración de la eutroficación por el hombre. En todas las localidades de estudio son notorios los altos porcentajes de fósforo total en los sedimentos, sin duda producto del contacto con aguas residuales y por el uso de abonos y herbicidas. La aceleración de los procesos de eutroficación produce un incremento en la biodisponibilidad de estos elementos y con ello, especies vegetales oportunistas y/o malezoides pueden intensificar su actividad y aumentar las interacciones competitivas con las especies nativas y menos hábiles, las cuales tienden a disminuir o desaparecer. De esta forma, el incremento en la biodisponibilidad de los elementos esenciales puede ocasionar una disminución de la biodiversidad de los cuerpos de agua (Wetzel, 2001) y con ella la pérdida de elementos de interés biológico y cultural.

CICLO DE VIDA

La representación diagramática y general del ciclo de vida de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia* muestra una clara estacionalidad en el desarrollo de los organismos (Fig. 20 y 27). Ambas especies son perennes, como la mayoría de los integrantes del género (Bogin, 1955; Arber, 1972; Lieu, 1979; Kaul, 1985 y Haynes y Holm-Nilsen, 1994), sus renuevos se desarrollan principalmente de tubérculos que han pasado el invierno y parte de la primavera como estructuras latentes.

La estacionalidad en la disponibilidad de agua y temperatura ambiental de las zonas de estudio, se reflejan en la producción de *S. macrophylla* y *S. latifolia*. Nuevas hojas aparecen solo de abril a noviembre cuando la temperatura y la precipitación aumentan. El máximo desarrollo de los organismos es variable con respecto a la localidad y la especie, pero en general se presentó entre septiembre y noviembre, con el desarrollo de estructuras de reproducción sexual y la formación de un complejo sistema de raíces y estolones.

En todas las localidades de estudio, excepto en San Pedro Tultepec, las plantas de *Sagittaria* produjeron flores y semillas, sin embargo, el reclutamiento de plantas por esta vía no se ha observado en ninguna de las poblaciones de estudio, aun cuando la evaluación hecha de producción de achenios y su viabilidad indican el gran potencial reproductivo de las dos especies (Cuadro 10). Las estimaciones realizadas en campo muestran que *S. latifolia* es la más prolífica de las dos sagitarias estudiadas (al menos 5291 ± 2500 achenios por planta). Una planta de *S. latifolia* puede producir casi el doble de cabezuelas femeninas y hasta ocho veces más achenios que una planta de *S. macrophylla*, mismos que son seis veces menos pesados. Sin embargo, *S. latifolia* es

ordinariamente una planta mucho más grande y produce más flores e inflorescencias durante un período más largo que *S. macrophylla* (Cuadro 10; Fig. 27).

Garbisch y McLininch (1994) citan que la repoblación de *S. latifolia* puede llevarse a cabo por semillas, siempre y cuando las plantas no se reproduzcan asexualmente. Quizá este sea el caso de las poblaciones de estudio, sin embargo, la ausencia de germinación de achenios en las poblaciones de *S. macrophylla* y *S. latifolia* también puede ser el resultado de la acción combinada de diversos factores que conducen a su inhibición. Entre estos podrían destacarse: 1) la baja habilidad competitiva de las plantas producidas por propágulos de origen sexual frente a las de origen asexual (Gordon, 1996), 2) la variación de factores ambientales y 3) la influencia de las actividades humanas.

En condiciones naturales, la germinación de semillas de *S. latifolia* depende de: 1) las fluctuaciones estacionales de la lámina de agua, 2) la influencia de ésta sobre la exposición de los achenios a la luz y 3) la acción conjugada de factores que promuevan la ruptura de la testa, tales como la actividad de microorganismos y fluctuaciones de temperatura (Gordon, 1996). Si bien los periodos de producción de achenios en los sitios de estudio, así como las características de dispersión hidrocórica (Arber, 1972; Gordon, 1996) y epizocórica (van der Pijl, 1972) de *S. macrophylla* y *S. latifolia* conducen a que los achenios pasen por una época invernal (y con ello de estratificación) y puedan ser transportados a distancia. Eventualmente llegan a la superficie de los sedimentos donde la irradiación solar puede reducirse e inhibir su germinación, ya sea por estar cubiertos por otras plantas, por hojarasca, aguas profundas o por la remoción de los sedimentos debido a las actividades humanas.

Las estructuras de perennación, esto es los tubérculos generados en la estación de crecimiento anterior (y rizomas latentes con yemas axilares, para el caso de algunos sitios de *S. macrophylla*) son determinantes para el restablecimiento de las poblaciones de ambas especies estudiadas, ya que les permite brotar posteriormente, enraizar y crecer en una nueva planta. Se ha observado que en ambientes acuáticos, la presencia de plantas vasculares por reclutamiento de origen sexual es un evento raro (Gopal y Sharma, 1983). Y si bien, el mecanismo de reproducción sexual constituye un medio para la dispersión a largas distancias y para mantenerse en el banco de semillas en estado latente; la propagación vegetativa, como la que se presenta en las dos especies de estudio, representa ciertas ventajas ecológicas: les permite la dispersión a corta distancia, la permanencia en el lugar y sobre todo, sobrevivir a fluctuaciones ambientales drásticas como el desecamiento y la disminución de la temperatura durante la época invernal. En plantas emergentes los adultos reclutados a partir de propágulos vegetativos, no solamente son competitivamente

superiores a las plantas provenientes de semillas germinadas, sino que son más tolerantes a la inundación (Spence, 1982; In: Gordon, 1996). De hecho, la reproducción sexual pese al efecto de recombinación genética que implica, en las plantas acuáticas tiende a reducirse simplemente porque la reproducción vegetativa y clonal son más eficientes (reducen el riesgo de mortalidad del geneto) en ambientes variables e impredecibles como los acuáticos (Wetzel 2001).

En la zona de estudio, las poblaciones generadas a partir de los propágulos asexuales aparentemente inician su desarrollo con el aumento de la temperatura y la precipitación, que activa el crecimiento de los renuevos con la formación de un eje alargado y ortotrópico del tubérculo, antes de la formación de un tallo pequeño y delgado (Lieu, 1979) sobre el cual se formaran las hojas. Probablemente la expansión de este eje depende de los requerimientos de cada especie y de las condiciones microclimáticas del medio, no obstante su longitud no fue diferente entre las dos especies estudiadas (Cuadro 11 y Fig. 26) y de cualquier forma favoreció que la yema apical sobresaliera del fango y encontrara condiciones adecuadas para formar una nueva planta a distancia del tubérculo.

Como en la mayoría de las alismatáceas (Charlton, 1968), después del establecimiento de las plantas generadas por propágulos sexuales o asexuales, inició el desarrollo de un complejo sistema de estolones que es responsable de la reproducción vegetativa. En los resultados se observa que durante 1998, independientemente de cuando iniciaron su desarrollo, las plantas de *S. latifolia* formaron en promedio 20% más estolones que las de *S. macrophylla* ($W_{1998}=358$; $p=0.006$), permitiendo un mayor y más rápido incremento en el número de módulos clonales para esta especie.

Esta forma de reproducción vegetativa es común e importante para la sobrevivencia de muchas plantas acuáticas perennes (Riemier, 1984) y particularmente en las especies de estudio se considera como una característica adaptativa de sus historia de vida (Les, 1988) ya que contribuye a la variación de la organización de la planta (Lieu, 1979), determina la habilidad de colonización clonal e incrementa el número de contactos interespecíficos (Harper, 1977) conduciendo a la exclusión de otras plantas (Adams y Godfrey, 1961) y al incremento en la producción de organismos, importante desde el punto de vista productivo y de repoblación.

En una estación de crecimiento, cada estolón formó una nueva planta o tubérculo a distancia de la planta madre, en ambas especies de estudio las plantas hijas (rametos) se produjeron a una distancia significativamente mayor que los tubérculos (Cuadro 11 y Fig. 26) probablemente como repuesta a las variaciones ambientales. No obstante, potencialmente cada uno de los estolones representa una nueva planta para la siguiente época de crecimiento. De esta forma, *S. macrophylla*

produjo en promedio 5.3 estolones por individuo en 1997 y potencialmente aportó 5.3 nuevas plantas para la siguiente época de crecimiento, en tanto que *S. latifolia* aportó en promedio 6.8 nuevas plantas por individuo. Desafortunadamente la rápida descomposición del estolón que une al rameto con la planta madre, hace difícil determinar su relación y menos aun su origen y destino.

En el fango, los tubérculos se forman por acumulación de almidón en los internodos subapicales de los estolones que no han desarrollado un rameto, probablemente en respuesta a una disminución de temperatura y fotoperiodo (Arber, 1972; Salisbury y Ross, 1992). Al final de la estación de crecimiento, los tubérculos de *S. macrophylla* se produjeron a 20 cm de distancia promedio, mientras que en *S. latifolia* se desarrollaron a una distancia significativamente superior (Cuadro 11; Fig. 26) conduciendo a una mayor expansión y distribución de los módulos para la siguiente temporada de crecimiento.

Al tiempo que se forman los tubérculos, las plantas comienzan a morir, de tal forma que al final de la estación de crecimiento las poblaciones de sagitarias regresan al estado latente y se mantienen así hasta la siguiente temporada.

De esta forma, ambas especies de sagitaria presentan crecimiento completamente estacional. Los resultados sugieren que *S. latifolia* es más eficiente para desarrollarse y para reproducirse sexual y asexualmente, resultando en una especie más competitiva.

VARIACIÓN DE BIOMASA

Las poblaciones de *S. macrophylla* y *S. latifolia* mostraron fluctuaciones estacionales en la densidad de organismos y en la biomasa total por metro cuadrado, de valores bajos en primavera a máximos en otoño. Muestran una curva de crecimiento del tipo "E" de lo que Wetzel (2001) cita como un tipo de curva de crecimiento donde las macrófitas presentan un crecimiento anual con pérdida apreciable de biomasa antes de alcanzar la máxima estacional.

Considerando a las dos especies, el pico de biomasa sobre los sedimentos varía en magnitud de 25.92 gr de peso seco/m² para *S. latifolia* en San Pedro Tlaltizapan a un valor de 148.13 gr de peso seco/m² para la misma especie pero en Villa Victoria. El intervalo de biomasa bajo los sedimentos para *S. latifolia* se presentó entre 29 y 71 gr de peso seco/m² y para el caso de *S. macrophylla* fue entre 44 y 91 gr de peso seco/m². Estas variaciones en la biomasa de los organismos pueden reflejar condiciones ecológicas y genéticas diferentes.

Como ya se ha mencionado anteriormente, algunos autores (Pitcher, 1981; In: Clark y Clay 1985 y Hroudova, 1980; In: Clark y Clay, 1985) han citado variaciones del crecimiento y

productividad de las sagitarias en función del nivel de agua. En el análisis general para *S. macrophylla* la relación entre la profundidad del agua y biomasa total o sobre los sedimentos fue relativamente débil pero positiva (Cuadro 12, Fig. 31). Si bien esta especie tolera niveles de agua superiores a los 70 cm de profundidad (Cuadro 4 ;Fig. 9), al rededor de los 40cm de profundidad se presentaron los organismos con más biomasa (Fig. 31) reflejando aparentemente un nivel de agua óptimo para el crecimiento de estas plantas.

Las variaciones en la densidad de plantas de *S. macrophylla* también pueden explicarse parcialmente (Cuadro 4, Fig. 9) por las variaciones del nivel de agua y al mismo tiempo pueden explicar las variaciones de biomasa de los organismos, aparentemente densidades que superen 50 plantas/m² (Fig. 31) pueden provocar una disminución de biomasa en los organismos, probablemente por efectos de competencia.

Ciertamente, en el análisis general no se encontró una relación estadísticamente significativa entre el nivel de agua y la biomasa de *S. latifolia*, no obstante la densidad disminuyó con relación a los incrementos del nivel del agua (Fig. 17) y como consecuencia pudo presentarse un decremento de la biomasa total y de la biomasa sobre los sedimentos. Los valores más altos de biomasa se presentaron cuando había entre 30 y 40 plantas/m² (Fig. 34), que aparentemente se desarrollaron en niveles de agua inferiores a 40 cm de profundidad (Fig. 17).

De esta forma, los datos sugieren un efecto directo del nivel de agua en y durante el desarrollo de las plantas de ambas especies. Es probable que esta relación inicie desde los primeros estadios de desarrollo y tienda a ser negativa después de rebasar determinado nivel de agua. En los sitios donde los sedimentos estuvieron más tiempo inundados y el patrón del nivel de agua fue más constante (Pasteje para *S. macrophylla* y Villa Victoria para *S. latifolia*) la biomasa sobre y bajo los sedimentos fue mayor y en ambos casos la biomasa de los tubérculos fue por lo menos 30% superior, comparada con los otros sitios de cada especie, reflejando posiblemente condiciones ambientales más favorables. Mientras que en las localidades donde los sedimentos estuvieron menos tiempo inundados y presentaron un drástico y repentino aumento en el nivel de agua (San Pedro Tultepec y San Pedro Talaltizapan, respectivamente), el promedio de biomasa total y sobre los sedimentos fue menor, probablemente resultado de condiciones ambientales más estresantes. Al respecto Kaul (1991) cita que a diferencia de los ambientes secos o muy inundados, los sitios que presentan suelos saturados permanentemente y niveles bajos de agua, permiten el establecimiento más temprano y el desarrollo de organismos con hojas más grandes y con mayor capacidad reproductiva.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA 79

En plantas acuáticas emergentes una proporción importante de biomasa total se presenta en el extenso sistema de raíces, estolones y rizomas (Wetzel, 2001), en las poblaciones de estudio de *S. macrophylla* el porcentaje de biomasa bajo los sedimentos supera el 40% de la biomasa total, mientras que en *S. latifolia* en todos los casos se presentó por arriba del 30%. Sin duda, más biomasa sobre los sedimentos resulta en más biomasa o materia para el subsecuente desarrollo y almacenamiento bajo los sedimentos, consecuentemente la cantidad y calidad de los tubérculos producidos puede determinar el establecimiento, sobrevivencia y crecimiento de nuevas plantas en la siguiente temporada (Garbisch y McLininch, 1994) y dar ciertas ventajas competitivas.

ETNOBOTÁNICA

El uso de las sagitarias a nivel mundial es diverso, ya sea como ornamentales en acuarios, como abono verde de arrozales, como oxigenadores de pozas o como fuente de alimento (Rogers, 1983). Los tubérculos de varias especies producidos de manera abundante al final de la estación de crecimiento son comúnmente comparados y preparados como las papas comestibles ordinarias.

En México, el uso de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia* se ha registrado desde la época prehispánica en el códice Florentino (Cuadro 14). Urbina (1903) ya ha citado que la representación y uso de "Acuitlacpalli" en esta obra corresponde a *S. macrophylla* (Fig. 1; Zepeda y Lot, 1999); y de acuerdo con las interpretaciones históricas del presente trabajo, la descripción de "Cacatextli" que aparece en el mismo códice puede corresponder a las "papas de agua" o tubérculos de la *S. latifolia*. Actualmente las hojas de ambas especies son usadas indirectamente para forraje. Los tubérculos de *S. macrophylla* no son consumidos por los pobladores o solo de forma ocasional y se usan de manera indirecta como forraje. En cambio, los tubérculos de *S. latifolia* anteriormente se consumían y hasta la actualidad son los más apreciados como alimento por los pobladores de la región.

Van der Loo (1987) menciona que ciertas unidades temáticas (conjunto de elementos y conceptos) sobreviven o se pierden a través del tiempo. La persistencia de estas unidades temáticas a través del tiempo en el mismo contexto cultural establece su "continuidad", en tanto que la "disyunción" indica que las unidades temáticas no persisten con un mismo sentido a través de la historia. Usando las especies como unidades temáticas y las características ecológicas y culturales para definir el contexto, se encontró que solo *Sagittaria macrophylla* carece de continuidad.

"Acuitlacpalli" del siglo 16th es actualmente conocida como "apaclol" o "papa de agua criolla" y el uso antiguo de sus hojas en la comida de los "Tlatoque" revela su importancia (Zepeda

y Lot, 1999). En la ciénega del río Lerma y en lo que queda del área lacustre de la cuenca de México (región de Zumpango) esta especie continua creciendo, reflejando la similitud de hábitats a los ocurridos en el siglo 16th. Sin embargo, su uso alimentario no persiste, quizá por el advenimiento de cultivos agrícolas más productivos y sus malezas asociadas.

La “papa de agua” aparentemente en el pasado era conocida como “Cacatextli”. El significado de la palabra “Cacatextli” (del nahuatl *cacatl*= paja, hierba y *textli*= harina) y la información escrita en el códice Florentino permiten asociar su uso antiguo como alimento para ganado, su consumo como fuente de carbohidratos y su hábitat (“...atlan in mochioa, coqujtila motataca” (Sahagun, 1926) “Crece en el agua y es desenterrada del fango”). Las hojas aun son usadas junto con otras hierbas como forraje y aparentemente los tubérculos continúan siendo preparados y consumidos en la misma forma. En ninguna obra no se cita la comercialización de los tubérculos o “papas de agua” como se hace en la actualidad, lo cual podría considerarse como una disyunción dado el contexto socioeconómico diferente. Sin embargo, es muy probable que se comercializaran junto con otras plantas acuáticas como actualmente se hace en los mercados de la ciudad de Toluca y en los “tianguis” semanales de los pueblos aledaños.

El conocimiento que los recolectores y algunos vendedores de la “papa de agua” tienen actualmente de las plantas y organismos que comercializan sigue siendo importante y debe ser rescatado para futuros programas de manejo y aprovechamiento de la especie. Determinados informantes hablaron de los ciclos naturales de crecimiento y muerte de las plantas que venden y particularmente de las plantas de sagitaria, reconocieron la mejor época para recolectar las “papas de agua” (noviembre a mayo), así como las condiciones del hábitat, el estado silvestre de las plantas, las plantas asociadas y las posibles causas de la disminución de sus poblaciones. Por ejemplo, las personas que sabían donde crecen las plantas, así como cuando y donde se producen las “papas de agua” fueron precisas y mencionaron que por planta es posible obtener de 3 a 5 papas, cada una en la punta de las “raíces”. De acuerdo con las estimaciones de campo se calculó que en promedio una planta puede producir 4.5 ± 1.6 tubérculos por estación, lo que coincide con la estimación “a priori” de los recolectores y vendedores.

Es probable que al menos para el caso de *S. latifolia* la manipulación que los recolectores han hecho y hacen de sus estructuras, pueda conducir a la modificación de sus historias de vida. La actividad de “cuidado de las plantas” y “recolecta de tubérculos” observada y citada por algunos informantes podría estar transformándose en una actividad de “cultivo” y “cosecha” y al mismo tiempo influir directamente en la evolución de la planta. Quizá esté sea un factor que directa o indirectamente influye por un lado, en la ausencia de rizomas y propágulos de origen sexual, y por

otro, en el repoblamiento por tubérculos. Durante la extracción de los tubérculos ("papas de agua") los recolectores remueven las capas de sedimento, provocando que los aquenios acumulados en la superficie sean enterrados o trasladados a zonas inferiores, disminuyendo sus posibilidades de germinación. Al mismo tiempo los tubérculos que inicialmente estaban enterrados y que escapan de los recolectores pueden ser llevados a zonas más superficiales del sedimento y con ello favorecer su dispersión y rebrote.

De manera característica, los recolectores, algunos vendedores y consumidores diferencian las plantas de las que se extraen las "papas de agua" de otras plantas acuáticas, como las de *S. macrophylla* (a la que denominaron como "papa criolla o del apaclol") e incluso de las "papas de agua" de la misma especie pero de diferentes localidades.

En la zona de estudio se presentan dos regiones importantes de crecimiento de plantas de *S. latifolia* (Fig. 2) y en cada región se recolecta un tipo especial de "papas de agua" (Fig. 31). La presencia en los mercados de estas "papas de agua" fenotípicamente diferentes fue perfectamente conocida por los vendedores y algunos consumidores quienes citaron algunas diferencias en las condiciones de crecimiento e incluso en el sabor. El análisis sobre la composición química de estos dos tipos de tubérculos indica que las "papas de agua" de la zona de Villa Victoria son ligeramente superiores (Cuadro 18) en el porcentaje de proteína, lípidos, celulosa y lignina que las de San Pedro Tlaltizapan.

Las diferencias ambientales entre Villa Victoria y San Pedro Tlaltizapan son notorias. En Villa Victoria los sedimentos están permanentemente con una pequeña capa de agua, condición que junto con la disponibilidad de nutrientes puede ser más favorable para el crecimiento de las plantas de *S. latifolia*, manifestado en una mayor biomasa total y biomasa sobre los sedimentos. Las características de los sedimentos de textura más fina de la localidad de Villa Victoria probablemente influyen en las características fenotípicas de los tubérculos y en una menor densidad y producción de estolones por planta, aunque con tubérculos de biomasa superior como consecuencia de la cantidad de biomasa sobre los sedimentos. De esta forma los dos fenotipos de las "papas de agua" pueden reflejar posibles adaptaciones edáficas o la presencia de 2 ecotipos (Wooten, 1986a y b). Sin embargo, es necesario analizar más cuidadosamente las diferencias detectadas en los tubérculos y la influencia de los factores ambientales o incluso de las actividades humanas.

Desde un punto de vista etnobotánico y económico la venta de las "papas de agua" representa un ingreso económico importante comparada con la venta de otras especies vegetales comestibles. Vieyra (1999) estimó que el valor económico del nabo (*Brassica rapa*) representa un ingreso de \$1380.4 por 1074.8 Kg (\$1.2 por Kg) cosechados de mayo a septiembre de 1995. Para la

misma cantidad de “papas de agua” (es decir 1074.8 Kg) y de acuerdo con su valor económico estimado (de \$7.00 a 10.00 por Kg de “papas de agua”) se obtuvo que el valor económico de las “papas de agua” fue 5.5 veces mayor al valor económico estimado para el nabo, contribuyendo substancialmente a la economía del campesino.

Es probable que anteriormente el consumo de estas estructuras fuera más conocido y requerido, como lo mencionaron algunos informantes, sin embargo, actualmente el uso de la “papa de agua” es muy local y está restringido a la porción del curso alto y medio de la Cuenca Alta del río Lerma, en las zonas alejadas a estas áreas no se ha detectado el crecimiento de los organismos de *S. latifolia* y las personas no conocen y menos aun consumen las “papas de agua”.

La pérdida de hábitats, de diversidad biótica y cultural en la zona cada vez se agrava más. Cuando los grandes lagos de Chiconahuapan, Chimaliapan y Chignahuapan comenzaron a secarse hace más de cincuenta años, cuando inicio la construcción del acueducto al Distrito Federal, el estilo de vida de quienes dependían de ellos se modificó drásticamente.

Los estudios antropológicos que se han realizado en la zona han permitido establecer la importancia social y económica de la ciénega, Por la tradición oral se sabe que entre finales del siglo antepasado (muy probablemente antes) y hasta la desaparición del deposito acuático en 1970, las actividades lacustres de caza, pesca y recolección de fauna y flora en el alto Lerma se practicaban de forma generalizada y representaban una fuente importante de alimento, así como un medio de subsistencia (Albores, 1995). Los abuelos del poblado de San Pedro Tultepec comentan que hace más de treinta años Tultepec era una isla en la laguna de Chimaliapan y que gracias al respeto que se tenía sobre la laguna y *La Lanchona* (madre de todas las especies acuáticas que habitan en la laguna y descrita como la sirena de belleza inigualable que cuando levanta sus brazos la vida animal y vegetal brotan debajo de ellos) en tiempos remotos la laguna “tenía y daba en abundancia todo lo que necesitaba la comunidad para subsistir”, lo que no se podía obtener con la pesca, la caza de patos, el cultivo o la recolección de plantas y ranas lo conseguían mediante el trueque con otras comunidades vecinas.

En este sentido, el uso de especies vegetales y animales era muy apreciado por las personas que vivían en esta zona lacustre. El “tule” (*Scirpus validus*) tuvo gran importancia en Tultepec (del nahuatl *tulli*= tule y *tepetl*= cerro) ya que era el principal material para la construcción de casas, tejido de adornos para fiestas religiosas, producción de juguetes, aventadores, sillas, tapetes, canastas y el tejido de algunas vestimentas que se podían vender o trocar. Su uso actualmente persiste, sin embargo es muy reducido debido a que la gente dedicada al arte del tule fue forzada a

dedicarse al arte de la madera, ya que la laguna se ha secado paulatinamente y con ella se ha perdido el uso del tule y de otras especies acuáticas.

En resumen, la distribución de *S. macrophylla* y *S. latifolia* en la Cuenca Alta del río Lerma ha disminuido y como consecuencia su uso. Factores como la estacionalidad y disponibilidad del agua, las características de los sedimentos e incluso las actividades humanas pueden determinar el crecimiento y desarrollo de estos organismos, de forma que deben considerarse para establecer programas de protección y aprovechamiento de las especies y sus hábitats, así como para estimar propiamente el potencial económico de *S. latifolia*, sin olvidar su importancia cultural.

LITERATURA CITADA

- Adams, P. y R.K. Godfrey. 1961. Observations on the *Sagittaria subulata* complex. *Rhodora*. 63:247-266.
- Albores, Z. Beatriz.A. 1995. Tules y sirenas. El impacto ecol3gico y cultural de la industrializaci3n en el alto Lerma. El colegio Mexiquense, Gobierno del Estado de M3xico. Secretaria de ecologia.478 pp.
- Alexiades, M.M. 1996. Selected guide lines for etnobotanical research. A field manual.. New York Botanical Garden. New York. 306 pp.
- Anderson, R.R. 1969. Temperature and rooted aquatic plants. *Chesapeake Sci.* 10:157-164. In: Pip, E. 1989. Water temperature and freshwater macrophyte distribution. *Aquat. Bot.* 34:367-373.
- An3nimo. 1981. S3ntesis geogr3fica del Estado de M3xico. SPP. M3xico.
- An3nimo. 1993. Atlas ecol3gico de la Cuenca del r3o Lerma. Tomo I. Comisi3n Coordinadora para la Recuperaci3n ecol3gica de la Cuenca del r3o Lerma. Gobierno Del Estado de M3xico. 414 pp.
- Arber, A. 1972. Water plants. Verlag Von J. Cramer. Germany 436 pp.
- Barko, J.W. y R.M. Smart. 1981. Comparative influences of light and temperature on the growth and metabolism of selected sumersed freshwater macrophytes. *Ecol. Monogr.* 51:219-235.
- Barko, J.W., D.G. Hardin y M.S. Matthews. 1982. Growth and morphology of sumersed freshwater macrophytes in relation to light and temperature. *Can. J. Bot.* 60:877-887.
- Barko, J.W. D. Gunnison y S.R. Carpenter. 1991. Sediment interaction with submerged macrophyte growth and community dynamics. *Aquat. Bot.* 41:1-65.
- Beal, E.O., J.W. Wooten y R.B. Kaul. 1982. Review of the *Sagittaria engelmanniana* complex (Alismataceae) with enviromental correlations. *Sys. Bot.* 7:417-432.
- Black. C.A. 1965. Methods of soil analysis. Ed. Agronomy No. 9, Pat. I. American Society of Agronomy. Madison. Wi.
- Bogin, C. 1955. Revision of the genus *Sagittaria* (Alismataceae). *Mem. N. Y. Bot. Gard.* (2): 179-233.
- Boyd, C.E. 1972. A bibliography of interest in the utilization of vascular aquatic plants. *Econ. Bot.* 74-80.
- Clark, W.R. y R.T. Clay. 1985. Standing crop of *Sagittaria* in the Upper Mississippi River. *Can. J. Bot.* 63:1453-1457.
- Clarke, C.B. 1977. Edible and useful plants of California. Univ. Calif. Press. Berkeley. USA. 280 pp.
- Comisi3n Nacional del Agua (CNA). 1991. S3ntesis fisiogr3fica de la Cuenca del r3o Lerma, Estado de M3xico. Gerencia del Estado de M3xico. Subdelegaci3n de Administraci3n del Agua.
- Conzatti, C. 1981. Flora taxon3mica mexicana. Soc. Mexicana de Historia Natural. Vol. I Y II, M3xico. D.F.
- Chapman, H.D. y P.F. Pratt. 1973. M3todos de an3lisis para suelos, plantas y agua. Trillas. M3xico. 155 pp.
- Charlton, W.A. 1968. Studies in the Alismataceae. I. Developmental morphology of *Echinodorus tenellus*. *Can. J. Bot.* 46:1345-1360.
- Day, P.R. 1965. Practicle fractionation and particle sile analysis. In: Black. C.A. 1965. Methods of soil analysis. Ed. Agronomy No. 9, Pat.I. American Society of Agronomy. Madison. Wi.
- De la Cruz, M. 1964. Libellus de medicinalibus indorum herbis, manuscrito Azteca de 1552, Seg3n traducci3n latina de Juan Badiano. Versi3n espa3ola con estudios y comentarios de diversos autores. Instituto del seguro Social. M3xico.
- Delegaci3n Federal de Pesca del Estado de M3xico.1990. Inventario estatal de cuerpos de agua. 5 pp.
- Duchaufour, Ph. 1987. Manual de edafologia. Masson. S.A. Espa3a. 214 pp.
- Eckblad, J.W., N.L. Peterson, K. Ostlie y A. Tempte. 1977. The morphometry, benthos And sedimentation rates of a floodplaint lake Pool Nine of the Mississippi River. *Am. Mild. Nat.* 97:433-443.
- Garbisch, E. Y S. McLininch. 1994 The establishment of *Sagittaria latifolia* from large and small tubers as function of water depth. *Wet. Jour.* 6(3):19-21.
- Good, R.E., D.F. Whigham y R.L. Simpson, Edts. 1978. Freshwater wetlands: Ecological proces and management potential. ACADEMIC PRESS, N.Y. 378 pp.
- Gopal, B. y K.P. Sharma. 1983. Light regulated seed germination in *Typha angustata* Bory et Chaub. *Aquat. Bot.* :377-384.
- Gordon, E. 1996. Tipo de dispersi3n, germinaci3n y crecimiento de plantulas de *Sagittaria latifolia* (Alismataceae). *Fragm. Flor. Geobot.* 41(2): 657-668.
- Gosselink, J.G. y R.E. Turner. 1978. The role of hydrology in freshwater wetland Ecosystems. 63-78. In: Good, R.E., D.F. Whigham y R.L. Simpson, Edts. 1978. Freshwater wetlands: ecological proces and management potential. ACADEMIC PRESS, N.Y.

- Gragson, T.L. 1997. The use of underground plant organs and its relation to habitat selection among the Pumé Indians of Venezuela. *Econ. Bot.* 51(4): 377-384.
- Haag, R.W. 1979. The ecological significance of dormancy in some rooted aquatic plants. *J.Ecol.* 67:727-738.
- Harper, J.L. 1977. Population biology of plants. ACADEMIC PRESS. New York. New York. 892 pp.
- Haynes, R.R. y L.B. Holm-Nielsen. 1994. The Alismataceae. *Flora Neotropica*. Mon.64. 1-112.
- Hernandez, F. 1959 *Historia natural de las plantas de Nueva España*. Obras completas Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Hroudova, Z. 1980. Occurrence of *Sagittaria sagittifolia* at different water depths. *Fot. Geobot. Phytotaxon.* 15:415-419. In: Clark, W.R. y R.T. Clay. 1985. Standing crop of *Sagittaria* in the Upper Mississippi River. *Can. J. Bot.* 63:1453-1457
- Hubert, W.A., D.D. McLean, J.G. Nickum, P.E. Niemeyer, D.L. Stang y R.R. Mack. 1983. Biological and recreational aspects of water level management of Clear Lake. Iowa. Technical completion report, Iowa State Water Resources Research Institute, Iowa State University, Ames, IA. In: Clark, W.R. y R.T. Clay. 1985. Standing crop of *Sagittaria* in the Upper Mississippi River. *Can. J. Bot.* 63: 1453-1457.
- Hutchinson, G.E. 1975. A treatise on Limnology. Vol.III Limnological Botany. U.S.A. Wiley-Interscience Publication. 660 pp.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 1993. Inventario nacional de cuerpos de agua y vegetación acuática. 1 ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. D.F. 85 pp.
- Jackson, B.R. 1982. Análisis químico de suelos. Omega. Barcelona, España. 282-304 pp.
- Kaul, R.B. 1985. Reproductive phenology and biology in annual and perennial Alismataceae. *Aquat. Bot.* 22:153-164.
- Kaul, R.B. 1991. Foliar and reproductive responses of *Sagittaria calycina* and *Sagittaria brevisrostris* (Alismataceae) to varying natural conditions. *Aquat. Bot.* 40:47-59.
- Kays, S.J. y J.C.S. Dias. 1995. Common names of commercially cultivated vegetables of the world in 15 languages. *Econ. Bot.* 49(2): 115-152.
- Krebs, C.J. 1985. *Ecología*. 2ª ed. HARLA. México D.F. 753 pp.
- Les, H.D. 1988. Breeding systems. Population structure and evolution in hydrophyllous angiosperms. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 75: 819-835.
- Lieffers, V.J. y J.M. Shay. 1982. Seasonal growth and standing crop of *Scirpus maritimus* var. *Paludosus* in Saskatchewan. *Can. J. Bot.* 60:117-125.
- Lieu, S.M. 1979. Growth form in the Alismatales II. Two rhizomatous species *Sagittaria lanceolata* and *Butomus umbellatus*. *Can. J. Bot.* 57:2353-2373.
- Lot, A. y A. Novelo. 1988. Vegetación y flora acuática del Lago de Patzcuaro, Michoacán, México. *The Southwestern Naturalist*. 33(2): 167-175.
- Lot, A. y M. Miranda-Arce. 1983. Notas sobre la interpretación botánica de plantas acuáticas representadas en Códices mexicanos. 85-91 pp. In: Peterson J.F. 44 Congreso Internacional de Americanistas, Manchester 1982: Imágenes de flora y fauna de Culturas Precolombinas: Iconografía y Función. Bar. International Series 171.
- Lot, A., A. Novelo y P. Ramírez-García. 1986. Listado florístico de México V. Angiospermas acuáticas mexicanas I. Instituto de Biología. UNAM. 60 pp.
- Lot, A., A. Novelo y P. Ramírez-García. 1998. Diversidad de la flora acuática mexicana. 563-578 pp. In: Ramamoorthy T.P., R. Bye., A. Lot. y J. Fa. Comp. 1998. Diversidad biológica de México, orígenes y distribución. Instituto de Biología. UNAM. 792 pp.
- Lot, A., A. Novelo, M. Olvera y P. Ramírez-García. 1999. Catálogo de angiospermas acuáticas de México: hidrófitas estrictas emergentes, sumergidas y flotantes. Cuadernos 33, Instituto de Biología, UNAM. 161 pp.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona, España. 1010 pp.
- Martínez, M. y E. Matuda. 1979. *Flora del Estado de México*. Tomo III. Biblioteca Enciclopédica del Estado de México. México. 526 pp.
- McKee, K. y I.A. Mendelssohn. 1989. Response of a freshwater marsh plant community to increased salinity and increased water level. *Aquat. Bot.* 34:301-316.
- Miranda-Arce, M. 1980. Plantas acuáticas útiles del Valle de México. Tesis prof. Fac. Ciencias, UNAM. México. 88 pp.
- Misra, R.D. 1938. Edaphic factors in the distribution of aquatic plants in the English lakes. *J.Ecol.* 26:411-451
- Moyle, J.B. 1945. Some chemical factors influencing the distribution of aquatic plants in Minnesota. *Amer. J. Bot.* 32:402-420

- Muller, H.G. y G. Tobin. 1980. Nutrition and food processing. Croom Helm, London. 302 pp.
- Murphy, J. y J.P. Riley. 1962. A modified single solution methods for the determination of phosphate in natural waters. *Anal.Chim. Acta.* 27:31-36.
- Navarro, G. 2000. Qu6mica Agr6cola. Mundi -Prensa. Espa1a. 488pp.
- Neumann, A., R. Hollaway y C. Busby. 1989. Determination of prehistoric use of Arrowhead (*Sagittaria*: Alismataceae) in the Great Basin of North America by scanning electron microscopy. *Econ. Bot.* 43(3): 287-296.
- Newberry, G. 1991. Factors affecting the survival of the rare plant, *Sagittaria fasciculata* E.O. Beal. (Alismataceae). *Castanea* 56(1): 59-64.
- Novelo, A. y A. Lot. 1990. Alismataceae. In: Rzedowski, J. Y G. C. de Rzedowski. 1990. Flora Fanerog6mica del Valle de M6xico. Vol. III. Instituto de Ecologia. M6xico. 494 pp.
- Olmsted, I. 1993. Wetlands of Mexico. In: Whigham, D.F., D. Dykyjova y S. Hejny. 1989. Wetlands of the World I. Inventory, ecology and management. KLUWER Academic Publishers. Dordrecht. Netherlands. 768 pp.
- Pearsal, W.H. 1917. The aquatic and marsh vegetation of esthwaite water. *J. Ecol.* 5:108-202.
- Pearsal, W.H. 1918. The aquatic and marsh vegetation of esthwaite waters. *J. Ecol.* 6:53-74.
- Pearsal, W.H. 1920. The aquatic vegetation of the English Lakes. *J. Ecol.* 8:163-199.
- Pi6nka, E.R. 1982. Ecolog6a evolutiva. OMEGA. Barcelona, Espa1a. 365 pp.
- Pilcher, B.K. 1981. Tank culture of delta duck potato. Tesis, Louisiana State University, Baton Rouge, LA. In: Clark, W.R. y R.T. Clay. 1985. Standing crop of *Sagittaria* in the Upper Mississippi River. *Can. J. Bot.* 63:1453-1457
- Pip, E. 1989. Water temperature and freshwater macrophyte distribution. *Aquat. Bot.* 34:367-373.
- Porta, C.J., M. Lopez- Acevedo R. y C. Roquero de L. 1993. Edafolog6a. Mundi-Prensa. Madrid. 807 pp.
- Porterfield, W.M. 1940. The arrowhead as a food among the Chinese. *J. New. Y. Bot. Gard.* 41:45-47
- R6mirez-Garc6a, P. Y F. V6zquez-Guti6rrez. 1989. Contribuciones al estudio limnobot6nico de la zona litoral de seis lagos cr6ter del estado de Puebla. *An. Inst. Cienc. Del Mar y limnol. Univ. Nal. Aut3n. M6xico.* 16 (1):1-16
- R6mirez-Cant3, D. y T. Herrera. 1954. Contribuci3n al conocimiento de la vegetaci3n del Lerma y sus Alrededores. *An. Inst. Biol. Mex.* 25: 65-95.
- Ramos-Ventura, L.J. 2000. Estudio de la flora y la vegetaci3n acu6ticas vasculares de la Cuenca Alta del r6o Lerma, en el Estado de M6xico. Tesis de Maestr6a. Fac. Ciencias. UNAM. M6xico. 146 pp.
- Reiche, C. 1926. Flora excursionaria en el Valle central de M6xico. Secretaria de Educaci3n P6blica. M6xico. D.F.
- Riemier, D.N. 1984. Introduction to freshwater vegetation. AVI. Publishing Com. Inc. USA. 207 pp.
- Rioja, E. y T. Herrera. 1951. Ensayo ecol3gico sobre el limn6bio de Lerma y sus Alrededores. *An. Inst. Bio. Mex.* XXII(2): 365-351.
- Rogers, G.K. 1983. The genera of Alismataceae in the southeastern United States. *J. Arnold Arboretum* 64: 383-420.
- Romero, Q. J. 1978. Santiago Tianguistenco. Gob. Del Estado de M6xico.
- Romero, R.S. y E.C. Rojas C. 1991. Estudio flor6stico de la regi3n de Huehuetoca. *Acta Bot. Mex.* 14:33-57.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetaci3n de M6xico. LIMUSA. M6xico. 432 pp.
- Sahagun, B. 1926. C3dice Florentino. Talleres gr6ficos del Museo Nacional de Antropolog6a Historia y Etnograf6a, M6xico.
- Sahagun, B. 1977. Historia General de las Cosas de la Nueva Espa1a. PORRUA. M6xico. 3:289-332.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1992. Fisiolog6a Vegetal. Grupo editorial IBEROAMERICA. M6xico. D.F. 759 pp.
- S6nchez, S.O. 1980 6^a ed. Flora del Valle de M6xico. HERRERO. M6xico. D.F. 519 pp.
- Sant, M.Y. 1964. Anatomy of Alismataceae. *J. Linn. Soc. London. Bot.* 59:1-42
- Sharma, S.C. , Y.N. Shukula y J.S. Tandon. 1975. Alkaloids and terpenoids of *Anastrocladus heyneanus*, *Sagittaria sagittifolia*, *Lyonia formosa* and *Hedychium spicatum*. *Phytochemistry*. 14:578-579: in: Rogers G.K. 1983. The genera of Alismataceae in the southeastern United States. *J. Arnold Arboretum* 64: 383-420.
- Sculphorpe, C.D. 1967. The biology of aquatic vascular plants. Edward Arnold, London. 610 pp.
- Sensarma Priyadarsan y Ashoke K. Ghosh. 1995. Ethnobotany and phytoanthropology. Pag 69. In: Schultes, R.E. y S. von Reis. 1995. Ethobotany. Dioscorides Press. Portland, Oregon. 414 pp.
- Smith, J.G. 1894. A revision of the North American species of *Sagittaria* and *Lophotocarpus*. *Missouri Bot.*

- Gard. Rep. 6:1-37.
- Spence, D.H.N. 1967. Factors controlling the distribution of freshwater macrophytes with particular reference to the loch of Scotland. *J. Ecol.* 55:147-170.
- Spence, D.H.N. 1982. The zonation of plants in freshwater lakes. *Adv. Ecol. Res.* 12:37-125. In: Gordon, E. 1996. Tipo de dispersión, germinación y crecimiento de plantulas de *Sagittaria latifolia* (Alismataceae). *Fragm. Flor. Geobot.* 41(2):657-668
- Symoens, J.J. 1988. *Vegetation of inland waters*. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. 385 pp.
- Teltscherova, L. y S. Hejn'yi. 1973. The germination of some *Potamogeton* species from south Bohemian fishponds. *Folia. Geobot. Phytotaxon.* 8: 231-239. In: Pip, E. 1989. Water temperature and freshwater macrophyte distribution. *Aquat. Bot.* 34:367-373.
- Titus, J.E. y M.S. Adams. 1979. Coexistence and the comparative lighth relation of the submersed macrophytes *Myriophyllum spicatum* L. And *Vallisneria americana* Michx. *Oecologia.* 40:273-286. In: Pip, E. 1989. Water temperature and freshwater macrophyte distribution. *Aquat. Bot.* 34:367-373.
- Tivy, J. 1971. *Biogeography*. Edimburgo. Oliver and Boyd. 393 pp.
- Turner, J. 1993. *Biogeography*. 3ª ed. U.S.A. Logaman Scientific y Technical. 452 pp.
- Turner, C.E. 1981. Reproductive biology of *Sagittaria montevidensis* Cham. Y Schlecht. ssp. *calicina* (Engelm.) Bogin (Alismataceae). Tesis. Univ. Of California, Berkeley. In: Kaul, R.B. 1985. Reproductive phenology and biology in annual and perennial Alismataceae. *Aquat. Bot.* 22:153-164.
- Urbina. T.M. 1903. Plantas comestibles de los antiguos mexicanos. *An. Mus. Nac. Méx. Segunda Epoca.* Tomo 1:503-591
- Van der Brink, F.W.B., G. Van der Velde, W.W. Bosmand y H. Coops. 1995. Effects of substrate parameters on growth responses of eight heliophyte species in relation to flooding. *Aquat. Bot.* 50:79-97.
- Van der Loo. P.L. 1987. Códices, costumbres y continuidad. Un estudio de la religión mesoamericana. *Indiaanse Studies* 2. Leiden, Nederland.
- Van der Pijl, L. 1972. *Principles of dispersal in higher plants*. Springer-Verlag. New York. 161 pp.
- Van der Valk, A.G. y C.B. Davis. 1976. Changes in the composition, structure and production of plant Communities along a perturbed coenocline. *Vegetatio.* 32:87-96.
- Van Wijk, R.J. y H.J.A.J. Trompenaars. 1985. On the germination of turions and the life cycle of *Potamogeton trichoides* Cham. et Schld. *Aquat. Bot.* 22:165-172.
- Vescio, L.S. 1979. Germination characteristics of two *Sagittaria* species. Tesis. Univ. of Nebraska. Lincoln. In: Kaul, R.B. 1985. Reproductive phenology and biology in Annual and perennial Alismataceae. *Aquat. Bot.* 22:153-164.
- Vieyra, O.L. 1999. Descripción y cuantificación del valor económico de la vegetación arvense de San Bartolo del Llano, Ixtlahuaca, estado de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias U.A.E.Mex. 77 pp.
- Walkley, A.L. y A. Black. 1947. A rapid determination of soil organic matter. *J. Agric. Sci.* 25: 563-568
- Wetzel, R.G. 1981. *Limnología*. Omega, Barcelona España. 679 pp.
- Wetzel, R.G. 2001. *Limnology*. 3er Ed. ACADEMIC PRESS, N.Y. 1006 pp.
- Winston, R.D. y P.R. Gorham. 1979. Turion and dormancy states in *Utricularia vulgaris*. *Can. J. Bot.* 57: 2740-2749.
- Wooten, J.W. 1970. Experimental investigations of the *Sagittaria graminea* complex. Transplantation studies and geneecology. *J. Ecol.* 58:233-238.
- Wooten, J.W. 1973. Edaphic factors in species and ecotype differentiation of *Sagittaria*. *J. Ecol.* 61:151-156.
- Wooten, J.W. 1986a. Edaphic factors associated with eleven species of *Sagittaria* (Alismataceae). *Aquat. Bot.* 24:35-41.
- Wooten, J.W. 1986b. Variation in leaf characteristics of six species of *Sagittaria* (Alismataceae) caused by various water levels. *Aquat. Bot.* 23:321-327.
- Wooten, J.W. y C.E. Lamotte. 1978. Effects of photoperiod, light intensity and stage of Development of lower initiation in *Sagittaria graminea* Michx. (Alismataceae). *Aquat. Bot.* 4:245-255.
- Zepeda, C. y A. Lot. 1999. Acuitlacalli or *Sagittaria macrophylla* (Alismataceae): a Mexican endemic hydrophyte and a threatened food resource. *Econ. Bot.* 53(2):221-223.

APÉNDICE I

REGISTROS DE HERBARIO

Se registraron 50 ejemplares herborizados de *Sagittaria macrophylla* depositados en 8 herbarios nacionales y extranjeros (Cuadro 1). De estos, 41 ejemplares pertenecen a 20 localidades de 5 estados de la República Mexicana, el Estado de México presentó el mayor número de registros (33; Cuadro 2).

Para *S. latifolia* se registraron 4 ejemplares para el Estado de México en 2 herbarios (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 1. Herbarios Nacionales e Internacionales con ejemplares de *Sagittaria macrophylla*, y *S. latifolia*

Herbario	<i>S. macrophylla</i>	<i>S. latifolia</i>
Herbario Nacional de México (MEXU)	23	2
Herbario del Instituto Politécnico Nacional (ENCBP)	13	
Herbario de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales de Iztacala (ENEPIztacala)	2	
Gray Herbarium of Harvard Univ. (GH)	6	
John G. Searle Herbarium Field Museum of Natural History, Chicago (F)	3	2
Botanical Museum and Herbarium, Copenhagen, Dinamarca ©	1	
Herbarium Conservatoire et Jardin Botaniques de la Ville de Genève, Ginebra, Suiza (G)	1	
Herbarium Botanische Staatssammlung Munchen, Rep. Fed. Alemana (M)	1	
TOTAL	50	4

Cuadro 2. Municipios del Estado de México con registros de colecta de *Sagittaria macrophylla* y *S. latifolia*

Municipio	<i>S. macrophylla</i>	<i>S. latifolia</i>
Acolman	1	
<i>Atmoloya del Río</i>	1	
Atenco	3	
Chalco		2
<i>Chapultepec</i>	1	
Cuautitlan	2	
Huehuetoca	4	
<i>Lerma</i>	4	2
<i>San Felipe del Progreso</i>	1	
<i>San Mateo Atenco</i>	1	
<i>Santiago Tianguistenco</i>	1	
<i>Temascalcingo</i>	1	
Tepozotlan	1	
Texcoco	1	
Tultitlan	1	
Zumpango	6	
Sin municipio	3	
Total	33	4

Nota; Se resaltan los municipios pertenecientes a la zona de estudio en negritas.

APENDICE 2

CUESTIONARIOS

Cuestionario 1

EL PRESENTE CUESTIONARIO TIENE COMO OBJETIVO EL RECABAR INFORMACIÓN SOBRE LAS ZONAS DE CRECIMIENTO DE LA PLANTA DE LA QUE CRECEN LA PAPA DE AGUA (*Sagittaria macrophylla* y *Sagittaria latifolia*), ASÍ COMO DEL COSECHA Y COMERCIALIZACIÓN DE LA MISMA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO LERMA, ESTADO DE MÉXICO

LOCALIDAD _____

ENTREVISTADOR _____

NUMERO DE ENTREVISTA _____ FECHA _____

INFORMACIÓN DEL VENDEADOR _____

NOMBRE _____

DIRECCIÓN _____

SEXO M o F EDAD _____ ESCOLARIDAD _____

TIPO DE VENDEADOR: PERMANENTE TEMPORAL AMBULANTE

FRECUENCIA CON LA QUE VENDE EN EL LUGAR _____

VENDE EN OTROS MERCADOS O TIANGUIS SÍ o NO

CUALES _____

ANTIGÜEDAD EN LA VENTA DE PAPAS DE AGUA _____

INFORMACIÓN DE LA PLANTA DE LA QUE CRECE LA PAPA DE AGUA

1. NOMBRE (S) LOCAL (ES) _____

2. FORMA DE VIDA: HERBÁCEA ARBUSTO ÁRBOL _____

3. LOCALIDAD DE CRECIMIENTO O CULTIVO _____

4. TIPO DE HÁBITAT: TERRESTRE ACUÁTICO: POZA

ZANJA

CHARCO

LAGO

OTRO _____

5. EXTENSIÓN APROXIMADA DEL MANCHÓN DE PLANTAS _____

6. ESTATUS: CULTIVADA MANEJADA SILVESTRE _____

7. NUMERO DE ESPECIES CULTIVADAS _____

8. PARTES DE LA PLANTA USADAS Y USO _____

9. RECONOCE LAS HOJAS DE LA PLANTA DE LA PAPA DE AGUA EN ALGUNA ILUSTRACIÓN (* SE LES MUESTRAN TRES ILUSTRACIONES DIFERENTES DE PLANTAS ACUÁTICAS, INCLUIDA UNA DE *Sagittaria macrophylla*)

SÍ o NO Y CUAL: 1 2 o 3*

INFORMACIÓN DE LA PAPA DE AGUA

10. LOCALIDAD (ES) DE CULTIVO _____

11. CONDICIÓN DE LA PAPA DE AGUA: FRESCA SECA PREPARADA

12. SI ES PREPARADA, FORMA DE PREPARACIÓN _____

12. USO: MEDICINAL ALIMENTARIO ORNAMENTAL CONSTRUCCIÓN OTROS _____

13. PRECIO POR UNIDAD Y/O MONTO _____

14. FRECUENCIA DE VENTA: DIARIO SEMANAL OCASIONAL

15. CANTIDAD ESTIMADA POR VENDEADOR _____ POR TODO EL MERCADO _____

16. ESTATUS DE VENTA: RECOLECTADA POR EL VENDEADOR VENDIDA AL VENDEADOR POR OTROS

DONDE _____

17. DISPONIBILIDAD DE COSECHA EN EL AÑO: EN FEB MAR MAY ABR JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC.

18. MES DE MAYOR DISPONIBILIDAD: _____

19. MES DE MENOR DISPONIBILIDAD: _____

20. FORMA DE COSECHA: _____

21. FRECUENCIA DE COSECHA: DIARIO SEMANAL MENSUAL OTROS _____

22. TAMAÑO PROMEDIO DE LAS PAPAS DE AGUA: _____

23. HAY ALGUNA VARIACIÓN EN EL TAMAÑO DURANTE EL AÑO SÍ o NO

CUAL _____

24. QUE TANTAS PAPAS DE AGUA HAY AHORA EN COMPARACIÓN CON EL PASADO?

MENOS IGUAL MAS

25. POR QUÉ? PORQUE HAY MENOS PARA COSECHAR

PORQUE HAY MENOS DEMANDA

OTROS _____

Cuestionario 2

EL PRESENTE CUESTIONARIO TIENE COMO OBJETIVO EL RECABAR INFORMACIÓN SOBRE EL CONSUMO DE LA PAPA DE AGUA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO LERMA, ESTADO DE MÉXICO

LOCALIDAD: _____
ENTREVISTADOR: _____ NÚMERO DE ENTREVISTA _____ FECHA _____
INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR
NOMBRE: _____
DIRECCIÓN: _____ SEXO M o F EDAD _____
ESCOLARIDAD: _____

INFORMACIÓN DE CONSUMO DE LA PAPA DE AGUA

1. CON QUE FRECUENCIA COMPRA PAPAS DE AGUA
DIARIO SEMANAL MENSUAL OCASIONALMENTE OTROS _____
2. PARA QUE LAS UTILIZA _____
3. COMO LAS UTILIZA _____
4. GENERALMENTE CUANTO COMPRA _____
5. CUAL ES EL PRECIO POR UNIDAD O MONTON _____
6. CONSIDERA ADECUADO EL PRECIO SI o NO Y PORQUE _____
7. DESDE CUANDO COMPRA PAPAS DE AGUA _____
8. ALGUIEN LE ENSEÑO SU USO _____
9. CONOCE LA PLANTA QUE DA LAS PAPAS DE AGUA SI o NO _____
10. SABE EN DONDE CRECEN LAS PLANTAS DE LA PAPA DE AGUA SI o NO Y DONDE: _____