

Short communication / Comunicación breve

INCREMENTO DE NITRÓGENO EN *Thalassia testudinum* POR EL APORTE DE NITRÓGENO DISUELTO INORGÁNICO DE AGUAS RESIDUALES DURANTE PRECIPITACIONES EXTRAORDINARIAS

Nitrogen increase in *Thalassia testudinum* by the contribution of dissolved inorganic nitrogen from wastewater in extraordinary precipitations

Dilian ANGUAS CABRERA¹, María Concepción ORTIZ HERNÁNDEZ²,
Karla CAMACHO CRUZ¹ y Alberto SÁNCHEZ GONZÁLEZ^{1*}

¹ Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Av. IPN s/n, Colonia Playa Palo de Santa Rita, C.P. 23096, La Paz, Baja California Sur, México

² El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal, Av. Centenario km 5.5, C.P. 77014, Chetumal, Quintana Roo, México

*Autor para correspondencia: alsanchezg13@gmail.com

(Recibido: octubre 2018; aceptado: marzo 2019)

Palabras clave: pasto marino, Caribe mexicano, acuífero subterráneo, oligotrófico, laguna de arrecife

RESUMEN

Las lagunas de arrecife del Caribe mexicano son ecosistemas oligotróficos, donde las descargas de agua residuales (DAR) asociadas a la actividad turística, en algunos casos son vertidas a los acuíferos subterráneos, suministrando nitrógeno inorgánico disuelto (NID) a las mismas. El aporte de NID puede ser exacerbado en años con precipitación extraordinaria (2013 con > 2500 mm) en el Caribe mexicano. Por su parte, el pasto marino *Thalassia testudinum* se caracteriza por un contenido de nitrógeno < 2 % en peso seco. Si el flujo de NID se incrementa debido a precipitaciones excepcionales, es de esperar que el contenido de nitrógeno en *T. testudinum* aumente con respecto a la precipitación promedio histórica (1200 mm) de los últimos 30 años. En el presente trabajo se cuantificó el contenido de nitrógeno en *T. testudinum* mediante un analizador elemental, para determinar cambios asociados con las DAR durante la época seca y lluviosa entre los años 2010 a 2016 en la Bahía de Akumal. En los años de 2010, 2012, 2015 y 2016 el contenido de nitrógeno fue similar entre épocas y en los años 2013 y 2014 fue mayor en la época de lluvias con respecto a la época seca. Esto sugiere que, en periodos de precipitaciones extraordinarias el flujo de NID a las lagunas costeras del Caribe incrementa haciendo disponible este nitrógeno para *T. testudinum*.

Key words: seagrass, Mexican Caribbean, groundwater aquifer, oligotrophic, reef lagoons

ABSTRACT

The Mexican Caribbean reef lagoons are oligotrophic ecosystems, where residual water discharges (RWD) associated with tourist activity to groundwater aquifer systems supply additional dissolved inorganic nitrogen (DIN) to these lagoons. The contribution of DIN can be exacerbated in years with extraordinary precipitation (> 2500 mm in 2013) in the Mexican Caribbean. *Thalassia testudinum* seagrass is characterized by a

nitrogen content $< 2\%$ dry weight. If the DIN flow increases in exceptional rainfall, it is expected that the content of nitrogen in *T. testudinum* will increase with respect to the historical average precipitation (1200 mm) of the last 30 years. In the present work the nitrogen content in *T. testudinum* is quantified in order to determine changes associated with the RWD during the dry and rainy season from 2010 to 2016 in Akumal Bay. The nitrogen content in the leaves of *T. testudinum* was quantified in an elemental analyzer. In the years of 2010, 2012, 2015 and 2016 the nitrogen content in *T. testudinum* was similar between dry and rainy season. In the years of 2013 and 2014, the nitrogen content was higher in the rainy season with respect to the dry season. This evidence suggests that in periods of extraordinary rainfall, the flow of DIN to the coastal lagoons of the Caribbean increases, making this nitrogen available to the seagrass *T. testudinum*.

INTRODUCCIÓN

El contenido de nitrógeno en *Thalassia testudinum* se ha usado como indicador de las condiciones nutricias del ambiente donde estas plantas habitan (Lee et al. 2004, Darnell et al. 2017). Las hojas y raíces de este pasto incorporan nutrimentos de la columna de agua o del agua intersticial del sedimento (Lee y Dunton 1999, Darnell et al. 2017, Mutchler y Hoffman 2017). Experimentos con fertilización de la columna de agua y del agua intersticial en *T. testudinum* han demostrado que sus raíces y hojas responden, de manera muy similar y rápidamente, a la asimilación de nitrógeno. Sin embargo, el contenido de nitrógeno es mayor en las hojas que en las raíces, debido a la mayor disponibilidad de nitrógeno, finalmente acumulado en las hojas (Lee y Dunton 1999).

En sistemas oligotróficos tropicales, la concentración de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) es $< 1\ \mu\text{M}$, mientras que uno de los principales productores primarios en estos ecosistemas costeros someros, los pastos marinos, están caracterizados por bajo contenido de nitrógeno $< 2\%$ de peso seco (Carruthers et al. 2005, Fourqurean et al. 2005, Govers et al. 2014). Sin embargo, el desarrollo urbano y turístico ocasiona un incremento en la concentración de NID debido al vertimiento de aguas residuales crudas o con deficiente tratamiento hacia los acuíferos subterráneos; el agua dulce de los acuíferos es, a su vez, descargada a los sistemas costeros oligotróficos (Carruthers et al. 2005, Mutchler et al. 2007, Hernández-Terrones et al. 2011, Sánchez et al. 2013, Null et al. 2014).

En el Caribe mexicano, el incremento de aportes de NID hacia la laguna Nichupté en Cancún, ha sido trazado a partir del contenido de nitrógeno en las hojas del pasto marino *T. testudinum*. Durante la época seca del año de 1991, el contenido de nitrógeno fue $< 2\%$ (van Tussenbroek 1995) y su contenido incrementó a 4% en el año de 2012 en la misma época (Sánchez et al. 2013) producto de las descargas

de aguas residuales (DAR) de la zona hotelera de Cancún hacia esta laguna (Carruthers et al. 2005, Sánchez et al. 2013).

En la Bahía de Akumal, la abundancia y cobertura de *T. testudinum* ha disminuido considerablemente del 2008 al 2012, probablemente debido a mayor pastoreo de la tortuga *Chelonia mydas* (Molina-Hernández y van Tussenbroek 2014), ya que el incremento de nitrógeno en las hojas de este pasto hace más palatable su ingesta (Mutchler y Hoffman 2017). Adicionalmente, el buceo libre (como atractivo turístico) con la población más importante de juveniles de tortugas verdes del Caribe, ocasionó un aumento considerable en el número de buzos pasando de 4000 en 2011 a casi 22000 en 2014 (Gil et al. 2015), evidencia de un mayor arribo de turistas a la bahía en la última década, la cual fue declarada área de refugio para especies marinas protegidas en 2016 por el Gobierno Mexicano (DOF 2016). De acuerdo con lo anterior, resulta relevante aportar información científica que contribuya con la planeación del manejo de las actividades turísticas en el ecosistema de laguna arrecifal. Bajo esta perspectiva, la posibilidad de contrastar registros del contenido de nitrógeno en hojas de *T. testudinum* en los últimos años permitirá identificar si el aporte de NID de la DAR es exacerbado por el incremento de las actividades turísticas en la bahía. El objetivo del presente trabajo es estimar el contenido de nitrógeno en hojas del pasto marino *T. testudinum* con la finalidad de determinar cambios asociados con las DAR durante la época seca y de lluvias de los años 2010 a 2016 en la Bahía de Akumal, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El pasto marino *T. testudinum* fue recolectado en la Bahía de Akumal (**Fig. 1**), sitio de mediano desarrollo turístico (Sánchez et al. 2013), caracterizado por la presencia de la población de tortugas verdes

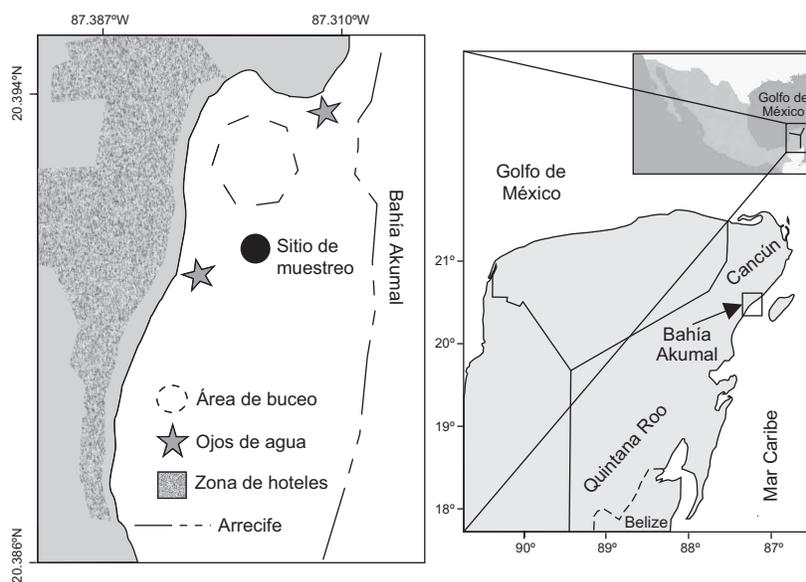


Fig. 1. Área de estudio y sitio de muestreo (círculo negro) del pasto marino *Thalassia testudinum* en Bahía de Akumal, Quintana Roo. Elaboración propia

juveniles residentes más importante del Caribe, que se alimentan de este pasto marino (Talavera-Sáenz 2016). La recolecta de las hojas de *T. testudinum* se llevó a cabo durante la temporada seca (febrero-marzo) y de lluvias (octubre-noviembre), mediante buceo libre con ayuda de un tubo de policloruro de vinilo (PVC) en el periodo de 2010 a 2016. Las hojas fueron lavadas con agua dulce para eliminar el exceso de sales y sedimento, asimismo, los elementos epífitos fueron eliminados, para finalmente enjuagar con agua destilada. Las hojas fueron secadas en un horno a 40 °C y se homogeneizaron con un mortero de ágata. De cada muestra se pesaron dos submuestras de 1 mg para su análisis elemental de nitrógeno mediante un analizador elemental Costech 4010 del Laboratorio de Espectrometría de Masas (LEsMa) en el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional. El porcentaje de recuperación de nitrógeno elemental fue < 99.5 %, estimado de 12 réplicas de estándares certificados BBOT-NIST (6.51 %) y Urea-NIST (46.62 %).

Los datos del contenido de nitrógeno fueron contrastados entre épocas y años de colecta utilizando pruebas estadísticas no paramétricas con un intervalo de confianza del 95 %.

RESULTADOS

Los valores promedio de nitrógeno en las hojas de *T. testudinum* fueron de 2.3 ± 0.6 %, con un

mínimo de 1.6 % y máximo de 4.3 %. En la época seca se registró un promedio de 2.6 ± 0.8 % con mínimo de 2.0 % y máximo de 4.3 % y durante la época de lluvias un promedio de 2.2 ± 0.3 % con mínimo de 2.0 % y máximo de 2.6 % (**Fig. 2**). La comparación de los valores del contenido de nitrógeno entre temporadas de lluvias y secas indicó que existen diferencias significativas entre las mismas ($H_n = 1.34$, $\alpha = 0.05 = 33.479$, $p < 0.001$). Los años 2011 ($p = 0.029$), 2013 ($p = 0.015$) y 2014 ($p = 0.004$) fueron significativamente diferentes entre temporadas; mientras que los años 2010 ($p = 0.1144$), 2012 ($p = 0.114$), 2015 ($p = 0.240$) y 2016 ($p = 0.250$) no fueron significativamente diferentes. Para mayor especificidad, el contenido de nitrógeno en *T. testudinum* fue contrastado entre años para la época de lluvias, encontrando diferencias significativas para 2010, 2011, 2012, 2015 y 2016 con respecto a los años 2013 y 2014 con $p < 0.001$ para todos los contrastes.

DISCUSIÓN

El contenido de nitrógeno promedio de 2 % ha sido considerado característico de las hojas de *T. testudinum* para diversas regiones tropicales (Fourqurean et al. 2005, Sánchez et al. 2013, Govers et al. 2014, Darnell et al. 2017). En la bahía de Florida, varió de 1.9 a 2.9 % en el periodo de 2001 a 2016 (Fourqurean 2017), valores similares a los

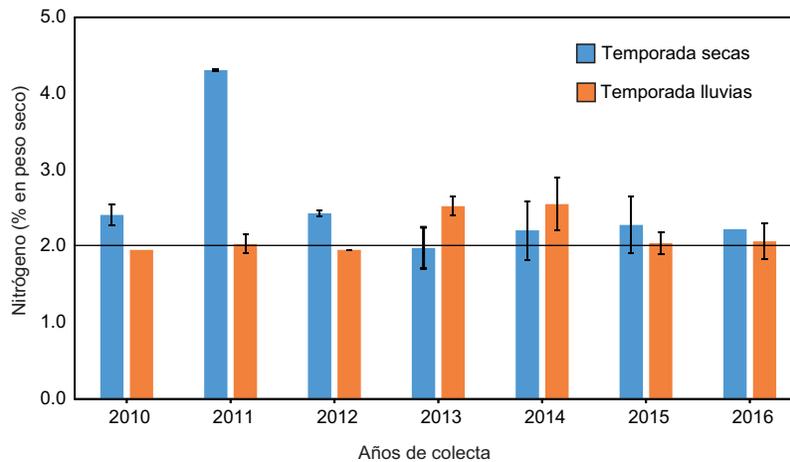


Fig. 2. Contenido de nitrógeno promedio ($n = 2$) y desviación estándar en las hojas de *Thalassia testudinum* en Bahía de Akumal en la época seca (barra azul) y lluvias (barra naranja) para el periodo de 2010 a 2016. La línea continua representa el valor característico de 2 % de nitrógeno en este pasto marino

registrados durante el estudio que se reporta. Por otra parte, el contenido de nitrógeno mostró un patrón similar al disminuir y aumentar entre la época seca y lluviosa, respectivamente para ambas bahías, con excepción para 2013 y 2014 bajo condiciones de precipitación extrema en Akumal. En la bahía de Florida precipitaciones extremas de 2300 mm ocurrieron durante 2010 con respecto al promedio histórico de 1500 mm (Darnell et al. 2017), sin embargo, el contenido de nitrógeno se mantuvo sin cambio entre ambas épocas (Fourqurean 2017), lo que no fue observado en 2013 y 2014, en bahía Akumal. De hecho, durante eventos extremos de descarga del río Mississippi a lo largo de la costa de Luisiana en, Estados Unidos de América, el contenido de nitrógeno en *T. testudinum* mostró una tendencia a incrementar (Darnell et al. 2017). Esto sugiere que la descarga de agua dulce que transporta NID, es aprovechada por el pasto, al incrementar en las hojas su contenido de nitrógeno (Darnell et al. 2017).

En el Caribe mexicano, la DAR es la única fuente de nitrógeno antrópico, producto de la gran actividad turística, hacia los sistemas costeros (Sánchez et al. 2013). Aunque se desconoce el volumen de la DAR, el flujo de NID promedio es de 160×10^6 mol/d para 2008 en la bahía de Akumal (Hernández-Terrones et al. 2015). Sin embargo, el flujo de NID no es constante y continuo, ya que depende de la precipitación registrada a lo largo del año (Hernández-Terrones et al. 2011, Null et al. 2014). La concentración de NID varía de $78 \pm 10 \mu\text{M}$ en la época seca a $77 \pm 37 \mu\text{M}$

en la época de lluvias hacia el interior de la bahía (Hernández-Terrones et al. 2015). Esto sugiere que el aporte de NID hacia la bahía se mantiene relativamente constante entre las diferentes épocas, bajo condiciones de precipitación promedio de 1000 mm para 2008, que es menor a la precipitación promedio histórica.

El registro histórico de la precipitación promedio es de 1200 mm por año en los últimos 30 años en el estado de Quintana Roo (Fig. 3). Dentro del periodo 2010-2016, las precipitaciones fueron mayores en los años 2013 y 2014 respecto al valor promedio de la precipitación histórica, especialmente durante el año de 2013, cuya precipitación extraordinaria fue > 2500 mm. Las precipitaciones extraordinarias pueden ocasionar un aumento por arrastre en el flujo de NID hacia la Bahía de Akumal (Hernández-Terrones et al. 2015). Esta hipótesis puede ser sustentada por el incremento de nitrógeno observado en las hojas del pasto durante la época de lluvias de 2013 y 2014. Este mismo patrón de aumento en el contenido de nitrógeno es observado en la laguna de Nichupté en Cancún. El contenido de nitrógeno en *T. testudinum* fue de 2 % durante la época de lluvias de 1991 (van Tussenbroek 1995) con una precipitación promedio de 1000 mm. Mientras que, en el año de 2013 fue de 3.7 % (datos no publicados) con una precipitación anual > 2500 mm. De hecho, para la costa de Luisiana, el contenido de nitrógeno se incrementó de 1.5 % a 3 % en *T. testudinum* debido a una mayor descarga de agua dulce en el periodo de 2005 a 2015 (Darnell et al. 2017).

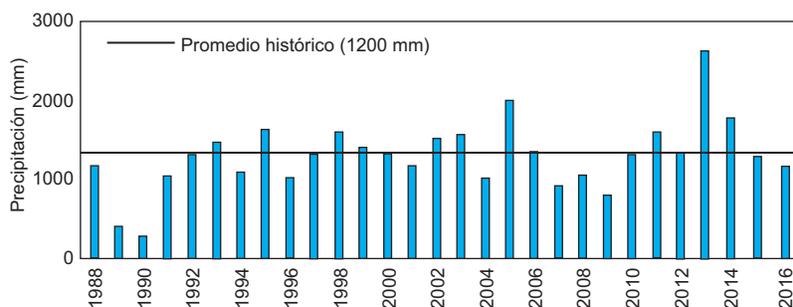


Fig. 3. Precipitación promedio anual en los últimos 28 años en el estado de Quintana Roo. La línea continua representa el promedio histórico de los últimos 30 años (INEGI 2016)

CONCLUSIONES

El contenido de nitrógeno en las hojas del pasto marino *T. testudinum* fue muy similar entre la época de secas y lluvias para los años de 2010, 2012, 2015 y 2016 evidenciando que el flujo de NID de las descargas de agua dulce hacia la Bahía de Akumal no varía entre estas épocas, lo cual contrasta con su incremento en la época de lluvias para 2013 y 2014, sugiriendo un aumento en el flujo de NID hacia la bahía debido a una mayor precipitación y arrastre durante estos años. El incremento de NID puede estar asociado a la gran demanda de bienes y servicios por parte del turismo en el área de estudio.

REFERENCIAS

- Carruthers T. J. B., Van Tussenbroek B. I. y Dennison W. C. (2005). Influence of submarine springs and wastewater on nutrient dynamics of Caribbean seagrass meadows. *Estuar. Coast Mar. Sci.* 64 (2), 191-199. DOI: 10.1016/j.ecss.2005.01.015
- Darnell K. M., Carruthers T. J., Biber P., Georgiou I. Y., Michot T. C. y Boustany R. G. (2017). Spatial and temporal patterns in *Thalassia testudinum* leaf tissue nutrients at the Chandeleur Islands, Louisiana, USA. *Estuaries Coasts* 40 (5), 1288-1300. DOI: 10.1007/s1223
- DOF (2016). Acuerdo por el que se establece con el nombre de Bahía de Akumal el área de refugio para la protección de las especies que se indican, la porción marina que se señala en el Estado de Quintana Roo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, México, 4 pp.
- Fourqurean J. (2017). Florida bay stable isotope data Everglades National Park (FCE), South Florida from January 2005 to Present. Base de datos [en línea]. http://fcelter.fiu.edu/data/core/metadata/?datasetid=LT_PP_Fourqurean_002 21/02/2019.
- Fourqurean J. W., Escorcía S. P., Anderson W. T. y Zieman J. C. (2005). Spatial and seasonal variability in elemental content, $\delta^{13}\text{C}$, and $\delta^{15}\text{N}$ of *Thalassia testudinum* from South Florida and its implications for ecosystem studies. *Estuaries* 28 (3), 447-461. DOI: 10.1007/BF02693926
- Gil M. A., Renfro B., Figueroa-Zavala B., Penié I. y Dunton K. H. (2015). Rapid tourism growth and declining coral reefs in Akumal, Mexico. *Mar. Biol.* 162 (11), 2225-2233. DOI: 10.1007/s00227-015-2748-z
- Govers L. L., Lamers L. P., Bouma T. J., de Brouwer J. H. y van Katwijk M. M. (2014). Eutrophication threatens Caribbean seagrasses—An example from Curaçao and Bonaire. *Mar Pollut. Bull.* 89 (1-2), 481-486. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2014.09.003
- Hernández-Terrones L., Rebolledo-Vieyra M., Merino-Ibarra M., Soto M., Le-Cossec A. y Monroy-Ríos E. (2011). Groundwater pollution in a karstic region (NE Yucatan): Baseline nutrient content and flux to coastal ecosystems. *Water Air Soil Poll.* 218 (1-4), 517-528. DOI: 10.1007/s11270-010-0664-x
- Hernández-Terrones L. M., Null K. A., Ortega-Camacho D. y Paytan A. (2015). Water quality assessment in the Mexican Caribbean: Impacts on the coastal ecosystem. *Cont. Shelf Res.* 102, 62-72. DOI: 10.1016/j.csr.2015.04.015
- INEGI (2016). Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo 2016. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Ciudad de México, México, 407 pp.
- Lee K. S. y Dunton K. H. (1999). Influence of sediment nitrogen-availability on carbon and nitrogen dynamics in the seagrass *Thalassia testudinum*. *Mar Biol.* 134 (2), 217-226. DOI: 10.1007/s002270050
- Lee K. S., Short F. T. y Burdick D. M. (2004). Development of a nutrient pollution indicator using the

- seagrass, *Zostera marina*, along nutrient gradients in three New England estuaries. *Aquat. Bot.* 78 (3), 197-216.
DOI: 10.1016/j.aquabot.2003.09.010
- Molina-Hernández A. L. y van Tussenbroek B. I. (2014). Patch dynamics and species shifts in seagrass communities under moderate and high grazing pressure by green sea turtles. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 517, 143-157.
DOI: 10.3354/meps11068
- Mutchler T. y Hoffman D. K. (2017). Response of seagrass (*Thalassia testudinum*) metrics to short-term nutrient enrichment and grazing manipulations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 486, 105-113.
DOI: 10.1016/j.jembe.2016.09.015
- Mutchler T., Dunton K. H., Townsend-Small A., Fredriksen S. y Rasser M. K. (2007). Isotopic and elemental indicators of nutrient sources and status of coastal habitats in the Caribbean Sea, Yucatan Peninsula, Mexico. *Estuar. Coast Mar. Sci.* 74 (3), 449-457.
DOI: 10.1016/j.ecss.2007.04.005
- Null K. A., Knee K. L., Crook E. D., de Sieyes N. R., Rebolledo-Vieyra M., Hernández-Terrones L. y Paytan A. (2014). Composition and fluxes of submarine groundwater along the Caribbean coast of the Yucatan Peninsula. *Cont. Shelf Res.* 77, 38-50.
DOI: 10.1016/j.csr.2014.01.011
- Sánchez A., Ortiz-Hernández M. C., Talavera-Sáenz A. y Aguiñiga-García S. (2013). Stable nitrogen isotopes in the turtle grass *Thalassia testudinum* from the Mexican Caribbean: implications of anthropogenic development. *Estuar. Coast Mar. Sci.* 135, 86-93.
DOI: 10.1016/j.ecss.2013.01.021
- Talavera-Sáenz A. L. (2016). Hábitos alimenticios de la tortuga verde (*Chelonia mydas*) del litoral central de Quintana Roo, México: Uso del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$. Tesis de Doctorado. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México, 62 pp.
- Van Tussenbroek B. I. (1995). *Thalassia testudinum* leaf dynamics in a Mexican Caribbean coral reef lagoon. *Mar. Biol.* 122 (1), 33-40. DOI: 10.1007/BF00349275