

Contenido de pigmentos fotosintéticos en cuatro especies arbustivas nativas del noreste de México

Content of photosynthetic pigments in four native shrub species of northeastern Mexico

Sarely Vicente-Juan

Tilo Gustavo Domínguez-Gómez*

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de El Salto, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Calle Tecnológico 101, Col. La Forestal. C.P. 34942, El Salto, Durango, México.

Humberto González-Rodríguez

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Carr. Nac. No. 85, km 145, 67700. Linares, Nuevo León, México.

Solís González-Santiago

José de Jesús Graciano-Luna

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de El Salto, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Calle Tecnológico 101, Col. La Forestal. C.P. 34942, El Salto, Durango, México.

*Autor para correspondencia: Gustavo_dguezg@hotmail.com

Resumen

Los pigmentos fotosintéticos como clorofila, carotenoides, xantofilas o flavonoides juegan un papel importante en el proceso asimilatorio de las plantas superiores. El objetivo del presente trabajo fue determinar los contenidos de clorofila a, clorofila b, y carotenoides en cuatro especies arbustivas en el municipio de Los Ramones, Nuevo León. Las especies evaluadas fueron: *Condalia hookeri*, *Syderoxylon celastrinum*, *Prosopis glandulosa*, *Celtis pallida*. Las muestras fueron colectadas al azar en una parcela de 2500 m². Para ello, se extrajeron cinco muestras (hojas) por especie, teniendo un total de veinte muestras, para hacer extracción y lecturas a diferentes niveles de absorbancia para determinar el contenido de pigmentos fotosintéticos. Los contenidos de pigmentos fotosintéticos fueron analizados en un espectrofotómetro UV/VIS Perkin-Elmer (Modelo Lamda 1A). Se empleó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis, para encontrar diferencias en el contenido de los diferentes pigmentos ($P < 0.05$) entre las especies estudiadas. Se observaron diferencias significativas entre los contenidos de pigmentos fotosintéticos. El mayor contenido de clorofila a se presentó en las especies *P. glandulosa* (0.84 mg.gpf⁻¹) y *S. celastrinum* (0.82 mg.gpf⁻¹). Con respecto a la clorofila b, el mayor se observó en *C. hookeri* (0.21 mg.gpf⁻¹) y *P. glandulosa* (0.16 mg.gpf⁻¹). El mayor contenido de carotenoides resultó en *S. celastrinum* y *P. glandulosa* (0.20 mg.gpf⁻¹) y *C. pallida* (0.18 mg.gpf⁻¹). La relación clorofila a + b fue diferente en todas las especies, sin embargo, *S. celastrinum* (1.03 mg.gpf⁻¹) y *P. glandulosa* (1.00 mg.gpf⁻¹) destacaron ligeramente. Respecto a la relación clorofila a/b fue diferente en todas las especies, sin embargo, *P. glandulosa* destacó ligeramente (5.98). La relación chl (a + b) /car fue diferente en todas las especies, sin embargo, *P. glandulosa* destacó ligeramente (5.64). La variación entre los pigmentos representa un papel importante en las actividades fotosintéticas de las diferentes especies. Estas diferencias pueden deberse a las condiciones climáticas, edáficas y la vegetación existente en la localidad.

Palabras clave: Carotenoides, clorofila a y b, pigmentos vegetales, *prosopis*.

Abstract

Plant pigments such as chlorophylls, carotenoids, xanthophylls and flavonoids play an important role during the photosynthetic process of higher plants. The objective of present study was to determine the contents of chlorophyll a, b and carotenoids in four native shrub species, in the municipality of los Ramones, Nuevo Leon, northeastern Mexico. Evaluated plant species were: *Condalia hookeri*, *Syderoxylon celastrinum*, *Prosopis glandulosa*, and *Celtis pallida*. Leaf samples were randomly selected from a 2,500 m² undisturbed plot. In this regard, five leaf samples per species were collected, having a total of 20 leaf tissue samples in order to proceed with the extract preparation to measure absorbance at specific wavelengths to quantify photosynthetic pigment content by means of using a Perkin-Elmer UV/VIS spectrophotometer. According to the Kruskal-Wallis non-parametric test, highly significant differences ($P < 0.05$) were detected in pigment content among studied species. Highest chlorophyll a content were observed in *P. glandulosa* (0.84 mg/g⁻¹ fw) and *S. celastrinum* (0.82 mg/g⁻¹ fw). With respect to chlorophyll b, higher values (0.21 mg/g⁻¹ fw) were shown in *C. hookeri* and *P. glandulosa* (0.16 mg/g⁻¹ fw). With respect to carotenoids, maximum values were observed in *S. celastrinum*, *P. glandulosa* (0.20 mg/g⁻¹ fw) and *C. pallida* (0.18 mg/g⁻¹ fw). Total chlorophyll content (a+b) was different among species, however, *S. celastrinum* and *P. glandulosa* (1.03 mg/g⁻¹ fw) achieved higher values (1.00 mg/g⁻¹ fw). With respect to the chlorophyll a/b ratio, there were significant among species, however, the species *P. glandulosa* acquired higher values (5.98). Similarly, the total chlorophyll (a+b)/car ratio was also different among species and the species *P. glandulosa* achieved higher values (5.64). The variation in the pigment content has an important role in the productivity and photosynthetic process of studied species. Differences could be related to physiological synthesis capabilities of each species and to the environmental conditions where these species grow and develop.

Keywords: Chlorophyll a and b, carotenoids, plant pigments, *prosopis*, acacia.

Introducción

Los pigmentos fotosintéticos, como la clorofila, los carotenoides, las xantofilas, los flavonoides, etc., proporciona información sobre el rendimiento fisiológico de la planta. Tienen un papel vital en la captura de energía de la luz, que se convierte en energía química (Curran *et al.*, 1990; Young y Britton, 1993; Markwell *et al.*, 2020). La clorofila tiene la capacidad de absorber la energía radiante de la luz solar en la energía química del carbono orgánico a través del proceso de fotosíntesis. Los carotenoides son pigmentos naturales solubles en grasa que se encuentran en plantas, algas y bacterias fotosintéticas, donde también juegan un papel en la fotosíntesis (Sims y Ganonm, 2002).

La lámina o limbo de la hoja está compuesta principalmente de parénquima, que es el mayor tejido fotosintético y contiene muchos cloroplastos, junto con una epidermis superior e inferior (Bidwell, 1979). Los cloroplastos son el sitio de la fotosíntesis. La clorofila b está presente en la mayoría de las plantas verdes, en las algas verde-azul en su lugar hay ficocianina, en las algas pardas fucoxantina y en las algas rojas ficoeritrina. Las bacterias fotosintéticas tienen una clorofila que absorbe al rojo-lejano, la bacterioclorofila (Stryer *et al.*, 2002).

La actividad fotosintética es importante para el desarrollo de las plantas. La fotosíntesis es la absorción de energía lumínica y conversión en

potencial químico estable por la síntesis de compuestos orgánicos. Puede considerarse como un proceso de tres fases: la absorción de la luz y retención de energía lumínica, la conversión de energía lumínica en potencial químico y la estabilización y almacenamiento del potencial químico. La fotosíntesis es importante por muchas razones. Su mayor importancia es su papel en la producción de alimento y oxígeno; por lo tanto, se estudia a menudo en función de sus productos finales. Lo importante es el hecho de atrapar y transformar energía (Bidwell, 1979; Biswal, 1995).

En el Estado de Nuevo León, existen diferentes tipos de vegetación, la cual se categorizan en varios grupos, con base en sus adaptaciones ecológicas y usos forestales, los cuales constituyen el llamado tipo de vegetación “Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET)”. Este tipo de vegetación se caracteriza por un amplio rango de patrones de crecimiento, diversidad en la longevidad foliar, dinámicas de crecimiento y de contrastantes desarrollos fenológicos (González-Rodríguez y Cantú-Silva, 2001; Domínguez *et al.*, 2012).

Por lo que el objetivo de esta investigación es estimar la concentración de los pigmentos fotosintéticos (clorofila a y b y carotenoides) en especies vegetales del MET. Este tipo de estudios es escaso en especies nativas y en estructuras de hojas, que crecen en el noreste de México. Así, el estudio fue realizado con la finalidad de cuantificar y comparar, el contenido de pigmentos fotosintéticos en árboles y arbustos que crecen bajo un patrón climático similar en el noreste México.

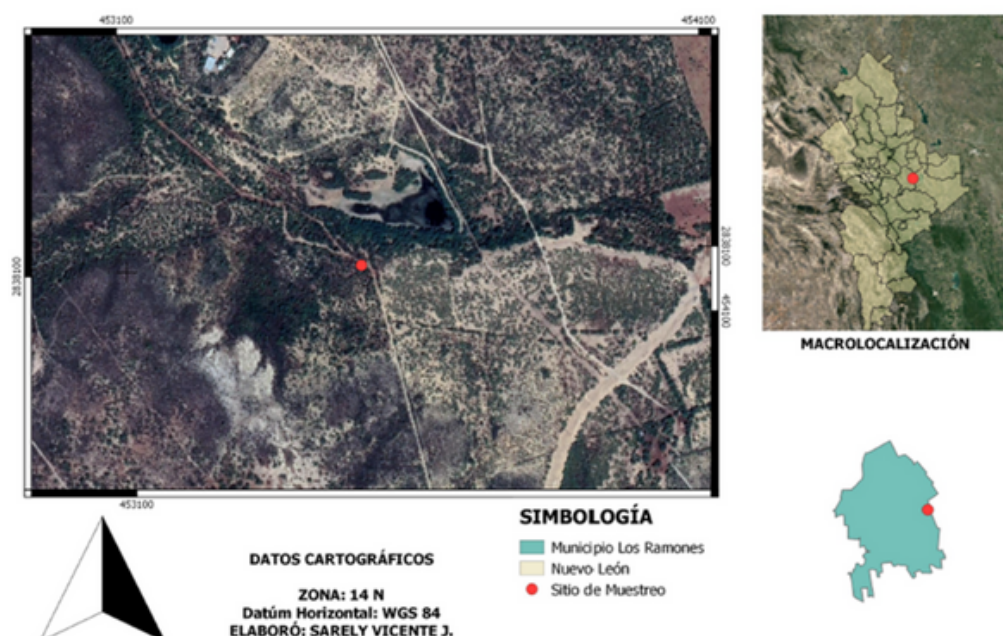


Figura 1. Ubicación del sitio de estudio.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

El sitio fue ubicado en el Rancho “El Abuelo” en el municipio de Los Ramones (25° 40' N; 99° 27' O), con una superficie de 100 ha y una elevación de 200 msnm (López-Hernández *et al.*, 2013). El clima es semiárido con verano cálido. La temperatura media anual es de 22° C. La precipitación media anual es de aproximadamente 700 mm (González-Rodríguez *et al.*, 2010). En general, se agrupan bajo un patrón climático similar con picos de precipitación máxima durante mayo, junio y septiembre. El principal tipo de vegetación se conoce como Matorral Espinoso Tamaulipeco. Los suelos dominantes son vertisoles profundos, gris oscuro, limo-grisáceos, limo-arcillosos, con Montmorillonita, que se contraen y se expanden perceptiblemente en respuesta a los cambios en el contenido de humedad del suelo (INEGI, 2002).

Procedimientos de muestreo de tejidos vegetales

Con el fin de determinar los contenidos de pigmentos fotosintéticos, se seleccionaron cuatro especies, las cuales fueron elegidos aleatoriamente en una parcela con dimensión de 50 m x 50 m. La frecuencia con la que se realizaron las recolecciones fue a intervalos de 15 días durante dos estaciones del año: en primavera de 2017 (11 de mayo-26 de mayo-9 de junio-22 de junio); en verano de 2017 (7 de julio-21 de julio-4 de agosto-17 de agosto-1 de septiembre-15 de septiembre). Se cortaron muestras de las cuatro especies vegetales con cinco repeticiones. Las hojas se colocaron en bolsas de plástico y se almacenaron en hielo en condiciones de oscuridad utilizando una hielera (Torres *et al.*, 2002; Uvalle *et al.*, 2007). Las muestras fueron transportadas al Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Forestales para su análisis de contenido pigmentos fotosintéticos que se realizaron dentro de las 12 horas posteriores a su recolección.

Las muestras de hojas fueron extraídas (1.0 g de tejido foliar) por repetición y muestreo de cada especie vegetal. Las clorofilas a y b y los carotenoides (x + c) se extrajeron en acetona acuosa al 80 % (v / v) y se filtraron al vacío a través de un papel de filtro Whatman No.1.

Las mediciones de pigmento fueron determinadas espectrofotométricamente usando un espectrofotómetro UV/VIS Perkin-Elmer (Modelo Lambda 1A). Las absorbancias de clorofilas a y b y los extractos de carotenoides se determinaron a longitudes de onda de 470, 660, 663, y 645 nm, respectivamente. Las concentraciones (mg/g de peso seco) de los pigmentos se calcularon de acuerdo con las ecuaciones de Lichtenthaler y Wellburn (1983). Los resultados son informados sobre una base de peso nuevo (mg de pigmento vegetal por g de peso fresco). La clorofila total (a + b) se calculó mediante la adición de clorofila a y clorofila b.

Los contenidos de pigmentos fotosintéticos fueron analizados estadísticamente usando análisis de varianza (ANOVA) de acuerdo con el diseño experimental con un criterio de clasificación (Steel y Torrie, 1980). Los datos no presentaron homogeneidad de varianzas para los pigmentos de acuerdo con las pruebas estadísticas de Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk y Levene (Brown y Forsythe, 1974). Empleándose la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Ott, 1993), para detectar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre especies. Los procedimientos estadísticos aplicados fueron realizados de acuerdo con el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (por sus siglas en inglés, SPSS) versión estándar 13.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL).

Resultados y discusión

Los resultados indicaron diferencias en el contenido de pigmentos (Cuadro 1) entre las 4 especies de plantas estudiadas.

Contenido de Pigmentos Fotosintéticos

Los resultados del presente estudio muestran que todas las plantas difirieron en el contenido de pigmento y siguieron un patrón estacional, durante sus diferentes condiciones, como temperaturas extremas y escasez de agua, aun así, podrían desempeñar un papel importante en el mantenimiento de la productividad de los ecosistemas de pastizales secos.

Cuadro 1. Resumen del análisis de la prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas en 4 especies. Valores de P en negritas (P<.05) indican diferencias en el contenido de pigmentos fotosintéticos por fecha de muestreo en el sitio de estudio.

Fecha de muestreo	Estadístico	Variables					
		Clorofila a	Clorofila b	Carotenoides	Clorofila (a+b)	Clorofila (a/b)	Relación Clorofila / carotenoides
11-May-17	χ^2	12.394	11.640	13.834	11.777	9.206	1.434
	Valor P	.006	.009	.003	.008	.027	.698
26-May-17	χ^2	13.091	9.240	12.349	13.469	14.417	6.954
	Valor P	.004	.026	.006	.004	.002	.073
09-Jun-17	χ^2	10.817	12.406	10.760	10.794	10.657	3.823
	Valor P	.013	.006	.013	.013	.014	.281
22-Jun-17	χ^2	11.994	8.806	10.486	12.120	6.840	6.737
	Valor P	.007	.032	.015	.007	.077	.081
07-Jul-17	χ^2	10.714	9.754	11.069	11.160	8.429	11.251
	Valor P	.013	.021	.011	.011	.038	.010
21-Jul-17	χ^2	8.211	7.823	10.314	8.109	5.651	6.954
	Valor P	.042	.050	.016	.044	.130	.073
04-Ago-17	χ^2	14.794	15.160	14.657	14.909	8.897	11.754
	Valor P	.002	.002	.002	.002	.031	.008
17-Ago-17	χ^2	14.429	6.863	13.400	14.314	6.006	11.686
	Valor P	.002	.076	.004	.003	.111	.009
01-Sep-17	χ^2	15.023	8.897	9.949	14.451	13.126	11.983
	Valor P	.002	.031	.019	.002	.004	.007
15-Sep-17	χ^2	13.011	12.029	10.177	13.046	11.994	12.303
	Valor P	.005	.007	.017	.005	.007	.006

Contenido de Clorofila a

El contenido de Chl a, el máximo se presentó en la especie *P. glandulosa*, mientras que la especie con menor contenido fue *C. pallida* con valores de 0.84 y 0.11 mg gpf^{-1} , respectivamente. González-Rodríguez *et al.* (2017b) encontró valores de clorofila a en el Matorral Espinoso Tamaulipeco en las especies *Berberis chococo* y *Zanthoxylum fagara* con 1.56 y 1.18 mg gpf^{-1} , respectivamente. Es interesante notar que algunas especies mostraron un aumento de clorofila a, mientras que pocas especies mostraron reducción en el contenido de clorofila a, probablemente mostrando una adaptación al invierno. En general el contenido de Chl a se mantuvo relativamente constante a lo largo del periodo de estudio.

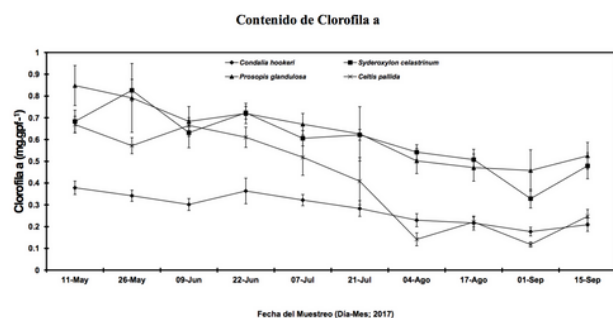


Figura 3. Patrón del contenido de Chl a en hojas de las cuatro especies en el sitio de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=5) ± error estándar.

Por su parte (Alvarado *et al.*, 2015) reporta mayor contenido de clorofila a en las especies *Acacia berlandieri* y *Lantana macropoda* con (2 mg gpf^{-1}), estas diferencias podrían deberse a la capacidad que cada especie posee para luchar con las deficiencias de agua, irradiación y temperaturas extremas.

Contenido de Clorofila b

El contenido de Chl b, el máximos y mínimos se presentaron en las especies *S. calcestrinum* y *C. hookeri* con 0.21 y 0.05 mg gpf^{-1} , respectivamente. Estas cantidades coinciden con los encontrados por González-Rodríguez *et al.*, (2017b) quienes encontraron al estudiar especies del MET, valores de Clorofila b en las especies *B. chococo* y *Diospyros texana* de 0.49 y 0.3 mg gpf^{-1} , respectivamente. En relación con el contenido de chl b, la especie mostró respuestas variables en las temporadas de verano e invierno similar al observado en la Chl a, mostrando aumento y poca disminución de la clorofila b, probablemente que muestra el mecanismo de adaptación a la temporada de invierno. (González-Rodríguez *et al.*, 2017a) al estudiar los contenidos de clorofila a en

temporada de verano en el Matorral Espinoso Tamaulipeco encuentran que el mayor contenido de Chl b en *Ebenopsis ebano* con 0.4 mg gpf⁻¹, mientras que el contenido más bajo se presentó en *F. angustifolia*, *A. berlandieri* y *L. frutescens* con 0.1 a 0.2 mg gpf⁻¹.

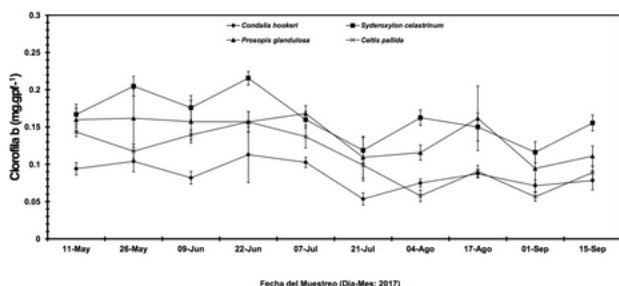


Figura 4. Patrón del contenido de Chl b en hojas de las cuatro especies en el sitio de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=5) ± error estándar.

Contenido de Carotenoides

El contenido de Carotenoides, este mostró su máximo contenido en la especie *P. glandulosa*, mientras que el valor más bajo se registró en la especie *C. hookeri*, con valores de 0.20 y 0.06 mg gpf⁻¹, respectivamente. González-Rodríguez *et al.*, (2017a) al estudiar los contenidos de carotenoides en temporada de verano en el Matorral Espinoso Tamaulipeco se observó el máximo contenido de Carotenoides en *Berberis trifoliata* con 0.6 mg gpf⁻¹ y el contenido mínimo alrededor de 0.2 mg gpf⁻¹ en *L. frutescens*, *A. berlandieri* y *P. aculeata* y otros. Himmelsbach *et al.* (2010), encontró valores de carotenoides en un bosque mixto de pino y encino en las especies *Juniperus flaccida* y *Quercus canbyi* con 0.2 y 0.3 mg gpf⁻¹, respectivamente.

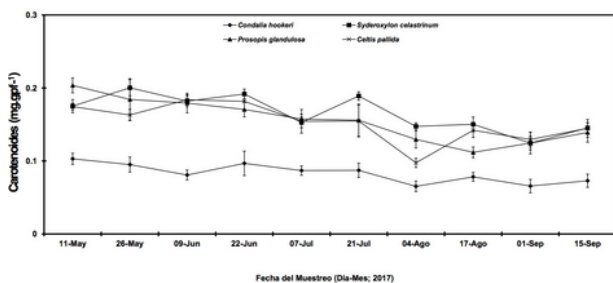


Figura 5. Patrón del contenido de Carotenoides en hojas de las cuatro especies en el sitio de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=5) ± error estándar.

Relación Clorofilas a + b

En lo que respecta en relación del contenido de clorofilas (a + b), el máximo valor se presenta en la especie *S. celastrinum*, mientras que el mínimo se presenta en la especie *C. pallida*, con valores de 1.03 y 0.17 mg gpf⁻¹, respectivamente. González-Rodríguez *et al.*, (2017b), encontró valores de clorofilas (a + b) en el Matorral Espinoso Tamaulipeco en las especies *B. chococo* y *H. pallens* con 2.1 y 1.51 mg gpf⁻¹, respectivamente. Alvarado *et al.* (2015) reporta mayor contenido de clorofila (a + b) en *A. berlandieri*, *L. macropoda* (2 mg gpf⁻¹). Himmelsbach *et al.* (2010), encontró valores de clorofilas (a + b) en un bosque mixto de pino y encino en las especies *J. flaccida* y *Q. canbyi* con 1.0 y 1.8 mg gpf⁻¹, las diferencias podrían deberse a que bajo las condiciones de sol y sombra y a las sequías estacionales.

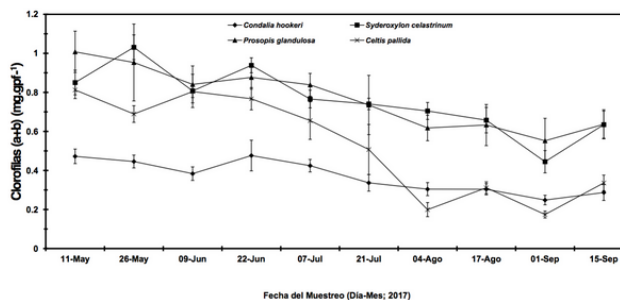


Figura 6. Patrón del contenido de Chl a + b en hojas de las cuatro especies en el sitio de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=5) ± error estándar.

Relación Clorofilas a / b

Para el caso del contenido de clorofilas (a / b), el máximo valor se presenta en la especie *P. glandulosa*, mientras que el menor se presenta en la especie *C. pallida*, con valores de 5.98 y 2.09 mg gpf⁻¹, respectivamente. Mientras que Lei, *et al.* (1996) encontró que la relación clorofila a / clorofila b se reduce con la senescencia de las hojas y bajo condiciones de baja disponibilidad de luz. Castro y Sánchez-Azofeifa (2008) encontraron diferencias marcadas en la relación clorofila a / clorofila b. Esta relación fue alta en hojas de *Populus tremuloides* bajo sombra, mientras que en *Populus balsamifera*, el valor de la relación fue alto en hojas colocadas a plena exposición, en comparación con hojas sombradas.

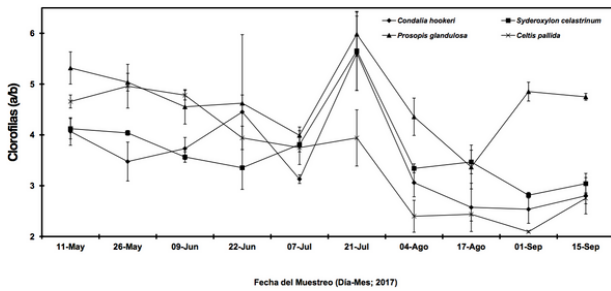


Figura 7. Patrón del contenido relación Chl a / b en hojas de las cuatro especies en el sitio de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=5) ± error estándar.

Relación Clorofilas a + b / Carotenoides

En lo que se refiere a la relación clorofilas (a + b) / carotenoides, este mostró su máximo contenido en la especie *P. glandulosa*, mientras que el valor más bajo se registró en la especie *C. pallida*, con valores de 5.64 y 1.33 mg gpf⁻¹, respectivamente. González *et al.*, (2017a) al estudiar la relación clorofila (a + b) / carotenoides en temporada de verano en el Matorral Espinoso Tamaulipeco se observó valor máximo en *Parkinsonia aculeata* acercándose a 8 mg gpf⁻¹, mientras que el mínimo *B. trifoliata* alrededor de 2 mg gpf⁻¹. Todas las demás especies mostraron más o menos valores similares (alrededor de 4 a 5 mg gpf⁻¹).

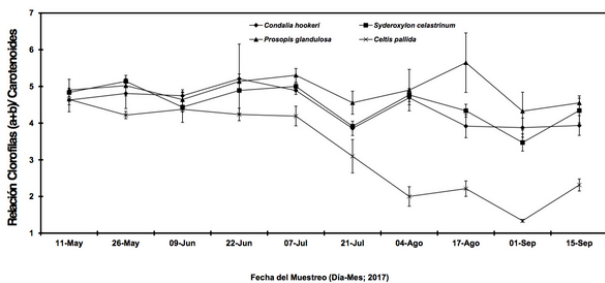


Figura 8. Patrón del contenido relación Chl a + b / Carotenoides en hojas de las cuatro especies en el sitio de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=5) ± error estándar.

Las observaciones encontradas en la presente investigación confirman la importancia del contenido de pigmentos fotosintéticos a través de las hojas, donde se lleva a cabo la mayoría de los procesos fisiológicos, específicamente la fotosíntesis. Los pigmentos de las hojas están integralmente relacionados con las funciones fisiológicas de las hojas. Los pigmentos vegetales desempeñan un papel en la productividad del ecosistema, pero está influenciado por la sequía y la temperatura extrema que prevalecen durante las temporadas de invierno y verano González-Rodríguez y Cantú-Silva, (2001).

Por tanto, el contenido pigmentos fotosintéticos puede cambiar como respuesta a factores causantes de estrés, a la capacidad fotosintética o al estado de desarrollo de la planta (Ustin *et al.*, 1998; Wu, *et al.*, 2008). Adicionalmente, las plantas de han desarrollado diversas características morfológicas y fisiológicas apropiadas para la adaptación a factores ambientales adversos, particularmente al estrés, sequía y altas temperaturas, tales características incluyen: dimensión y orientación foliar, morfología, dimensión y densidad de estomas, abscisión de folíolos, pubescencia foliar, cutícula gruesa y cerosa (González-Rodríguez y Cantú-Silva, 2001).

No obstante, otras investigaciones han demostrado que ligado al envejecimiento de la planta ocurren reducciones en el contenido de clorofilas, en la eficiencia fotoquímica del fotosistema II, en la expresión de genes relacionados con la fotosíntesis y en la síntesis de proteína, lo que a su vez influye en la absorción de CO₂ y energía luminosa Zhang *et al.* (2007) y Wang *et al.* (2007). Por el contrario, Seybold y Falk (1959) y Bauer (1958), quienes reportaron que las variaciones diarias en los contenidos de clorofila tienen lugar en las hojas jóvenes, pero no en las maduras. Nagel (2006) reportó que plantas expuestas a altas intensidades lumínicas presentan mayor contenido de clorofilas. El contenido de pigmentos fotosintéticos por unidad de área de las hojas constituye uno de los indicadores de la capacidad fotosintética de las plantas, ya que representa una medida de las dimensiones del sistema fotosintético y de su eficiencia (Huang *et al.*, 2004; García-Valenzuela *et al.*, 2005). Esto determina la producción de biomasa de la planta en diferentes condiciones.

Conclusiones

La diferencia entre el contenido pigmentos de las especies vegetales estudiadas, como se ha reportado en otros estudios, podría deberse a la diversidad de respuestas adaptativas de las especies del noreste de México bajo condiciones adversas como inviernos severos y veranos muy calientes, lo que juega un papel importante en el mantenimiento de la productividad en los ecosistemas semiáridos.

Literatura citada

- Alvarado, M.D.S., González-Rodríguez, H., Maiti, R., y Domínguez-Gómez, T.G. (2015). Contenido de pigmentos foliares en 10 especies arbustivas, nativas, Noreste de México. En M.R.M. Martínez-Ramos (Presidencia), *Fronteras de la Ecología en un Mundo Globalizado, V Congreso Mexicano de Ecología*. Llevado a cabo por la Sociedad Científica Mexicana de Ecología, A.C., Centro Cultural Bicentenario, San Luis Potosí.
- Bauer, A. (1958). Die Konstanz des Chlorophyll gehaltes bei Laubblittern im Laufe eines Tages. *Planta*, 51: 84-98.
- Bidwell, R.G.S. (1979). *Fisiología Vegetal*. Kingston, Ontario, Canadá. AGT EDITOR, S.A.
- Biswal, B. (1995). Carotenoid catabolism during leaf senescence and its control by light. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 30(1): 3-13.
- Brown, M.B., & Forsythe, A.B. (1974). Robust tests for the equality of variances. *Journal of the American Statistical Association*, 69: 364-367.
- Castro, K.L., & Sanchez-Azofeifa, G.A. (2008). Changes in spectral properties, chlorophyll content and internal mesophyll structure of senescing *Populus balsamifera* and *Populus tremuloides* leaves. *Sensors*, 8(1): 51-69.
- Curran, P.J., Dungan, J.L., & Gholz, H.L. (1990). Exploring the relationship between reflectance red edge and chlorophyll content in slash pine. *Tree Physiology*, 7: 33-48.
- Domínguez-Gómez, T.G., Ramírez-Lozano, R.G., Estrada-Castillón, A.E., Scott-Morales, L.M., González-Rodríguez, H., y Alvarado, M.D.S. (2012). Importancia nutrimental en plantas forrajeras del Matorral Espinoso Tamaulipeco. *Revista Ciencia UANL*, 15(59): 77-93.
- García-Valenzuela, X., García-Moya, E., Rascón-Cruz, Q., Herrera-Estrella, L., & Aguado-Santacruz, G.A. (2005). Chlorophyll accumulation is enhanced by osmotic stress in graminaceous chlorophyll cells. *Journal Plant Physiology*, 162(6): 650-667.
- González-Rodríguez, H., y Cantú-Silva, I. (2001). Adaptación a la sequía de plantas arbustivas de Matorral Espinoso Tamaulipeco. *Ciencia UANL*, 4(4): 454-461.
- González-Rodríguez, H., Ramírez-Lozano, R.G., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M.V., y Uvalle-Sauceda, J.I. (2010). Composición y Estructura de la Vegetación en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica*, (29): 91-106.
- González-Rodríguez, H., Maiti, R.K., Avendaño, E., Kumari, A., & Sarkar, N.C. (2017a). Pigment content (chlorophyll and carotenoids) in 37 species of trees and shrubs in Northeastern Mexico during summer season. *Pakistan Journal of Botany*, 49(1): 173-179.
- González-Rodríguez, H., Maiti, R., & Kumari, A. (2017b). Seasonal variation in specific leaf area, epicuticular wax and pigments in 15 woody species from Northeastern Mexico during summer and winter. *Pakistan Journal of Botany*, 49(3): 1023-1031.
- Himmelsbach, W., González-Rodríguez, H., Treviño-Garza, E.J., Estrada-Castillón, A.E., Aguirre-Calderón, O.A., & González-Tagle, M.A. (2010). Leaf pigment contents in five tree and shrub species in A Mexican pine-oak forest during periods of different water availability. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 3(1): 1-10.
- Huang, X.D., Alawi, Y.E., Penrose, D.M., Glick, B.R., & Greenberg, B.M. (2004). Responses of three grass species to creosote during phytoremediation. *Environmental Pollution*, 130(3): 453-459.
- INEGI. (2002). Uso actual del suelo en los núcleos agrarios. Aspectos geográficos de Nuevo León. Consultado el 09 de mayo de 2009. Página Web del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática: <http://nl.inegi.gob.mx/territorio/español/cartcat/uso.html>
- Lei, T.T., Tabuchi, R., Kitao, M. & Koike, T. (1996). Functional relationship between chlorophyll content and leaf reflectance, and light-capturing efficiency of Japanese forest species. *Physiologia. Plantarum*, 96:411-418.

- Lichtenthaler, H.K., & Wellburn, A.R. (1983). Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extract in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11: 591-592.
- López-Hernández, J.M., González-Rodríguez, H., Ramírez-Lozano, R.G., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M.V., Pando-Moreno, M., y Estrada-Castillón, A.E. (2013). Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica*, (35): 41-64.
- Markwell, J., Namuth, D., y Hernández-Rios, I. (2020). Los pigmentos vegetales y la fotosíntesis. *Plant & Soil Sciences eLibrary*. Recuperado de <https://passel2.unl.edu/view/lesson/ae42848963d4>.
- Nagel, K.A. (2006). Abhängigkeit des Wurzelwachstumsvom Lichtregime des Sprosses und deren Modifikation durch Nährstoffesowie im Gravitropismus. (tesis doctoral). Schriften des Forschungszentrums Jülich Reihe Umwelt /Environment Band. Universität Düsseldorf
- Ott, L. (1993). An introduction to statistical methods and data analysis. Boston, Massachusetts: Duxbury Press.
- Seybold, A. & Falk, H. (1959). Die Heidelberger Chlorophyllbestimmungen-Eine Überprüfung. *Planta*, 53: 339-375.
- Sims, D.A., & Ganonm, J.A. (2002). Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*, 81: 337-354.
- Steel, R.G.D., & Torrie, J.H. (1980). Principles and procedures of statistics. A biometrical approach, New York, NY: McGraw-Hill Book Company.
- Stryer, L., Berg, J., & Tymoczko, J. (2002). *Biochemistry*. Freeman. New York. Editorial.
- Torres, A.N, Campostrini, E., Gonçalves-Oliveira, J., & Kiyoshi-Yamanishi, O. (2002). Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L.
- *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 14: 143-150.
- Ustin, S.L., Smith, M.O., Jacquemoud, S., Verstraete, M.M., & Govaerts, Y. (1998). *GeoBotany: Vegetation mapping for Earth sciences*, in *Manual of Remote Sensing, Remote Sensing for the Earth Sciences*, edited by A. N. Rencz, 3rd ed., John Wiley, Hoboken, N. J. 3:189248.
- Uvalle, S.J.I., González, R.H., Ramírez, L.R.G., Cantú, S.I., & Gomez, M.M.V. (2007). Seasonal trends of chlorophylls a and b and carotenoids in native trees and shrubs of Northeastern Mexico. *Journal of Biological Science*, 8(2): 258-267.
- Wang, J.S., Xing, J.S., Zhang, L. R. & Jia, L. (2007). A new principle photosynthesis capacity biosensor based on quantitative measurement of delayed fluorescence in vivo. *Biosensors Bioelectronics*, 22(12): 2861-2868.
- Wu, C., Niu, Z., Tang, Q. & Huang, W. (2008). Estimating chlorophyll content from hyperspectral vegetation indices: Modeling and validation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148: 1230-1241.
- Young, A.J., & Britton, G. (1993). *Carotenoid in Photosynthesis*. London, Chapman and Hall: Springer Netherlands.
- Zhang, L., Xing, D., Wang, J. & Li, L. (2007). Rapid and noninvasive detection of plants senescence using a delayed fluorescence technique. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 6: 635-641.