

Nitrificación y mineralización del N en un suelo perturbado de manglar en la costa del Pacífico Sur, Oaxaca

Eustacio Ramírez-Fuentes¹, Ma. Nieves Trujillo-Tapia²
Instituto de Recursos ¹, Instituto de Ecología²
Universidad del Mar
Puerto Ángel, Oaxaca. México
[eustacio, nieves]@angel.umar.mx

Abstract— The mangrove is a coastal ecosystem, exposed to natural tension as hurricanes, which can cause disturbance affect vegetation and soil microbial activity. The objective was to study the dynamics of nitrogen in the soil of disturbed and undisturbed mangrove. The values of nitrogen mineralization and nitrification, and the physico-chemical soil characteristics showed marked variation between sites and seasons (wet and dry), these differences may be due to the presence of vegetation cover on the soil without disturbing; therefore, planting mangrove trees in the disturbed site is necessary for rehabilitation and ecosystem restoration.

Keyword— *nitrogen, aerobic incubation, microbial activity, soil disturbance.*

Resumen— El manglar es un ecosistema costero, expuesto a tensores naturales como los huracanes, que pueden provocar perturbación en la vegetación y afectar la actividad microbiana del suelo. El objetivo del trabajo fue estudiar la dinámica del nitrógeno, en el suelo del manglar perturbado y sin perturbar. Los valores de la mineralización del nitrógeno y la nitrificación, y las características físico-químicas del suelo, mostraron una marcada variación entre sitios y temporada (seca y lluviosa), dichas diferencias pueden ser debidas a la presencia de la cobertura vegetal en el suelo sin perturbar; por lo tanto, la plantación de árboles de mangle en el sitio perturbado es necesaria para la rehabilitación y restauración del ecosistema.

Palabras claves— *nitrógeno, incubación aeróbica, actividad microbiana, suelo perturbación.*

I. INTRODUCCIÓN

Los bosques de manglar están constituidos por especies arbóreas que soportan frecuentes periodos de inundación y elevadas salinidades, lo que les permite que se desarrollen en las líneas costeras y en zonas cercanas a la desembocadura de los ríos y canales de agua dulce [1]; además de las características propias del sustrato que son determinantes para la productividad y diversidad de especies presentes en los manglares [2]. Al manglar se les considera también formador de suelo, ya que por medio de sus raíces retienen las partículas que descargan los ríos y arroyos al mar, así como el sedimento que llevan las corrientes de deriva costera; protegiendo a su vez a los litorales de la erosión costera. El suelo de las áreas de manglar es fangoso y aluvial, se forma mediante la sedimentación de partículas minerales transportadas por el agua, son ligeramente ácidos [3], están compuestos de limo, arcilla, arena y de restos de materia orgánica en diversos estados de composición.

Los manglares representan una fuente de energía y sustrato para numerosas especies bacterianas, que a su vez sostienen al manglar a través de: i) la mineralización de la materia orgánica bajo condiciones anaerobias y microaerófilas, ii) mantienen altas tasas de fijación biológica de nitrógeno contribuyendo hasta con un 60% de requerimientos de nitrógeno del sistema y iii) la presencia de bacterias asociadas a nutrientes y sustancias como fuentes de nitrógeno, fosforo, hierro y fitohormonas [4].

A pesar de la alta productividad, el ecosistema de manglar tiene limitación de nutrientes, principalmente de nitrógeno y fosforo [4, 5, 6]. La fijación biológica del nitrógeno por bacterias

diazotróficas, asociadas con las raíces de los árboles de mangle, son la principal entrada de nitrógeno para compensar la pérdida de N por la desnitrificación [7, 8].

La mineralización de la materia orgánica es el proceso por el cual, el nitrógeno presente en los residuos orgánicos son transformados a amonio (NH_4^+) por actividad microbiana. Sin embargo, tanto los procesos de fijación biológica como de mineralización del nitrógeno pueden ser alterados por diversos tensores climáticos y antropogénicos. En ambos casos se inhibe o altera la actividad de las comunidades bacterianas. Entre los factores climáticos, la humedad del suelo y la aireación son cruciales para la nitrificación [9]. Otro factor, como la estacionalidad (temporada de seca y lluvia) influye en la actividad microbiana y en la distribución de los nutrientes; García et al. [10], encontraron mayor contenido de carbono y una mayor mineralización del nitrógeno en muestras de hojarasca de la estación seca comparada a las muestras de la estación húmeda, en una selva tropical caducifolia.

Los tensores naturales que más impactan a los ecosistemas costeros (entre ellos el manglar), son los huracanes y tormentas tropicales, quienes provocan la pérdida de la cobertura vegetal y la consecuente afectación a la actividad microbiana asociada a la rizosfera de los árboles y plantas. Dinesh et al. [11], encontraron una marcada reducción en diversos parámetros biológicos (carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana, respiración basal, la mineralización del nitrógeno, la actividad de la deshidrogenasa y catalasa), asociados al suelo perturbado en comparación al suelo sin perturbar, en un bosque de manglar.

La zona costera del Pacífico sur de Oaxaca no está exenta de los fenómenos naturales, según la CENAPRED [12], el estado de Oaxaca, junto con Chiapas, Guerrero, Michoacán, Colima y Jalisco, son los lugares más frecuentes donde inician los ciclones tropicales del océano Pacífico. En 1997 el huracán Pauline, llegó a la zona de Puerto Ángel, y dejó a su paso la pérdida de cobertura vegetal, principalmente de árboles de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en una área aproximada de 360 hectáreas [13, 14], y como consecuencia se provocó una perturbación en la flora, la fauna, así como, en la actividad microbiológica y el flujo de nutrientes. Por lo anterior, el objetivo en el presente trabajo fue estudiar el potencial neto de mineralización del nitrógeno y la nitrificación, como bioindicadores del suelo, en un manglar perturbado y sin perturbar.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Sitio de estudio

Se seleccionaron dos sitios de mangle ubicados en la zona costera del Pacífico sur del estado de Oaxaca, México. El primer sitio es Los Naranjos ($15^\circ 48' 00''$, $15^\circ 48' 30''$ N y $97^\circ 45' 00''$, $96^\circ 59' 15''$ W), tiene un clima cálido sub-húmedo, con una temperatura media máxima anual mayor a 33°C . El estero cuenta con una cobertura vegetal densa (aproximadamente 106 ha), representado por árboles de 10 a 15 m de altura; las especies que predominan son *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Conocarpus erecta* (mangle botoncillo). El estero es alimentado por escurrimientos temporales y por el desbordamiento del río Colotepec en temporada de lluvias. El segundo sitio es La Ventanilla, esta se localiza en la parte oriental de la Laguna Tonameca ($15^\circ 40' 12''$, $15^\circ 40' 24''$ N y $96^\circ 34' 55''$, $96^\circ 34' 35''$ W), está limitado al sur por una barra arenosa que se abre temporalmente una vez al año, usualmente en Mayo o Junio, formando una conexión de corta duración con el mar en la temporada de lluvias, proporcionando al estero de un ambiente dulceacuícola. La Ventanilla es un estero que ha sufrido perturbaciones antropogénicas principalmente por actividades: 1) agrícola, 2) ganadera, 3) pesca en pequeña escala y 4) perturbaciones naturales (huracán Pauline en 1997).

B. Muestreo del suelo y análisis físico-químico

El muestreo de suelo se realizó en el mes de abril y noviembre del 2004, correspondiente a la temporada seca y de lluvias, respectivamente. En cada sitio de manglar se tomaron entre 25 y 30 sub-

muestras, a una profundidad de 0-20 cm; las sub-muestras se mezclaron para obtener una muestra compuesta de aproximadamente 8-10 kg c/u. Las muestras se tomaron utilizando un muestreador de aluminio [15], y se colocaron en bolsas de plástico (previamente etiquetadas) para su traslado al laboratorio de Biotecnología Ambiental de la Universidad del Mar. El acondicionamiento de las muestras consistió en el secado a temperatura ambiente, se retiraron las piedras y restos vegetales de mayor tamaño y posteriormente se tamizaron utilizando una malla de 2mm de diámetro; se separó aproximadamente un kg de suelo de cada sitio para la caracterización físico-química, el resto se utilizó en el experimento de incubación aeróbica.

La caracterización de las muestras de suelo fue la siguiente: el tamaño de partícula de los suelos se determinó por el método del hidrómetro de Bouyoucus en 100g de muestra seca [16]. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se midió por el método de cloruro de bario-trietanolamina [17]; el pH se determinó en una relación de suelo-agua de 1:2.5p/v y se utilizó un potenciómetro (Oakton, ph/mv/°C meter); la conductividad eléctrica (CE) se midió directamente con un conductímetro (Oakton Con110) en el extracto del suelo saturado [18]. La capacidad de retención de agua (CRA), fue medida en muestras de suelo saturado con agua [19]. El fósforo total se determinó por digestión con agua regia y carbonato de sodio [20], el fosforo disponible de acuerdo al método del ácido ascórbico-molibdato de amonio [21]. El carbono y nitrógeno total se determinó en 100 mg de suelo, utilizando el equipo automático Chart 630-08913-01 Shimadzu [22].

C. Incubación aeróbica

Al suelo colectado de cada sitio, se le adicionó agua destilada para ajustar al 50% de la CRA y pre-incubarlo aeróbicamente por siete días a 25°C en un contenedor de plástico de 200 l, el cual contenía un recipiente con agua destilada para evitar desecación y otro recipiente con NaOH 1M para atrapar el CO₂ producido y evitar condiciones anóxicas; la pre-incubación de las muestras de suelo además de permitir la mineralización de sustrato fácilmente degradable [23], fue evitar interferencias debidas al tamizado, la humedad y el contenido de restos vegetales [24]. De cada sitio se pesaron 18 sub-muestras de 30 g c/u, se colocaron en frascos de vidrio (120 ml), y se introdujeron en jarras de vidrio de 945 ml junto con un frasco con agua destilada. Todas las jarras se cerraron y almacenaron a 22°C ± 1. En los días 0, 1, 3, 7, 14 y 28 se seleccionaron al azar tres muestras de cada suelo, a los frascos con los 30 g de suelo se les adicionó 120 ml de una solución extractora de sulfato de potasio (K₂SO₄) 0.5M (relación 1:4 p/v), se llevaron a agitación por 30 min y se filtraron con papel whatman # 42. Los extractos obtenidos se congelaron para su posterior análisis. Para la determinación de NH₄⁺, NO₃⁻ y NO₂⁻ se utilizó el autoanalizador San Plus System Analyzer. La mineralización del N se cuantificó a partir de la acumulación de amonio más nitratos (NH₄⁺ + NO₃⁻), y la nitrificación a partir de nitratos (NO₃⁻) [25].

A los resultados de la concentración de nitratos (NO₃⁻), nitritos (NO₂⁻) y amonio (NH₄⁺), y la caracterización del suelo de manglar se les realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) para determinar diferencias mínimas significativas entre los sitios y entre la temporada seca y lluviosa. La velocidad de mineralización del nitrógeno y la nitrificación, se determinaron a partir del cambio en la cantidad de nitrógeno inorgánico en el suelo a través del tiempo [25]. El análisis de datos fue con el paquete STATISTICA 7.

III. RESULTADOS

A. Características físico-químicas del suelo

En la muestra de suelo de La Ventanilla y Los Naranjos se observaron diferencias significativas en el porcentaje de arena (86.5% y 65.3%), y limo (8.3% y 28.3%) respectivamente; para el porcentaje de arcilla, la diferencia no fue significativa (5.3% y 6.5%) entre sitios. La clase textural fue arenoso-franca y franco-arenosa para La Ventanilla y Los Naranjos respectivamente. En los porcentajes de arena, limo y arcilla no se encontraron diferencias significativas entre temporadas (Tabla 1). La capacidad de

retención de agua (CRA) en La Ventanilla y Los Naranjos, fue en promedios de 92 y 130% respectivamente, existiendo una diferencia significativa ($p < 0.05$). El valor de pH del suelo de La Ventanilla fue de 5.8 (moderadamente ácido), y valor de pH del suelo de Los Naranjos fue de 6.6 (neutro). No se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los valores de pH entre temporadas en el suelo de cada sitio (Tabla 1). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue mayor en Los Naranjos (6.0 cmol/kg) en comparación con La Ventanilla (5.4 cmol/kg), y los valores de la CIC fueron mayores en la temporada de lluvias con respecto a la temporada seca en ambos sitios.

Tabla I. Valores promedio de las características del suelo.

Característica	La Ventanilla		Los Naranjos	
	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias
pH _{H2O} 1:2	5.9 (1.2)	6.0 (0.4)	6.6 (1.4)	6.6 (0.1)
CIC cmol kg ⁻¹	3.3 (1.5)	7.5 (4.5)	3.9 (2.7)	8.1 (1.2)
CE dS m ⁻¹	12.0 (10)	10.0 (2.0)	21.0 (10)	19.0 (0.4)
C orgánico mg kg ⁻¹	84.0 (45)	46.0 (27)	121.0 (92)	95.0 (25)
P disponible mg kg ⁻¹	ND	42.6 (2.2)	ND	82.2 (4.7)
Arcilla %	3.0 (2.0)	7.0 (4.0)	7.0 (8.0)	5.0 (3.0)
Limo %	9.0 (5.0)	7.0 (6.0)	26.0 (8.0)	30.0 (5.0)
Arena %	88.0 (4.0)	86.0 (10)	67.0 (14)	65.0 (7.0)
CRA %	128.0 (17)	57.0 (42)	142.0 (28)	119.0 (57)

El valor entre paréntesis es el error estándar.

La concentración de nitrógeno, fósforo y carbono total en Los Naranjos (71.4, 1.01 y 101.4 mg kg⁻¹ respectivamente), fue mayor con respecto a La Ventanilla (1.9, 0.28 y 47.1 mg kg⁻¹ respectivamente) en la temporada lluvia; por el contrario, en la temporada seca en La Ventanilla los valores de nitrógeno y fósforo total fueron mayores (Fig. 1a, b). El suelo de Los Naranjos, no presentó diferencias significativas en la concentración de carbono total entre temporadas (Fig. 1c), La concentración de nitrógeno y fósforo total en Los Naranjos, fue mayor en la temporada de lluvias con respecto a la temporada de secas (Fig. 1a, b).

B. Dinámica de N inorgánico, velocidad de mineralización y nitrificación

La concentración promedio de amonio (NH₄⁺) fue mayor en el suelo de Los Naranjos (58 y 171 mg kg⁻¹ de NH₄⁺-N), en comparación del suelo de La Ventanilla, (13 y 98 mg kg⁻¹ NH₄⁺-N) para la temporada seca y lluviosa, respectivamente. En contraste, la concentración de nitratos (NO₃⁻) fue mayor en promedio en La Ventanilla con respecto a Los Naranjos (Tabla 2).

Los valores de mineralización del N y la nitrificación mostraron una marcada variación entre sitios y temporadas (Tabla 2); se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$), y el valor promedio en Los Naranjos fue mayor en comparación de La Ventanilla.

La mineralización del N y la nitrificación fueron más bajas en la temporada seca que en la temporada lluviosa. En Los Naranjos en la temporada seca en la mineralización del N, se obtuvo un valor promedio negativo (-1.0 mg/kg), esto indica la inmovilización del N en la biomasa microbiana [25]. También se encontraron valores negativos en el día 14 y 28 en la temporada seca, y en el día 28 en la temporada lluviosa en La Ventanilla (Tabla 2). De igual manera se encontraron valores negativos en la nitrificación en el día 14 y 28 en ambos sitios, en la temporada seca.

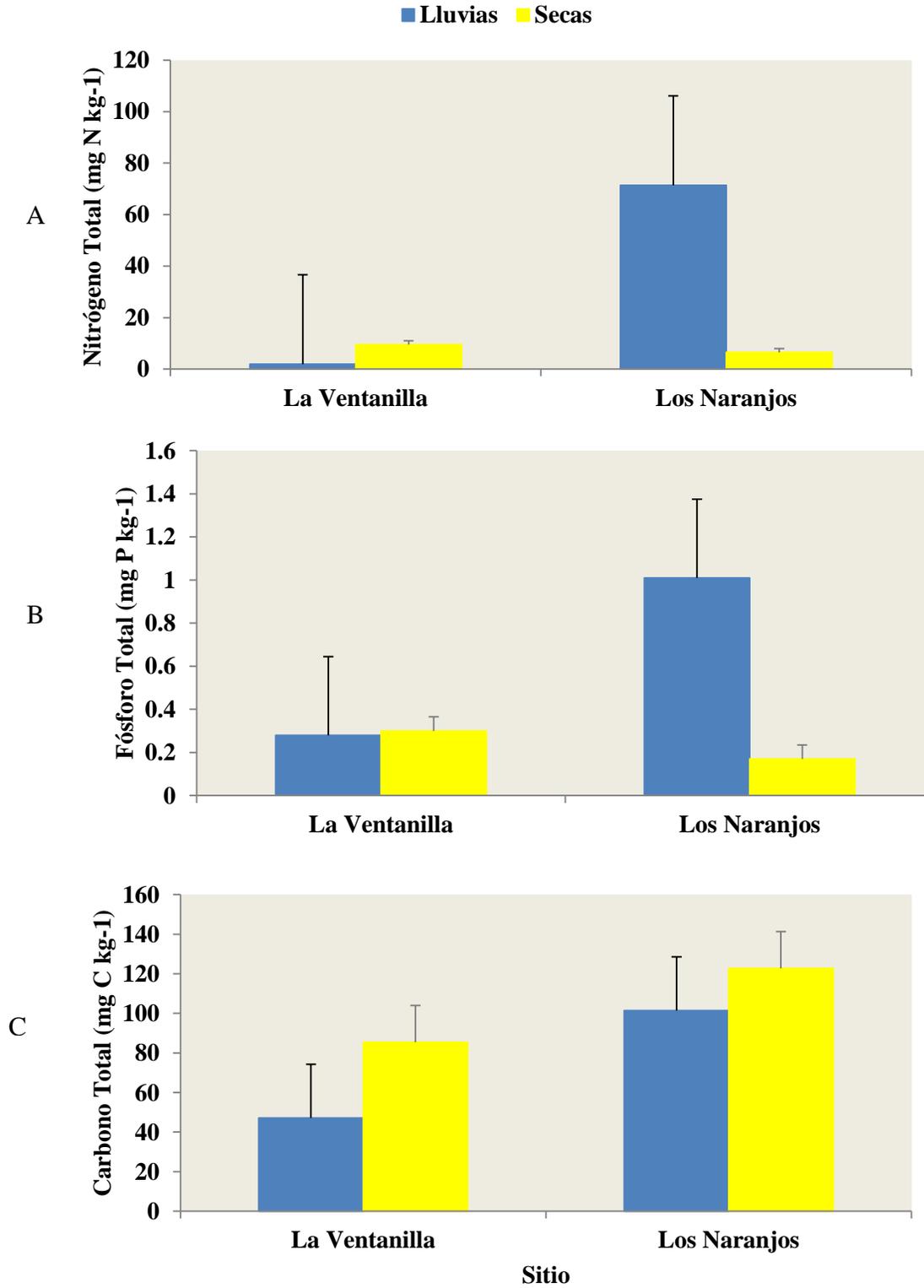


Fig. 1. Concentración de N (a), P (b) y C (c), por sitio y temporada.

La velocidad de mineralización del N y de la nitrificación presentaron un comportamiento similar (Fig. 2a, b); existió un incremento al día 07 y posteriormente se observó un decremento al día 14 en los cuatro tratamientos; y finalmente para el día 28 hay una disminución en la velocidad de mineralización N y la nitrificación en los sitios y en ambas temporadas (secas y lluvias); solo en el caso de Los Naranjos en la temporada de lluvias se observó un incremento hacia el día 28 de la incubación.

Tabla II. Valores promedio del nitrógeno inorgánico, la Mineralización N y Nitrificación.

Sitio	Día	NH ₄ ⁺ mg kg ⁻¹		NO ₃ ⁻ mg kg ⁻¹		Mineralización N mg kg ⁻¹		Nitrificación mg kg ⁻¹	
		Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias
La Ventanilla	0	24 (11)	98 (53)	86 (82)	13 (6.6)	0	0	0	0
	7	11 (9.6)	100 (63)	182 (185)	38 (33)	83 (59)	27 (19)	96 (68)	25 (17)
	14	7.6 (15)	111 (35)	182 (196)	62 (62)	-4.2 (3)	33 (24)	-0.1 (0.1)	23 (16)
	28	9.4 (15)	84 (46)	111 (108)	62 (41)	-68 (48)	-26 (19)	-70 (49)	0.13 (0.1)
Los Naranjos	0	74 (50)	173 (41)	37 (36)	19 (6.9)	0	0	0	0
	7	60 (74)	185 (36)	106 (87)	38 (40)	55 (38)	31 (22)	69 (49)	19 (13)
	14	39 (52)	187 (38)	68 (76)	40 (29)	-59 (42)	3.7 (2.7)	-38 (27)	2.1 (1.5)
	28	60 (80)	139 (55)	46 (40)	182 (142)	0.1 (0.1)	94 (66)	-21 (14)	141 (100)

El valor entre paréntesis es el error estándar.

IV. DISCUSIÓN

Las diferencias encontradas en las características físico-químicas (textura, pH, CE, CIC, CRA) y en las concentraciones de C, N y P totales entre el suelo de los sitios estudiados se debió principalmente a la presencia de árboles de mangle y la cobertura vegetal. En el sitio Los Naranjos se mantiene la cobertura vegetal, a diferencia de La Ventanilla, en donde se perdió gran parte de la vegetación debido al huracán Pauline en el año de 1997. Routray *et al.* [26] y Ferreira *et al.* [27], mencionan que la vegetación produce cambios físico-químicos en el suelo, lo que permite moderar los cambios de pH y salinidad causados por la lluvia.

El mayor valor de la CIC encontrada en el suelo de Los Naranjos probablemente se debió a la mayor cantidad de arcillas y limos presentes (Tabla 1), y al presentar una mayor área superficial y carga negativa son químicamente más activos que las arenas, por lo tanto, presentan mayor actividad de intercambio catiónico. Dinesh *et al.* [11] reportaron que la CIC, CE, CRA, C orgánico y pH fue mayor en suelos de sitios sin perturbar vs suelos perturbados; en el presente trabajo se obtuvieron resultados similares.

Los resultados de C, P y N totales están relacionados a la presencia de materia orgánica, a una mayor cobertura vegetal: hojas caídas, raíces, troncos, flores, entre otras; los cuales son transformados a través de la actividad microbiana [28], proveen una mayor cantidad de nutrientes, y su concentración depende del tiempo de residencia de la materia orgánica en el suelo, así como del tipo de residuos vegetales.

Holguin *et al.* [4], establecen que para el reciclamiento de nutrientes existe una estrecha relación entre plantas y microbios y ésta funciona para conservar los nutrientes del ecosistema de manglar. La tasa de mineralización del N y la nitrificación en el suelo de Los Naranjos fue mayor, probablemente

debido a la presencia de partículas orgánicas ricas en nitrógeno, éstas proporcionan una suficiente cantidad de sustrato fácil de degradar (lábil) a la comunidad microbiana heterotrófica [29], además de la acumulación de materia orgánica en la temporada seca (Cuadro 1), la cual estimula la actividad microbiana en la temporada lluviosa [30]. En Los Naranjos, en la temporada seca se obtuvo en promedio un valor negativo en la mineralización del N (-1.0 mg kg^{-1}), esto indica la inmovilización del N por parte de la población microbiana [25, 31].

Tate [32], menciona a la relación C/N para predecir la variación en la mineralización del N y la inmovilización, basándose en el hecho de que las bacterias heterotróficas usualmente tienen una relación C/N más baja en comparación con el suelo en donde ellas habitan. El suelo con una relación alta C/N (25-30) pueden ser caracterizados por una rápida inmovilización del N, por el contrario, en el suelo con baja relación C/N (<25) se promueve la mineralización. En el presente estudio el suelo de La Ventanilla en la temporada lluviosa y el suelo de Los Naranjos en la temporada seca presentaron la más alta relación C/N con un valor de 25 y 19, respectivamente, sin embargo, solo en el caso del suelo de Los Naranjos se cumple lo mencionado por Tate [32].

Una posible explicación a lo anterior, es lo mencionado por Bengtsson *et al.* [33], quienes formularon la hipótesis de que la variación en la biomasa microbiana y su actividad, están relacionadas con la tasa de inmovilización y mineralización del N. A pesar de la importancia de los microorganismos en el recambio y retención del nitrógeno en el suelo, las causas de la variación de la inmovilización del N en el suelo aún no son conocidas del todo.

La velocidad de nitrificación es afectada por una serie de factores físico-químicos y biológicos como: temperatura, concentración de amonio, tensión de oxígeno, pH, concentración de CO_2 disuelto, salinidad, presencia de compuesto inhibidores, luz, actividad de micro y macro organismos, la presencia y actividad de las raíces de las plantas. Dinesh *et al.* [11], encontraron en su estudio una menor velocidad de nitrificación en el sitio perturbado *vs* el sitio sin perturbar, los valores reportados en dicho trabajo fueron en promedio de 62 y 144 mg/kg N en diez días, respectivamente para cada sitio; en este trabajo se obtuvieron resultados diferentes con relación a los sitios: el valor de Los Naranjos (sin perturbar) no fue mayor a La Ventanilla (perturbado) (Fig. 2b), también, se encontró una velocidad de nitrificación mayor en la temporada seca con respecto a la temporada de lluvia, esto concuerda con la mayor cantidad de N de la biomasa microbiana en la temporada seca (datos no mostrados); además, Rashmi *et al.* [34], encontraron una mayor población bacteriana nitrificante en la temporada seca en un manglar tropical de la India. Sin embargo, Kemmit *et al.* [23], concluyeron que no es proporcional la velocidad de mineralización de la materia orgánica con el tamaño, actividad o composición de la biomasa microbiana.

Los resultados de la velocidad de mineralización (Fig. 2a) se encuentran dentro de los valores reportadas por Herbert [35], que van de 7 a 430 mg N para sitios sin vegetación, y de 229 a 1125 mg N para sitios con vegetación. El mismo autor menciona que los valores bajos de la mineralización en ambientes sin vegetación son debidos a la baja incorporación de nitrógeno orgánico, sin embargo, en nuestro estudio no encontramos diferencia con respecto a la cobertura vegetal; más aún, considerando las diferencias en el N de la biomasa, la cual fue mayor en la temporada de lluvias (en ambos sitios) con relación a la temporada seca, y por lo tanto, se esperaría una mayor transformación del nitrógeno orgánico promovida por la activada de los organismos heterotróficos en Los Naranjos. Bengtsson *et al.* [33], mencionan que existen diversos factores que afectan la velocidad de mineralización: C y N de la biomasa, humedad y temperatura del suelo, además, la cantidad y la calidad de la materia orgánica adicionada en ambientes costeros [35], así como el tipo de microorganismos que se encuentran en el sitio.

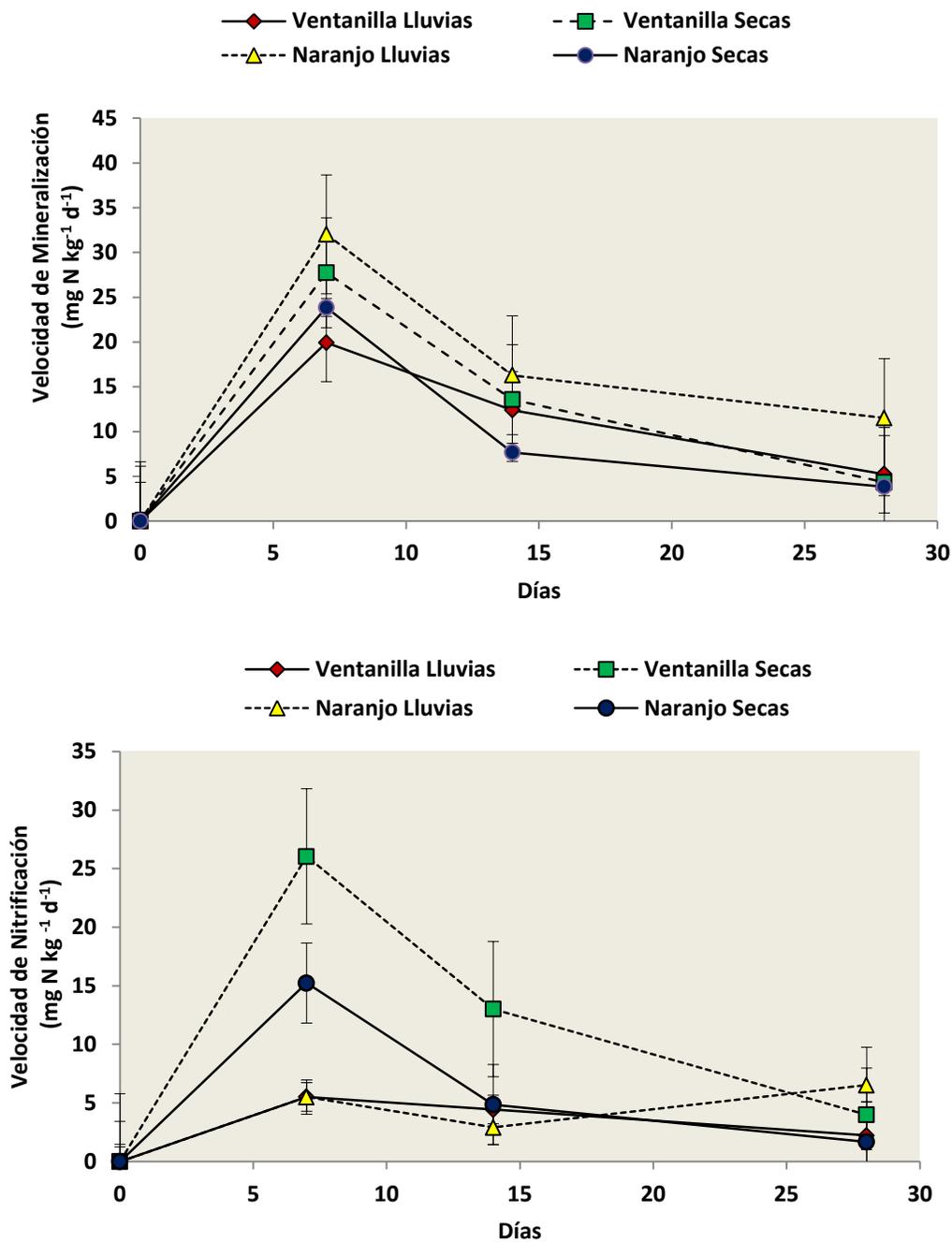


Fig. 2. (a-b) Velocidad de Mineralización y Nitrificación, por sitio y temporada.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, existieron diferencias en las propiedades físico-químicas y en la actividad microbiana en el suelo de los manglares de La Ventanilla y Los Naranjos. La presencia de los árboles de mangle es un factor importante para establecer las diferencias que hubo en los indicadores analizados, entre el suelo del sitio perturbado vs sin perturbar; por lo tanto, la plantación de árboles de mangle a través de un programa de reforestación es necesaria para estimular la rehabilitación y

restauración del ecosistema [36, 37]. Los resultados del presente estudio servirán como antecedente en futuras investigaciones en la relación planta-suelo-microorganismos de manglar de sitios perturbados y sin perturbar, en la zona costera del pacífico sur del estado de Oaxaca, en donde es necesario realizar más investigación para conocer el estado de salud del suelo del manglar, a través de la identificación de los microorganismos presentes y estudiar con más detalle los procesos biológicos que en él se llevan a cabo.

RECONOCIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por el Programa de Mejoramiento al Profesorado (PROMEP).

REFERENCIAS

- [1] J. A. Jimenez, and K. Sauter. "Structure and dynamics of mangrove forest along a flooding gradient," *Estuaries*, vol 14, 49-56, 1991.
- [2] K. G. Boto, and J.T. Wellington. "Soil characteristics and nutrient status in a northern australian mangrove forest," *Estuaries*, vol 7, 61-69, 1984.
- [3] B. Suprayogi, and F. Murray. "A field experiment of the physical and chemical effects of two oils on mangroves," *environ. Exp. Bot.*, vol 42(3), 221-229, 1999.
- [4] G. Holguín, P. Vázquez, and Y. Bashan. "The role of sediment microorganisms in the productivity, conservation and rehabilitation of mangrove ecosystems: an overview," *Biol Fertil Soils*, vol. 33, pp. 265-278, 2001.
- [5] D. M. Alongi, P. Christoffersen, and F. Tirendi. "The influence of forest type on microbial-nutrient relationships in tropical mangrove sediments," *Journal of experimental marine biology and ecology*, vol. 171, 201-223, 1993.
- [6] D. M. Alongi, L. A. Trott, G. Wattayakorn, and B. F. Clough. "Belowground nitrogen cycling in relation to net canopy production in mangrove forest of southern Thailand," *Marine biology*, vol 140, 855-864, 2002.
- [7] R.W. Howarth, and R. Marino. "Nitrogen fixation in freshwater, estuarine and marine ecosystems. 2. Biogeochemical controls," *Limnology and Oceanography*, vol 33, 688-701, 1988.
- [8] G. Toledo, Y. Bashan, and A. Soeldner. "Cyanobacteria and black mangroves in Northwestern México: colonization, and diurnal and seasonal nitrogen fixation on aerial roots," *Canadian Journal of Microbiology*, vol 41,999-1011, 1995.
- [9] V. C. Oswald, and B. Pascal. "Nitrogen and its transformations," *Encyclopeia of Soil Science*. Marcel Dekker, Inc. New York, 2002, pp.856-859.
- [10] G. V. Alejandra, L. P. Jorge, and Y. Bashan. "N₂-fixation along a gradient of long-term disturbance in tropical mangroves bordering the gulf of Mexico," *Biol Fertil Soils*, vol 47, pp. 567-576, 2011.
- [11] R. Dinesh, S.G. Chaudhuri, A.N. Ganeshamurthy, and S.C. Pramanik. "Biochemical properties of soils of undisturbed and disturbed mangrove forests of South Adaman (India)," *Wetlands Ecology and Manangement*, vol. 12: 309-320, 2004.
- [12] Centro Nacional de Prevención de Desastres. "Atlas climático de ciclones tropicales en México", México, D.F., pp. 55, 2002.
- [13] M. F. Becerril. "Algunos aspectos sobre ecología y conservación en el estero La Ventanilla, Oaxaca," *Ciencia y Mar*, vol. 5(15), pp. 37-45, 2001.
- [14] H. C. Tovilla, and B. E. Orihuela. "Manual de Técnicas y Métodos de Restauración de Zonas Alteradas en Manglares," ECOSUR. México, 2002.
- [15] J. Forster. "Soil sampling, handling, storage and analysis," in *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*, K. Alef and P. Nannipieri, Eds. Academic Press, UK, 1995, pp. 49-51.

- [16] G. W. Gee, and J. W. Bauder. "Particle size analysis," in *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. A. Klute Ed. Soil Science Society of America, Inc. USA, 1986, pp. 383-411.
- [17] Y. E. Primo, y D. J. M. Carrasco. "Química Agrícola I: Suelos y Fertilizantes," Editorial Alhambra, S. A. Madrid, España, 1981.
- [18] L. A. Richards. "Diagnostico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos," Dpto. de Agricultura de los E. U. Editorial Limusa, México, 1993.
- [19] A. Klute. "Water retention: Laboratory Methods," in *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, A. Klute Ed. Soil Science Society of America, Inc. USA, 1986, pp. 635-662.
- [20] A. R. Crosland, F. J. Zhao, S. P. McGrath, and P. W. Lane. "Comparison of aqua regia digestion with sodium carbonate fusion for the determination of total phosphorus in soils by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP)," *Communications in Soil Science and Plant Anal*, vol. 26, pp. 1357-1368, 1995.
- [21] S. Kuo. "Phosphorus," in *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods*, L. D. Sparks Ed. Soil Society of America, Inc. USA, pp. 869-919, 1996.
- [22] J. M. Bremner. "Nitrogen-Total," in *Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical Methods*, D. L. Sparks Ed. Soil Science Society of America, Inc. USA, 1996, pp. 1085-1122.
- [23] S. J. Kemmitt, C. V. Lanyon, I. S. Waite, Q. Wen, T. M. Addiscott, N. R. A. Bird, A. G. O'Donnell, and P. C. Brookes. "Mineralization of native soil organic matter is not regulated by the size, activity or composition of the soil microbial biomass- a new perspective." *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 40, pp. 61-73, 2008.
- [24] G. P. Sparling, and D. J. Ross. "Biochemical methods to estimate soil microbial biomass: Current developments and applications," in *Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture*, K. Mulongoy and R. Merckx Eds. Wiley-Sayce Co-Publication. Leuven, U. K., 1993, pp. 21-37.
- [25] S. C. Hart, M. J. Stark, E. A. Davidson, and M. K. Firestone. "Nitrogen Mineralization, Immobilization and Nitrification," in *Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*, S. H. Mickelson Ed. Soil Science Society of America, Inc. USA, 1994, pp. 985-1018.
- [26] T. K. Routray, G. Satapathy, and A. K. Mizar. "Seasonal fluctuation of soil nitrogen transforming microorganisms in Bhitarkanika mangrove forest," *J. Environ. Biol*, vol. 17, pp. 325-330, 1996.
- [27] T. O. Ferreira, P. Vidal-Torrado, X. L. Otero, and F. Macias. "Are mangrove forest substrate sediments or soils? A case study in southeastern Brazil," *Catena*, vol. 70, pp. 79-91, 2007.
- [28] G. Holguín, Y. Bashan, R. A. Mendoza-Salgado, E. Amador, G. Toledo, P. Vázquez, y A. Amador. "La Microbiología de los Manglares: Bosques en la frontera entre el mar y la tierra," *Ciencia y Desarrollo*, vol. 144, pp. 27-35, 1999.
- [29] E. Kristensen, and P. Suraswadi. "Carbon, nitrogen and phosphorus dynamics in creek water of a southeast Asian mangrove forest," *Hydrobiologia*, vol. 474, pp. 197-211, 2002.
- [30] O. F. Garcia, B. Sveshtarova, and M. Oliva. "Seasonal effects on soil organic carbón dynamics in tropical deciduous forest ecosystem in western Mexico," *Journal of Tropical Ecology*, vol. 19, pp. 179-188, 2003.
- [31] M. M. Mikha, C. W. Rice, and G. A. Milliken. "Carbon and nitrogen mineralization as affected by drying and wetting cycles," *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 37, pp. 339-347, 2005.
- [32] R. L. Tate. "Soil microbiology," Wiley, New York, 1995.
- [33] G. Bengtsson, P. Bengtson, and K. F. Mansson. "Gross nitrogen mineralization- immobilization and nitrification rates as a function of soil C/N ratio and microbial activity," *Soil Biology and Biochemistry* 35: 143-154. 2003.

- [34] R. M. Rashmi, R. S. Manas, K. D. Tushar, and T. Hrudayanath. "Diversity and seasonal fluctuation of predominant microbial communities in Bhitarkanika, a tropical mangrove ecosystem in India," *Rev. Biol. Trop.*, vol. 60(2), pp. 909-924, 2012.
- [35] R. A. Herbert. "Nitrogen cycling in coastal marine ecosystems," *FEMS Microbiol. Rev.*, vol. 23, pp. 563-590, 1999.
- [36] C. D. Field. "Rehabilitation of mangrove ecosystems: An overview," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 37(8-12), pp. 383-392, 1998.
- [37] D. M. Alongi. "Present state and future of the world's mangrove forests," *Environmental Conservation*, vol. 29(3), pp. 331-349, 2002.