

**DECOMPOSITION OF *Salicornia subterminalis* IN
CAIMANERO LAGOON, MEXICO**

**DESCOMPOSICIÓN DE *Salicornia subterminalis* EN
LA LAGUNA DE CAIMANERO, MÉXICO**

Miguel Rodríguez-Medina¹
Guadalupe de la Lanza-Espino²
Salvador Hernández-Pulido²

¹ Department of Systems Ecology
Stockholm University
S-106 91, Stockholm, Sweden

² Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado postal 70-153
04510 México, DF, México

Recibido en septiembre de 1997; aceptado en marzo de 1998

ABSTRACT

Together with other halophytes, *Salicornia subterminalis* is one of the most important sources of organic matter and nutrients in the Huizache-Caimanero lagoon system. This study evaluates (1) the proximal chemical composition, which provided the following results: 27.1% C, 2.95% N and 0.15% P, corresponding to an atomic ratio of C₄₅₅:N₄₃:P₁, and (2) the decomposition process of this halophyte, by which 60% of the nitrogen was leached in the first three days, 39.6% of the phosphorus was leached in 24 h and 46.8% after three days, and the rest remained as particulate matter. The C:N and C:P ratios increased from 10.7 and 49.4 to 455 and 1531, respectively, and after 17 days decreased to 38.4 and 952, respectively, as a result of ionic immobilization.

Key words: decomposition-leaching, halophyte vegetation.

RESUMEN

Salicornia subterminalis, entre otras halófitas, ha sido considerada como una de las fuentes de materia orgánica y nutrientes más importantes en el sistema lagunar de Huizache-Caimanero. En el presente estudio se evaluó (1) la composición química proximal, que aportó los siguientes resultados: 27.1% C, 2.95% N y 0.15% P, que equivale a una proporción atómica de C₄₅₅:N₄₃:P₁, y (2) el proceso de descomposición de esta halófitas, en donde el 60% de nitrógeno fue lixiviado en los primeros tres días, mientras que 39.6% de fósforo fue lixiviado en 24 h, con un total de 46.8% después de tres días; el resto permaneció como materia particulada. Las proporciones de C:N y C:P aumentaron de 10.7 y 49.4 a 455 y 1531, respectivamente; después de 17 días se registró una disminución a 38.4 en la primera y 952 en la segunda proporción, como resultado de una inmovilización iónica.

Palabras clave: descomposición-lixiviación, vegetación halófitas.

INTRODUCTION

Some authors have recorded contradictory results with respect to the quantity and significance of the leachates of halophytes such as *Spartina alterniflora* (Turner, 1993). For example, Reimold (1972) found a leaching and recycling rate of phosphorus of several times a day for *Spartina* sp., whereas McGovern *et al.* (1979) estimated a time of several years. However, most authors agree that leachates are important in estuarine trophic chains (Turner, 1993).

Studies on decomposition rates show that these depend on the solubility of the leachate in water, the microbial activity and the decomposition caused by macroinvertebrates (Crawford and Resenberg, 1984), as well as on the state of submersion of the vegetation (Turner, 1993). Turner (1978) found that the patterns of leaching rates in *S. alterniflora* are similar to those of other plants under similar conditions. Leachate loss is high when the plant is first submerged, after which it reaches a level that can be ten times greater than that for plants that are not submerged.

This type of study has not been made in Mexico, even though the country has an ample coastal zone where this halophytic vegetation has trophic, ecological and fisheries significance. In the NW of Mexico, several lagoons lose ~70% of the area that is covered by this vegetation during the dry season and which is the most important source of nutrients during the wet season. At Caimanero Lagoon in NW Mexico, the sediment is colonized by several species of halophytes; of these, *Salicornia subterminalis* is the most important because of its abundance, with a wet biomass of 2 kg/m² at the highest water level, of 700 g/m² at the lowest and an annual average of 120 g C/m² (Raz-Guzmán and Sosa, 1982). This community is a source of organic matter that is decomposed and fertilizes the lagoon during the rainy season when its volume increases and halophytes are submerged. This vegetation contributes 49% of the total annual input of 117 t of carbon to the lagoon system (Arenas and de la Lanza, 1980). The chemical composition and the *in situ* decomposition and leach rate of *S.*

INTRODUCCIÓN

Algunos autores han registrado resultados contradictorios respecto a la cantidad y significado de los lixiviados de plantas halófitas como *Spartina alterniflora* (Turner, 1993). Por ejemplo, Reimold (1972) sugiere un lixiviado y reciclamiento de fósforo en *Spartina* sp. de varias veces al día, mientras que McGovern *et al.* (1979) estimaron un tiempo de varios años. Sin embargo, la mayoría de los autores está de acuerdo en que los lixiviados son potencialmente importantes en las redes tróficas estuarinas (Turner, 1993).

Los estudios realizados sobre tasas de descomposición muestran que éstas dependen de que el lixiviado sea soluble en agua, de la actividad microbiana y de la descomposición por macroinvertebrados (Crawford y Resenberg, 1984), así como de la condición de sumersión y no sumersión de la vegetación (Turner, 1993). Turner (1978) señala que los patrones de las tasas de lixiviación en *S. alterniflora* son similares a aquellos de otras plantas bajo condiciones similares. La pérdida de lixiviado es alta cuando la planta es primeramente sumergida; después alcanza un nivel que puede ser diez veces más que el de las plantas no sumergidas.

Este tipo de estudio ha sido escaso en México, a pesar de que el país cuenta con una zona costera amplia con esta vegetación que tiene un gran significado trófico, ecológico y pesquero. En el NW de México, algunas lagunas pierden ~70% de su área que es cubierta por halófitas durante la estación seca y que representa la fuente más importante de nutrientes durante la estación lluviosa. En la Laguna de Caimanero al NW de México, el sedimento es colonizado por diversas especies de halófitas, entre éstas, *Salicornia subterminalis*, con una biomasa húmeda de 2 kg/m² en la marca más alta de nivel de agua y 700 g/m² en la más baja, con un promedio anual de 120 g C/m² (Raz-Guzmán y Sosa, 1982). Esta comunidad es una fuente de materia orgánica que se descompone y fertiliza durante la estación de lluvias, cuando la laguna presenta su volumen máximo y las halófitas son cubiertas por el agua. Esta vegetación contribuye con el 49% del ingreso total

subterminalis in Caimanero Lagoon were analysed in this study with respect to carbon, nitrogen and phosphorus, in order to establish the time it takes for nutrients from the halophyte organic matter to become available again.

STUDY AREA

Caimanero Lagoon is located in the south of the state of Sinaloa, at 23°N and 106°10'W. The climate in the area is semi-arid, with summer rains, a rainfall average of 800 mm and an evaporation of 1200 mm. Salinity in the lagoon varies between 1 and 60‰, depending on the input of salt water and evaporation. Freshwater conditions are present during the rainy season (Rodríguez-Medina, 1989).

The lagoon is affected by tropical storms and hurricanes, most frequently from August to October (Serra, 1971). This results in considerable rainfall and flows of water that favour a variety of aquatic vegetation, as well as in a different degree of inundation in the lagoon from one year to another and of the area colonized by halophytes that is covered by water.

Sediment is colonized by halophytes that may cover 98 km² during the rainy season (Arenas and de la Lanza, 1983). The most abundant species are *Salicornia subterminalis*, *Sesuvium portulacastrum*, *Suaeda tamicensis* and *Cressa truxillensis* (Raz-Guzmán and Sosa, 1982).

MATERIAL AND METHODS

The experimental site selected is a shallow area, with a maximum depth of 60–70 cm, in Tapo Caimanero near the canal that joins Caimanero Lagoon to the sea (fig. 1a). This area is dynamic with respect to the movement of water and decomposition or leaching products that are produced in the experimental bags that contain the material under study.

Salicornia subterminalis was collected and dried at 60°C for 60 h, after which it was broken up and sieved to obtain a homogeneous sample of 1-mm diameter and 1-cm-long particles; 100 g of this material were placed in 1-mm-mesh bags. These were hung from frames at a depth of 20 cm, at a distance of

anual de 117 t de carbono al sistema lagunar (Arenas y de la Lanza, 1980). Con el objetivo de determinar el tiempo en que se lixivian y redispone los nutrientes procedentes de la materia orgánica de la vegetación halófitas, en el presente estudio se analizó la composición química y la velocidad de descomposición *in situ* de *S. subterminalis* en la Laguna de Caimanero con relación al carbono, el nitrógeno y el fósforo.

ÁREA DE ESTUDIO

La Laguna de Caimanero se encuentra al sur de Sinaloa, en los paralelos de su parte media 23°N y 106°10'O. El clima es semi-desértico, con lluvias durante el verano, una precipitación promedio de 800 mm y evaporación de 1200 mm. La salinidad fluctúa entre 1 y 60‰, dependiendo del ingreso de agua salada y evaporación. En la estación lluviosa, se presentan condiciones dulceacuícolas (Rodríguez-Medina, 1989).

Esta laguna está influenciada por tormentas tropicales y huracanes, que son más frecuentes de agosto a octubre (Serra, 1971), eventos que traen consigo precipitaciones considerables y flujos de agua que generan diferentes componentes de la vegetación acuática. Además, pueden determinar una inundación distinta anualmente en la laguna y consecuentemente la extensión del área colonizada por halófitas, que es cubierta por agua.

Cuando los sedimentos se desecan, son colonizados por halófitas que pueden cubrir 98 km² (Arenas y de la Lanza, 1983). Las especies más abundantes son *Salicornia subterminalis*, *Sesuvium portulacastrum*, *Suaeda tamicensis* y *Cressa truxillensis* (Raz-Guzmán y Sosa, 1982).

MATERIAL Y MÉTODOS

El sitio experimental seleccionado fue un área somera, con una profundidad máxima de 60–70 cm, localizado en el Tapo Caimanero cerca del canal o estero que comunica la Laguna de Caimanero con el océano (fig. 1a). Esta área presentó un intercambio adecuado de agua y remoción de cualquier producto de

30 cm one from the other. Duplicate samples of plant matter were taken at the start of the experiment and then randomly after 1, 3, 5, 6, 7, 10, 13 and 17 days.

The following analyses were carried out twice on the undegraded dry plant matter and the detritus that remained within the bags after each sampling. All matter was dried at 60°C for 24 h and then ground to be analysed as dry weight (d.w.). The organic matter content of this material was analysed by ignition at 550°C for 1 h (Dean, 1974). The carbon content was calculated with the equation $C = \text{organic matter}/1.8$ (Allen *et al.*, 1974). Total phosphorus was quantified after digestion with nitric and sulphuric acid, according to Holm (1978), and afterwards through the formation of phosphomolibdene blue (Strickland and Parsons, 1968). Total nitrogen was quantified using Issac and Johnson's (1976) technique and the spectrophotometric measurement of ammonium according to Carlberg (1972).

Results were subjected to basic statistical analyses, including correlations and regressions, in order to determine the variation between duplicates and general trends in time.

RESULTS AND DISCUSSION

The proximal chemical composition of *S. subterminalis* was $27.08 \pm 0.21\%$ C, $2.95 \pm 0.08\%$ N and $0.15 \pm 0.01\%$ P d.w., equivalent to an atomic ratio of $C_{455}:N_{43}:P_1$. The relative proportion of organic matter increased from $49 \pm 0.01\%$ to $87 \pm 0.4\%$ during the first three days, and decreased to $52.2 \pm 0.1\%$ after 17 days. The total nitrogen content decreased from 29.5 ± 0.8 mg N/g d.w. to 11.9 ± 0.8 mg N/g after three days and to 8.0 ± 0.4 mg N/g after 10 days, and increased only 0.8 units after 17 days. The total phosphorus content gradually decreased from 1.54 ± 0.01 to 0.71 ± 0.01 mg P/g d.w. after 13 days and increased to 0.79 ± 0.02 mg P/g after 17 days.

Based on the changes in the organic matter content, an increase of 31% was recorded during the first three days (fig. 1b). With respect to this, *S. subterminalis* (with a water content of 66%) is a succulent halophyte, rich in dissolved salts as a result of its adaptation to

descomposición o lixiviación liberado en las bolsas experimentales que contenían el material en estudio.

Se recolectó *Salicornia subterminalis* y se presecó a 60°C durante 60 h; posteriormente, se fragmentó y tamizó para obtener una muestra homogénea con partículas de 1 mm de diámetro y 1 cm de longitud. Se colocaron 100 g de este material dentro de bolsas de malla de 1 mm de abertura. Las bolsas fueron colgadas de un marco a una profundidad de 20 cm, con una separación de 30 cm entre una y otra. Se tomaron muestras de material vegetal por duplicado al principio del experimento y después aleatoriamente a los 1, 3, 5, 6, 7, 10, 13 y 17 días.

Se realizaron los siguientes análisis por duplicado sobre el material vegetal seco no degradado y el detrito remanente dentro de las bolsas después de cada muestreo. El material fue desecado a 60°C por 24 h y pulverizado, para ser referido en peso seco (p.s.). En este material se determinó el contenido de materia orgánica por ignición a 550°C por 1 h (Dean, 1974). El contenido de carbono se calculó mediante la ecuación $C = \text{materia orgánica}/1.8$ (Allen *et al.*, 1974). El fósforo total se cuantificó después de digerir con ácido nítrico y sulfúrico conforme a Holm (1978) y posteriormente a través de la formación del azul de fosfomolibdeno (Strickland y Parsons, 1968). El nitrógeno total se cuantificó con la técnica de Isaac y Johnson (1976), con la determinación espectrofotométrica de amonio de Carlberg (1972).

Los resultados fueron sometidos a análisis estadísticos básicos, así como de correlación y regresión para determinar la variación entre duplicados y las tendencias generales con el tiempo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química proximal de *S. subterminalis* fue de $27.08 \pm 0.21\%$ C, $2.95 \pm 0.08\%$ N y $0.15 \pm 0.01\%$ P p.s., que es equivalente a una proporción atómica de $C_{455}:N_{43}:P_1$. Durante los primeros tres días, la proporción relativa de materia orgánica incrementó de $49 \pm 0.01\%$ a $87 \pm 0.4\%$; a los 17 días se registró una disminución a $52.2 \pm 0.1\%$. El contenido de

saline environments. These salts were lost during leaching and the relative proportion of dry weight organic matter increased. A loss of $31.1 \pm 0.2\%$ with respect to dry weight (6% to 8.9%) during the first 24 h is considered to be organic salts and dissolved organic compounds (fig. 1c). This coincides with Pellikaan's (1984) and Chale's (1993) data of 17% to 34% d.w. of initial leaching for *Zostera marina* and *Avicennia marina*, respectively; the first author recorded a decrease of 71% after two months and a remaining 5% after half a year. A loss of approximately 55% was calculated for day 17.

The organic matter content decreased linearly ($r = 1.0$, $P < 0.01$) from the third day to the end of the experiment, from 87.1% to 52.2%, at a daily rate of decrease of 2.4%. This made it possible to calculate a total decomposition of 34.9%. Organic carbon decreased 19.4% at a daily rate of 1.4%. At the end of the experiment, only some fibrous material remained. Chale (1993) calculated a weight loss rate of 0.0045% per day for *A. marina*. This difference responds to the chemical composition of the vegetation. An atomic ratio of $C_{455}:N_{43}:P_1$ was calculated in this study, and a ratio of $C_{500}:N_{28}:P_1$ has been calculated for mangroves (de la Lanza and Arenas, 1986). This indicates that there is a great amount of carbonaceous material (cellulose and lignin) that results in a slow decomposition.

Turner (1993) calculated an average rate of leaching of $334 \pm 249 \mu\text{g C d.w./h}$ for *S. alterniflora*, similar to that of $550 \mu\text{g C d.w./h}$ calculated for *S. subterminalis*.

In the case of *S. subterminalis*, 60% of the nitrogen leached out during the first three days (fig. 1d), 39.6% of the phosphorus was lost after 24 h and 46.8% during the following three days (fig. 1e). Chale (1993) recorded a decrease of 14% of total nitrogen in *A. marina* leaves in the first 24 h and of 22% after seven days, as well as a decrease in phosphorus of 23% after 24 h and of 32% seven days later. This responds to the chemical composition of *Avicennia* and *Salicornia* and to the constitution of the plant matter involved in the process and the decomposition rate, as stated by Twilley *et al.* (1986). Though the point of pre-drying *S. subterminalis* was to obtain a more

nitrógeno total decreció de $29.5 \pm 0.8 \text{ mg N/g p.s.}$ a $11.9 \pm 0.8 \text{ mg N/g}$ después de tres días; bajó a $8.0 \pm 0.4 \text{ mg N/g}$ después de 10 días y, después de 17 días, solamente aumentó 0.8 unidades. El contenido de fósforo total disminuyó gradualmente de 1.54 ± 0.01 a $0.71 \pm 0.01 \text{ mg P/g p.s.}$ después de 13 días y aumentó a $0.79 \pm 0.02 \text{ mgP/g}$ después de 17 días.

Con base en los cambios en el contenido de materia orgánica, se registró un incremento del 31% durante los primeros tres días (fig. 1b). En relación a esto, *S. subterminalis* (con un contenido de humedad del 66%) es una halófito suculenta que tiene un alto contenido de sales disueltas como resultado de su adaptación a ambientes salinos; en la lixiviación se perdieron dichas sales y la proporción relativa de materia orgánica en peso seco se incrementó. En las primeras 24 h, hubo una pérdida de $31.1 \pm 0.2\%$ en relación al peso seco (6% a 8.9%) que se considera son sales inorgánicas y compuestos orgánicos disueltos (fig. 1c). Esto coincide con lo reportado por Pellikaan (1984) y Chale (1993), de 17% a 34% p.s. de lixiviación inicial en *Zostera marina* y *Avicennia marina*, respectivamente; el primer autor registró un decremento del 71% después de dos meses, con un remanente de 5% después de medio año. A los 17 días se calculó una pérdida cercana al 55%.

El contenido de materia orgánica disminuye en forma lineal ($r = -1.0$, $P < 0.01$) a partir del tercer día y hasta el final del experimento; este contenido varió de 87.1% a 52.2%, con una tasa diaria de disminución del 2.4%. Esto permitió calcular una degradación total de 34.9%. El carbono orgánico disminuyó 19.4%, con una tasa diaria del 1.4%. Al final se encontraron solamente algunos materiales fibrosos. Chale (1993) calculó una tasa de pérdida de peso de 0.0045% por día en *A. marina*. Dicha diferencia responde a la composición química de la vegetación y sus proporciones; en el presente trabajo se calculó una proporción atómica de $C_{455}:N_{43}:P_1$ y para manglares se ha estimado una proporción de $C_{500}:N_{28}:P_1$ (de la Lanza y Arenas, 1986), lo que significa una predominancia de material carbonaceo (celulosa y lignina) que conduce a una lenta descomposición.

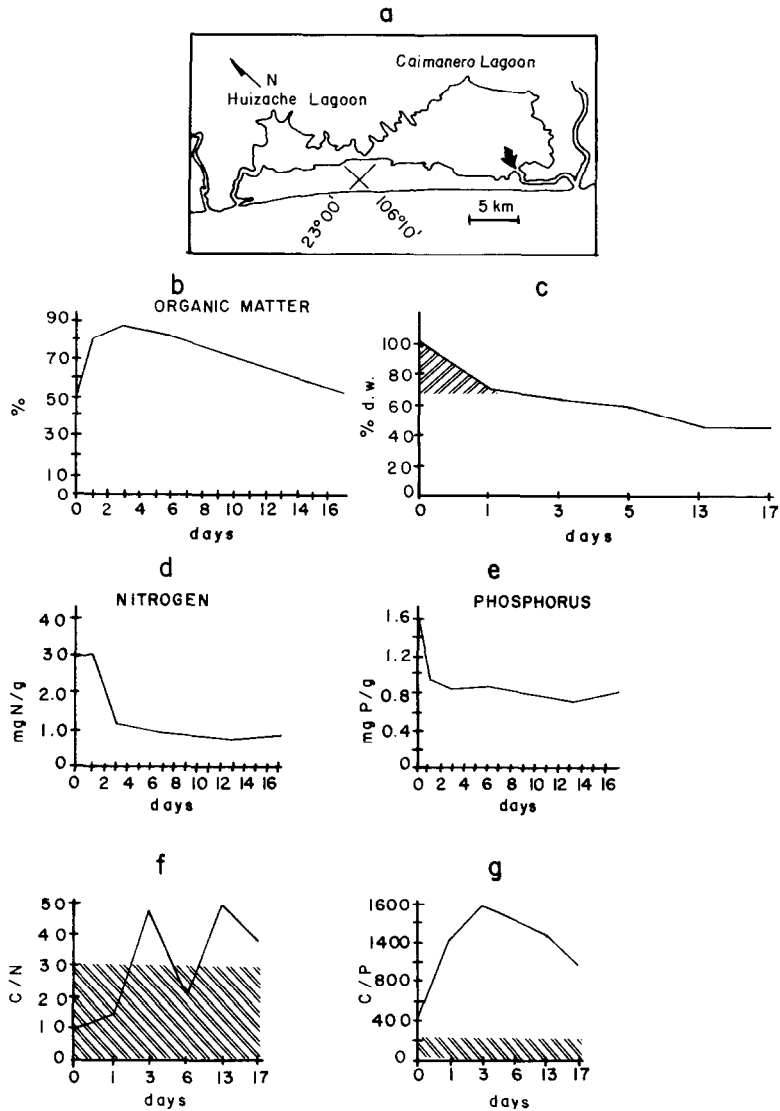


Figure 1. (a) The Huizache-Caimanero lagoon system. (b) Variation in organic matter during the decomposition of *Salicornia subterminalis*. (c) Percentage of dry matter during the decomposition. (d) Nitrogen and (e) phosphorus content during decomposition. (f) C:N and (g) C:P ratios in the residue plant material of *S. subterminalis*.

Figura 1. (a) Sistema lagunar de Huizache-Caimanero. (b) Variación de materia orgánica durante la descomposición de *Salicornia subterminalis*. (c) Porcentaje de materia seca durante la descomposición. Contenido de (d) nitrógeno y (e) fósforo durante la descomposición. Cociente de (f) C:N y (g) C:P en el remanente del material vegetal de *S. subterminalis*.

homogeneous and biologically inert material, this type of treatment generally may increase the leaching rate. Pellikaan (1984) stated that once the pre-dried material is rehydrated, the organic carbon together with the ammonium, nitrate and orthophosphates are leached more rapidly, and the soluble compounds may be more easily liberated as a result of damage to the cellular walls. This author reported a 47% loss of phosphorus after 24 h, whereas in the case of ammonium and nitrate, this was recorded after 1 h, with a decrease during the following 24 h. On the other hand, fresh material decomposes gradually but leads to errors during the analyses as a result of a heterogeneous water content (Larsen, 1982).

Turner (1993) considered that the precision in the evaluations is an arrangement of the statistical uncertainty in the variability of the leaching rates, and this is exemplified by the standard deviation of 69%, on average, in the rates of leached carbon. There is also a wide variation in the use of techniques by researchers and consequently in the results. The standard deviation in this study was lower than 10%.

The initial decrease in nitrogen resulted from leaching and was related to microbial decomposition after the third day. At the end of the experiment, a slight increase was recorded as a reduced immobilization mechanism during the decomposition of the plant matter. According to Melillo *et al.* (1984), the amount of nitrogen that is directly associated with the microbial biomass represents only a small fraction of the total content in the material under decomposition. However, microorganisms seem to be important agents in the immobilization of this element. These authors mentioned that the coenzymes produced by the bacteria degrade big molecules such as polyphenols and lignins. Some decomposition products ("reactive phenolics") recondense with compounds that contain nitrogen, and this cycle of decomposition and recondensation continues until the last products are nitrogen-rich humic substances.

Valiela *et al.* (1984) found that *S. alterniflora* is decomposed through a rapid initial phase of leaching, a second phase characterized by decomposer activity and a slow third

Turner (1993) calculó una tasa promedio de lixiviación de $334 \pm 249 \mu\text{g C p.s./h}$ para *S. alterniflora*, semejante a lo calculado para *S. subterminalis* de $550 \mu\text{g C p.s./h}$.

En *S. subterminalis*, el 60% del nitrógeno se lixivió durante los primeros tres días (fig. 1d); el 39.6% del fósforo se perdió después de 24 h y 46.8% los tres días posteriores (fig. 1e). Chale (1993) registró una disminución del 14% de nitrógeno total en hojas de *A. marina* en las primeras 24 h y del 22% después de siete días, así como un decremento de fósforo del 23% a las 24 h y cerca del 32% siete días más tarde. Esto es consecuencia de la composición química entre *Avicennia* y *Salicornia*, así como de la integridad del material vegetal en el proceso y tasas de descomposición, tal como lo refieren Twilley *et al.* (1986). Si bien el propósito de presecar *S. subterminalis* fue obtener un material más homogéneo y, desde el punto de vista biológico, inerte, generalmente este tipo de tratamiento puede incrementar la tasa de lixiviación. Pellikaan (1984) considera que una vez que el material presecado se rehidrata, el carbono orgánico así como el amonio, nitrato y ortofosfato se lixivian más rápidamente y los compuestos solubles pueden ser más fácilmente liberados, ya que las paredes celulares han sido dañadas. Este autor reportó una liberación de 47% de fósforo después de 24 h, mientras que en el caso de amonio y nitrato, este proceso fue después de 1 h para disminuir a las 24 h siguientes. Por otro lado, el material fresco se degrada gradualmente pero conduce a errores durante los análisis debido a un contenido heterogéneo de agua (Larsen, 1982).

Turner (1993) considera que la precisión en las evaluaciones es un arreglo de la incertidumbre estadística en la variabilidad de las tasas de lixiviación y lo ejemplifica con la desviación estándar de las tasas de carbono lixiviado del 69% en promedio; además, existe una amplia variabilidad en la aplicación de técnicas por los investigadores y, como consecuencia, en los resultados. En el presente estudio la desviación estándar no rebasó el 10%.

La disminución inicial de nitrógeno fue resultado de la lixiviación y después del tercer día se asoció con la degradación microbiana. Al

phase during which the refractory components remain or are formed. In this study, the first two phases are clearly shown in the phosphorus curve for *S. subterminalis* (fig. 1e). In this case, the general tendency is described by the equation $Y = aX^{-0.04}$ ($r = -0.98$, $P \ll 0.01$).

Despite the decreasing trend of nitrogen and phosphorus, there was a slight tendency to increase towards the 17th day, which is assumed to be the result of two possible factors: (1) a rapid loss of carbon, compared with nitrogen and phosphorus; and (2) an increase in the two last elements by immobilization.

Within the realm of soil microbiology, when the atomic ratio C:N in decomposing matter is lower than 20 to 30:1, the predominant process is nitrogen mineralization. When values are high, immobilization may be more important than mineralization processes. In the case of phosphorus, the critical interval for the C:P ratio is approximately 200 to 300:1 (Alexander, 1977).

An alternation between nitrogen mineralization and immobilization is estimated to have occurred when values were greater than 30 on days 3 and 13, based on the C:N and C:P ratios recorded during the decomposition of *S. subterminalis* and considering the particular conditions of this case (fig. 1f). In the case of phosphorus, it was possible to recognize these changes, and the ratio was always 200. However, the rate of increase in the C:P ratio began to decline after the third day, from 1531 to 952 (fig. 1g).

It has been proposed that the initial chemical composition of the matter controls the decomposition rate. Atkinson and Smith (1983) gathered information on the C:N atomic ratio in subaquatic vegetation, including *Halophila spinulosa* (46.5), *Thalassia testudinum* (13.9 in leaves and 30 in rhizomes) and *Ruppia maritima* (15.8 in leaves). Turner (1993) calculated a value of 16 for *S. alterniflora*. In this study, the C:N and C:P ratios increased from 10.7 to 49.4 and from 455 to 1531, respectively, and decreased to 38.4 and 952 at the end of the experiment as a result of immobilization.

These different ratios affect the mineralization rates of the organic matter. The chemical

final del experimento se registró un ligero incremento como un mecanismo incipiente de inmovilización durante la descomposición del material vegetal remanente. De acuerdo con Melillo *et al.* (1984), la cantidad de nitrógeno directamente asociada con la biomasa microbiana solamente representa una pequeña fracción del contenido total en el material en descomposición. No obstante, los microorganismos parecen ser agentes importantes en la inmovilización de este elemento. Estos autores mencionan que las exoenzimas producidas por las bacterias degradan moléculas grandes como polifenoles y ligninas. Algunos productos de degradación ("fenólicos reactivos") recondensan con compuestos que contienen nitrógeno y este ciclo de degradación y recondensación continúa hasta que los últimos productos son sustancias húmicas ricas en nitrógeno.

Valiela *et al.* (1984) determinaron que *S. alterniflora* es degradada a través de una rápida fase inicial de lixiviación, una segunda fase caracterizada por actividad de descomponedores y una tercera fase lenta durante la cual los componentes refractarios permanecen o son formados. En el presente trabajo, *S. subterminalis* mostró las dos primeras fases claramente en la curva de variación de fósforo (fig. 1e). En este caso, la tendencia general es descrita por la ecuación $Y = aX^{-0.04}$ ($r = -0.98$, $P \ll 0.01$).

A pesar de la tendencia a disminuir del nitrógeno y fósforo, señalaron una ligera tendencia a incrementar hacia el día 17, que se asume ser resultado de dos posibles factores: (1) una rápida liberación de carbono, comparada con nitrógeno y fósforo; 2) un incremento en los dos últimos elementos por inmovilización.

En microbiología de suelos, se establece que cuando la proporción atómica C:N en material en descomposición es menor de 20 a 30:1, el proceso predominante es mineralización de nitrógeno. Con valores altos, la inmovilización pudiera ser más importante que los procesos de mineralización. En el caso del fósforo, el intervalo crítico para la proporción C:P es 200 a 300:1, aproximadamente (Alexander, 1977).

Con base en las proporciones de C:N y C:P registradas durante la descomposición de

composition of *S. subterminalis* varied in time, as the C:N and C:P ratios showed. Tenore *et al.* (1984) stated that the low nitrogen content in detritus is the limiting factor for its consumption by detritivores, whereas the microbial activity represents an enrichment in this element. It is possible that at low nitrogen concentrations and high C:N ratios, consumers need to increase their ingestion rates (Tenore and Gopalan, 1974, *vide* Tenore *et al.*, 1984), and in this way contribute to the reduction of the particle size in the detritus formation (Odum *et al.*, 1973); this represents a greater surface for microbial decomposers, which immobilize the nitrogen and then degrade the organic matter, resulting in a change in the C:N ratio.

The decomposition of *S. subterminalis* has proved important in the balance of organic matter and nutrients (Arenas and de la Lanza, 1980, 1983). However, it must be considered that this process is active at the time of the year that the lagoon is flooded and, thus, is not a permanent state throughout the year. This constitutes a fundamental concept to understand the dynamics of a system as heterogeneous as Caimanero Lagoon.

CONCLUSIONS

Based on the C:N:P atomic ratios, *Salicornia subterminalis* has a high cellulose and lignin content, similar to mangrove leaves, but with a high rate of decomposition, as seagrasses, and with a C:N of ~10, which controls the decomposition process. The leached phosphorus was high compared with the halophytic vegetation and this is associated with the physical state of the plant material.

REFERENCES

- Alexander, M. (1977). Introduction to Soil Microbiology. Wiley, New York, 467 pp.
- Allen, S., Grimshaw, H., Parkinson, A. and Quarmby, C.Q. (1974). Chemical Analysis of Ecological Materials. Blackwell Sci. Publ., London, 565 pp.
- Arenas, V. and de la Lanza, G. (1980). Organic carbon budget of a coastal lagoon in northwest

S. subterminalis y con las precauciones del caso, se estima una alternancia entre la mineralización del nitrógeno y la inmovilización, cuando los valores fueron mayores que 30 a los días 3 y 13 (fig. 1f). En el caso del fósforo, no fue posible reconocer tales cambios; la proporción fue siempre 200. Sin embargo, la tasa de incremento en la proporción C:P empezó a declinar después del tercer día, de 1531 a 952 (fig. 1g).

Se ha propuesto que la composición química inicial del material controla la velocidad de descomposición. Atkinson y Smith (1983) recopilaron información sobre la proporción atómica de C:N en vegetación subacuática, que incluye a *Halophila spinulosa* (46.5), *Thalassia testudinum* (13.9 en hojas y 30 en rizomas) y *Ruppia maritima* (15.8 en hojas). Turner (1993) calculó 16 para lixiviados de *S. alterniflora*. En este estudio, las proporciones de C:N y C:P incrementaron de 10.7 a 49.4 y de 455 a 1531, respectivamente; al final del experimento disminuyeron a 38.4 y 952 debido a la inmovilización.

Estas diferentes proporciones influyen en las tasas de mineralización de la materia orgánica. La composición química de *S. subterminalis* varió con el tiempo, como fue mostrado en las proporciones de C:N y C:P. Tenore *et al.* (1984) mencionan que el bajo contenido de nitrógeno del detrito es el factor limitante para su consumo por detritívoros, mientras que la actividad microbiana representa un enriquecimiento de este elemento. Es posible que con concentraciones bajas de nitrógeno y altas proporciones de C:N, los consumidores tengan que incrementar sus tasas de ingestión (Tenore y Gopalan, 1974, *vide* Tenore *et al.*, 1984) y contribuyan de esta manera a la reducción del tamaño de las partículas en la formación del detrito (Odum *et al.*, 1973); esto representa una mayor superficie para los descomponedores microbianos, que inmovilizan el nitrógeno y así pueden continuar degradando el material orgánico, con el resultado de una variación en la proporción C:N.

La degradación de *S. subterminalis* ha mostrado ser importante en el balance de materia orgánica y nutrimentos (Arenas y de la Lanza,

- Mexico. In: N. Psuty and D. MacArthur (eds.), Utilization of Science in the Decision-making Process. Coastal Soc., USA, pp. 179-196.
- Arenas, V. and de la Lanza, G. (1983). Annual phosphorus budget of a coastal lagoon in the northwest of Mexico. In: R. Hallberg (ed.), Environmental Biogeochemistry. Proc. 5th Int. Symp. Env. Biogeochemistry (ISEB). Ecol. Bull. (Stockholm), 35: 431-440.
- Atkinson, M.J. and Smith, S.V. (1983). C:N:P ratios of benthic marine plants. Limnol. Oceanogr., 28(3): 568-574.
- Carlberg, S.R. (ed.) (1972). New Baltic Manual. With methods for sampling and analysis of physical, chemical, and biological parameters. Coop. Res. Rep. Ser. A, No. 29. Int. Counc. Expl. Sea, Denmark, 145 pp.
- Chale, F.M.M. (1993). Degradation of mangrove leaf litter under aerobic conditions. Hydrobiologia, 257: 177-183.
- Crawford, P.J. and Resenberg, D.M. (1984). Break-down of conifer needle debris in a new northern reservoir, Southern Indian Lake, Manitoba. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 1: 449-458.
- De la Lanza, G. y Arenas, V. (1986). Disponibilidad de nutrimentos a partir de materia orgánica en un sistema lagunar. Ciencia, 37: 247-254.
- Dean, N.D. Jr. (1974). Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; comparison with other methods. J. Sed. Petrol., 44(1): 242-248.
- Holm, N.G. (1978). Phosphorus exchange through the sediment-water interface. Mechanism studies of dynamic processes in the Baltic Sea. Ph.D. thesis, Department of Geology, University of Stockholm, Stockholm, 149 pp.
- Issac, R.A. and Johnson, W.C. (1976). Determination of total nitrogen in plant tissues, using a block digester. J. AOAC, 59(1): 98-100.
- Larsen, V.J. (1982). The effects of pre-drying and fragmentation on the leaching of nutrient elements and organic matter from *Phragmites australis* (Cav.) Trin. litter. Aquat. Bot., 14: 29-40.
- McGovern, T.A., Labert, L.J. and Gram, B.C. (1979). Characteristics of the salts secreted by *Spartina alterniflora* Loisel and their relation to estuarine production. Est. Coast. Mar. Sci., 9: 351-356.
- Melillo, J.M., Naiman, R.J., Aber, J.D. and Linskins, A.E. (1984). Factors controlling mass loss and nitrogen dynamics of plant litter decaying in 1980, 1983). Sin embargo, debe considerarse que este proceso es activo durante la estación en la cual la laguna es inundada. Esta condición no es permanente durante el año y constituye un concepto fundamental para entender la dinámica de un sistema tan heterogéneo como la Laguna de Caimanero.

CONCLUSIONES

Con base en las proporciones C:N:P, *Salicornia subterminalis* tiene un alto contenido de celulosa y lignina, parecido al de las hojas de manglar, pero de mayor tasa de descomposición; el C:N de ~10 es semejante a pastos marinos y controla la velocidad de dicha descomposición. La lixiviación de fósforo es alta comparada con otras halófitas, asociada con la integridad del material vegetal.

Traducido al español por los autores.

northern streams. Bull. Mar. Sci., 35(3): 341-356.

Odum, W.E., Zieman, J.C. and Heald, E.J. (1973). The importance of vascular plant detritus to estuaries. Proc. 2nd Coast. Marsh and Estuarine Management Symp. 17-18 July 1972. Baton Rouge, LA, pp. 91-114.

Pellikaan, G.C. (1984). Laboratory experiments on eelgrass (*Zostera marina* L.) decomposition. Neth. J. Sea Res., 18(3/4): 360-383.

Raz-Guzmán, M.A. y Sosa, M.R. (1982). Evaluación de la degradación de la vegetación halófitas y su importancia en el sistema lagunar Huizache-Caimanero, Sin., México. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 97 pp.

Reimold, R.J. (1972). The movement of phosphorus through the salt marsh cordgrass, *Spartina alterniflora* Loisel. Limnol. Oceanogr., 17: 606-611.

Rodríguez-Medina, M.A. (1989). Estudio de la degradación de la halófitas *Salicornia subterminalis* y su relación con los mecanismos de movilización de nutrientes en la interfase sedimento-agua en la laguna de Huizache y Caimanero, Sin. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 88 pp.

- Serra, S.C. (1971). Hurricanes and tropical storms of the west coast of Mexico. *Monthly Weather Rev.*, 99: 302–308.
- Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. (1968). *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Fish. Res. Board Canada, Ottawa, 311 pp.
- Tenore, K.R., Hanson, R.B., Clain, J.M., MacCubbin, A.E. and Hodson, R.E. (1984). Changes in composition and nutritional value to a benthic deposit feeder of decomposing detritus pools. *Bull. Mar. Sci.*, 35(3): 299–311.
- Turner, R.E. (1978). Community plankton respiration in a salt marsh estuary and the importance of macrophytic leachates. *Limnol. Oceanogr.*, 23: 442–451.
- Turner, R.E. (1993). Carbon, nitrogen, and phosphorus leaching rates from *Spartina alterniflora* salt marshes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 92: 135–140.
- Twilley, R.R., Ejdung, G., Romare, P. and Kemp, W.M. (1986). A comparative study of decomposition, oxygen consumption in an estuarine environment. *OIKOS*, 47: 190–198.
- Valiela, I., Wilson, J., Buchsbaum, R., Rietsma, C., Bryant, D., Foreman, K. and Teal, J. (1984). Importance of chemical composition of salt marsh litter on decay rates and feeding by detritivores. *Bull. Mar. Sci.*, 35(3): 261–269.