

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**TRANSPORTE DE CARBONO ORGÁNICO DISUELTTO (DOC)
EN TURBERAS DE PÁRAMO DEL NORTE DE ECUADOR**

Gustavo Antonio Larriva Carrasco

Biología

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Biólogo

Quito, 12 de mayo de 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

Transporte de Carbono Orgánico Disuelto (DOC) en Turberas de páramo del norte de Ecuador

Gustavo Antonio Larriva Carrasco

Nombre del profesor, Título académico

Esteban Suárez, PhD

Quito, 12 de mayo de 2020

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Gustavo Antonio Larriva Carrasco

Código: 00124211

Cédula de identidad: 0104720438

Lugar y fecha: Quito, mayo de 2020

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

El páramo es un ecosistema húmedo que se encuentra en los Andes del norte por encima de 3200 de elevación. En este paisaje existe un extenso sistema de turberas que almacena grandes cantidades de carbono que potencialmente podría ser exportado como Carbono orgánico disuelto (DOC) a ríos y lagos, convirtiéndolos en una fuente de CO₂. A pesar de la potencial importancia de este proceso, se conoce muy poco sobre los factores ambientales (*e.g.* temperatura, la humedad, la calidad del sustrato y el estado redox) que podrían controlar la exportación de DOC en las turberas altoandinas. En este contexto, el objetivo de este trabajo es caracterizar los patrones generales de exportación de DOC de las turberas, y las características ambientales que influyen en este proceso. El estudio se implementó en 25 turberas de la cordillera oriental de los Andes del Ecuador. En cada turbera, se identificó el río de drenaje y se colectó una muestra de agua en el tramo inmediatamente contiguo a la salida de la turbera. Adicionalmente, en cada sitio se registraron características ambientales incluyendo el nivel de alteración, elevación, precipitación en los 30 días previos al muestreo, y tipo de vegetación dominante (Gramíneas, Almohadillas, Ciperáceas). Las muestras se tomaron en diferentes meses para explorar posibles diferencias temporales en la exportación de DOC.

En este estudio registramos niveles altos de exportación de DOC cuando el nivel de precipitación era baja con un promedio de 26,9 mg/L, y especialmente en las turberas disturbadas con promedio de 29,1 mg/L. El tipo de vegetación y la elevación no influyeron en la cantidad de DOC exportado.

Palabras clave: Turberas, Precipitación, Exportación, Carbon, Altoandinas, Vegetación, Altura, Disturbio.

ABSTRACT

The paramo is a wet ecosystem found in the Northern Andes above the 3200 meters. In this landscape there are many peatlands that store large amounts of carbon. These peatlands could also export a great quantity of Dissolved Organic Carbon (DOC) to rivers and lakes, which can be mineralized turning the ecosystem into a source of CO₂. In spite of the potential importance of this process, little is known about the environmental factors (e.g. temperature, moisture, soil quality and redox state) that could control the export of DOC from high-elevation peatlands in the Andes. In this context, the objective of of this study is to characterize the general patterns of the DOC export from paramo peatlands, and the environmental characteristics that control this process. The study was implemented on 25 peatlands of the Eastern Ecuadorian Andes. In each peatland, the outlet stream was identified and a water sample was collected in the section immediately adjacent to the peatland exit. Additionally, at each site general characteristics were recorded including the level of disturbance, elevation, precipitation during the 30 previous days to the sampling, dominant vegetation (graminoid, cushion plants, sedges). Samples were taken in different months in order to explore potential temporal differences in DOC export. In this study we rerecorded high levels of DOC export when precipitation levels were low with a average of 26,9 mg/ L and, specially, in disturbed peatlands with an average of 29,1 mg/L. Vegetation and elevation did not affect the amounts of DOC export from the peatlands.

Key words: Peatland, Precipitation, Export, Andean Heights, Carbon, Vegetation, Height, Disturbance

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	10
Desarrollo del Tema.....	13
Conclusiones	16
Referencias bibliográficas	19
Anexos	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla #1. Turberas recolectadas divididas por región21
Tabla #2. Cantidad de doc por el tipo de distrubio22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura #1. Exportación de doc por tipo de vegetación 24
Figura #2. Exportación de doc por el tipo de disturbio 25
Figura #3. Exportación de doc por la altura 26
Figura #4. Exportación de doc por la precipitación 27

INTRODUCCIÓN

El páramo es un ecosistema frío y húmedo que se encuentra en las partes más altas de los Andes del norte. Se encuentra paroximadamente entre los 3000 y 5000 metros sobre el nivel del mar y su accidentada topografía se ha formado bajo la influencia de la actividad glacial, los movimientos tectónicos, y las erupciones volcánicas. (Hribljan, Suárez, Heckman, Lilleskoz, & Chimner, 2016). Al encontrarse en la zona altoandina tropical, el páramo posee una variabilidad estacional baja y, como consecuencia, la productividad de la vegetación es baja pero constante a lo largo del año. (Snachez, Chimmer, Hribljan, Lilleskov, & Suárez, 2017). En el Ecuador, el páramo cubre alrededor de 1'250.000 ha lo que equivale aproximadamente a un 5% del territorio del país.

Debido a sus características geográficas y a las condiciones climáticas extremas y fluctuantes a lo largo del día (temperaturas extremas, baja presión atmosférica, alta radiación, fuertes vientos), el paramo muestra una alta tasa de evolución de sus organismos, con niveles de endemismo que pueden llegar al 60% en algunos grupos. Pero además de ser biológicamente importante, el páramo andino presta una gran cantidad de servicios ambientales para la sociedad. Por ejemplo, por su clima frío y las bajas tasas de descomposición de materia orgánica, los suelos acumulan grandes cantidades de carbono que les permiten retener agua. En las áreas planas del paisaje, este proceso se intensifica y da lugar a la formación de turberas que hacen una contribución desproporcionada a la acumulación de carbono y a los procesos de regulación hídrica.

Las turberas cubren aproximadamente un 3% de la superficie de la Tierra, pero representan un 30 a 40% de las reservas de Carbono global. El C de turberas de las zonas tropicales

representa un aproximado del 18% de las reservas globales. Sur América alberga alrededor de un 24% de las turberas del trópico, pero un mapeo reciente ha determinado que hay una gran cantidad de reservas de C que aun no han sido descritas. (Snachez, Chimmer, Hribljan, Lilleskov, & Suárez, 2017). En el páramo, las turberas suelen ser dominadas por diferentes tipos de vegetación como almohadillas, gramíneas, ciperáceas, y una variedad de musgos y algas (Snachez, Chimmer, Hribljan, Lilleskov, & Suárez, 2017).

Las turberas de los Andes tienen una tasa de acumulación de carbono de 20-25 g/m²/año, con un densidad de carbono promedio de 1200 Mg C/ha (Snachez, Chimmer, Hribljan, Lilleskov, & Suárez, 2017). Estas exportan Carbono Orgánico Disuelto (Dissolved Organic Carbon, DOC), que se encuentra compuesto por sustancias húmicas y de componentes lábiles como carbohidratos, péptidos, aminoácidos, ácido carboxílicos y alcoholes que son componentes importantes de la mineralización microbiana (Hribljan, Kane, Pypker, & Chimmer, 2014). La producción y consumo del DOC depende de varios factores como la temperatura, la humedad, la calidad del sustrato de la turbera, y el estado redox que se encuentra ligado a la pared de agua (Water Table, WT). Cuando las condiciones son favorables, las turberas movilizan gran cantidad de DOC lo que aporta una gran cantidad de carbono fácil de descomponer a los ríos y lagos. Como consecuencia, alteraciones en la composición del humedal pueden dar lugar a cambios en los patrones de exportación del DOC.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es caracterizar los patrones de exportación de DOC de las turberas de páramo y explorar las características ambientales que los controlan.

DESARROLLO DEL TEMA

METODOLOGÍA

El estudio se llevó a cabo en turberas de páramo alto andino ubicadas en el Parque Nacional Cayambe Coca (PNCC), la Reserva Ecológica Antinsana y sus zonas de influencia. Las turberas se ubicaron en tres áreas del PNCC (Papallacta, El Tambo, y vía Papallact-Oyacachi) y en el sector de Antisanilla, que pertenece a la Reserva Chakana de la fundación JOCOTOCO (Tabla 1).

Se tomaron muestras durante los meses de noviembre de 2019, y enero y febrero de 2020, pero también se utilizaron datos previos tomados en agosto, octubre, noviembre y diciembre de 2017. En cada muestreo, las muestras de agua fueron colectadas en envases de 60 mL previamente acidificados con HCL por un día entero. Las turberas en donde se tomaron las muestras fueron clasificadas como disturbadas y no disturbadas de acuerdo a la presencia de señales de intervención antropogénica. Las turberas no disturbadas se encontraban en su mayoría en el PNCC, mientras que en la RA todas las turberas son disturbadas. El nivel de alteración se evaluó con base en la presencia o no de señales de prácticas agropecuarias y otras actividades antropogénicas en la turbera (e.g. canales de drenaje, majada de ganado, basura). En cada una de las turberas se registró la elevación, tipo de vegetación dominante (Gramínea, Ciperacea, Almohadillas) y el promedio de precipitación que existió en los 30 días anteriores a la toma de muestra (Datos tomados de la página del FONAG). Los niveles de precipitación se clasificaron como Alta (mayor a 100 mm), Media (50-100 mm) y Baja (menor a 50 mm), aunque estos niveles no abarcaron todo el rango de precipitación normalmente caracteriza a estos páramos.

Todas las muestras fueron tomadas en el riachuelo de salida de la turbera (punto en el que se forma el río que drena una turbera). Se tomaron dos frascos en cada punto de recolección por cada día. Las muestras fueron transportadas al laboratorio de Ecología Acuática de la Universidad San Francisco de Quito (USFQ), donde se procedió a filtrar el agua con filtros de 40 μm , para luego acidificarlas con 10 a 14 gotas de HCL 1M (Hribljan, Suárez, Heckman, Lilleskož, & Chimner, 2016). La cantidad total de DOC que existe en las muestras tomadas fue analizada en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la USFQ, mediante un autoanalizador de DOC tmarca Shimadzu ©.

Los datos obtenidos durante la investigación se analizaron con estadística descriptiva por medio del programa Infostat. Se hicieron análisis de varianza para las comparaciones de DOC exportado por la turbera de acuerdo al tipo de vegetación, precipitación, altura, y nivel de disturbio de la turbera.

RESULTADOS

En el análisis estadístico, no se encontró diferencias significativas en el contenido de DOC de acuerdo al tipo de vegetación, precipitación, altura y disturbio de las turberas. La Figura 1 muestra que la exportación de DOC tiende a ser mayor en turberas dominadas por almohadillas (28,2 mg/L de DOC), seguida por las turberas de gramíneas y, por último, las de ciperáceas. Sin embargo, estas diferencias no fueron significativas (0.84 ; $p > 0,05$). El nivel de alteración (disturbadas vs no disturbadas) tampoco influyó significativamente en la exportación de DOC ($p > 0,05$), pero los sitios disturbados tienden a exportar mayores cantidades. En las turberas disturbadas la exportación alcanzó valores máximos de 65,1 mg/L

de DOC, mientras que en las no disturbadas los valores correspondientes fueron de 41,8 mg/L (Tabla 2). No se encontró ninguna relación entre la elevación y la exportación de DOC ($p>0,05$; Figura 3), pero los valores más altos (30,6 mg/L) se registraron a 4250 msnm. Los niveles de precipitación no influyeron sobre la exportación de DOC ($p=0,08$; Figura 4).

CONCLUSIONES

Aunque no fueron estadísticamente significativas, las diferencias más grandes en la cantidad de DOC exportado estuvieron relacionadas con el nivel de precipitación. Como se puede ver en la Figura 4, cuando existe un alto nivel de precipitación los valores de DOC exportado tienden a ser menores. Este patrón podría deberse a que, al disminuir el nivel freático, se puede producir un cambio en el estado redox de la turbera, afectando así la concentración de DOC (Hribljan, Kane, Pypker, & Chimner, 2014). Cuando la pared de agua se encuentra elevada saturando la turbera, el movimiento de agua a través de los poros se reduce, dando lugar a una disminución en la exportación de DOC por conductividad hidráulica saturada. Por el contrario, cuando la precipitación es menor, la porosidad de las turberas podría permitir una mayor conducción y transporte de DOC (Villa, et al., 2019) (Hribljan, Kane, Pypker, & Chimner, 2014). Además, una disminución del nivel freático proporciona una mayor concentración de oxígeno en los poros de las turberas, lo que permite un cambio de respiración microbiana de anaerobia a aerobia, incrementando los niveles de descomposición de compuestos orgánicos por parte de los microorganismos (Nianzhi, 2015), lo que podría aumentar la exportación de DOC. El aumento de producción de DOC en épocas más secas también ha sido reportado en otras turberas tropicales con una mayor actividad microbiana aeróbica (Hoyos, et al (2019).

No se encontraron diferencias significativas entre las turberas disturbadas y las no disturbadas pero, como se puede ver en la Figura 2, hay una tendencia a mayor transporte de DOC en las turberas con disturbio. Se encontraron altos valores de exportación de DOC en las turberas de Puglluma y Pullurima (Tabla 2), que son las únicas turberas consideradas en el presente estudio con influencia agropecuaria activa. En las turberas disturbadas se suelen encontrar

drenajes y canales de agua que tienen al objetivo de reducir el nivel freático. Estos drenajes suelen estar acompañados de procesos de compactación por el uso de maquinaria agrícola y el pisoteo del ganado que exacerban el deterioro de la estructura del humedal (Castañeda & Montes, 2017)

A pesar de que las diferencias entre tipos de vegetación no fueron significativas, las turberas de almohadillas tienden a exportar mayores cantidades de DOC. En otros estudios realizados tampoco se han encontrado relaciones significativas entre el tipo de vegetación y la exportación de DOC (Hoyos, et al., 2019). En el presente estudio, es posible que el tipo de vegetación esté correlacionado con la elevación (turberas de almohadillas en las zonas más altas) y el tamaño de las turberas (turberas más pequeñas en las partes más altas). Estos factores no fueron analizados conjuntamente en este estudio lo que sugiere una vía importante para futuros estudios en este tema.

Existen muchos factores que no se midieron en este estudio y que podrían influir en la exportación de DOC, como el tipo de suelo, la pendiente, el caudal de los drenajes, la temperatura, y el tamaño de los poros. Adicionalmente, el cambio climático, al afectar las tasas de precipitación y los patrones de descomposición de materia orgánica, podría dar lugar a un aumento en la exportación de DOC a fuentes hídricas (Monteith, et al., 2007). En este contexto, se requieren estudios adicionales que nos ayuden a entender la dinámica de carbono en las turberas altoandinas y su sensibilidad ante diferentes tipos de alteración antropogénica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castañeda, A., & Montes, C. (2017). Carbono almacenado en páramo andino. *Entramado*, 210-221.
- Chang, R. (2010). *Química* (Vol. 10). México D.F., México: McGraw Hill Companys, Inc.
- Hofstede, R., & Aguirre, N. (1999). Biomasa y dinámica del carbono en relación con las actividades forestales en la Sierra del Ecuador. El páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico. . *Serie Paramo* , 29-51.
- Hoyos, J., Lomax, B., Large, D., Turner, B., Lopez, O., Sepulveda, A., & Sjogersten, S. (2019). Evaluation of vegetation communities, water table, and peat composition as drivers of greenhouse gas emissions in lowland tropical peatlands. *Science of the total Environment*, 1193-1204.
- Hribljan, J., Kane, E., Pypker, T., & Chimner, R. (2014). The effect of long-term water table manipulations on dissolved organic carbon dynamics in a poor fen peatland. *J. Geophys. Res. Biogeosci.* , 577-595.
- Hribljan, J., Suárez, E., Heckman, K., Lilleskoz, E., & Chimner, R. (2016). Peatland carbon stocks and accumulation rates in the Ecuadorian páramo. *Wetlands Ecol Manage* .
- Karp, G. (2014). *Biología celular y Molecular*. México DF: McGraw-Hill.
- Masnty, J., Kasttivska, E., Bárta, J., Chonakova, A., Borovec, J., Santruckova, H., . . . Picek, T. (2018). Quality of DOC produced during litter decomposition of peatland plant dominants. *Soil Biology and Biochemistry*, 221-230.
- Monteith , D., Stoddard, J., Evans, C., Wit, A., Forsius, M., Hogasen, T., . . . Vesely, J. (2007). Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry. *Nature*, 537-541.

- Nianzhi, J. (2015). The Invisible Hand Behind A Vast Carbon Reservoir. *Science, Marine Biochemistry*, 328-330.
- Salcedo, A. (2014). *Efectos del Incremento de la Temperatura y las Quemadas sobre la Mesofauna (Artrópodos) del Suelo y la Descomposición de Hojarasca en un Ecosistema de Páramo en el Norte del Ecuador*. Quito : Universidad San Francisco de Quito .
- Snachez, M., Chimmer, R., Hribljan, J., Lilleskov, E., & Suárez, E. (2017). Carbon dioxide and methane fluxes in grazed and undisturbed mountain peatlands in the Ecuadorian Andes . *Mires and Peat*, 1-18.
- Vega, A. (2017). *Análisis de la concentración de carbono y composición vegetal en humedales de páramo altoandinos en una gradiente altitudinal en el Parque Nacional Cayambe Coca*. Quito : Universidad San Francisco de Quito .
- Villa, J., Mejía, G., Velásquez, D., Bostero, A., Acosta, S., Marulanda, J., . . . Bohrer, G. (2019). Carbon sequestration and methane emissions along a microtopographic gradient in a tropical Andean peatland. *Science of the Total Environment*, 651-661.

ANEXOS

TABLA 1 TURBERAS RECOLECTADAS DIVIDIDAS POR REGIÓN

Tabla1. Se muestra la división de los lugares de los cuales se tomaron muestras y como se los dividieron. La división se dio por la cercanía entre los lugares.

Region/Sitio
Antisanilla
Alto Pita
Antisanilla
Jatunhuaico
Puglluma
Pullurima
Toropugro
Cayambe Coca
Conexiones
Cyperaceae
Mani
Oyacachi 1
Oyacachi 2
Cayambe Coca_1
Antenas
Colmillo
Gavilán
Guardiania
Laguna de amor
Osos
Parqueadero
Virgen
Tambo
Alambrado
Cascadita
Cortaderia
Firulais
Termales
Tomate

TABLA 2 CANTIDAD DE DOC POR EL TIPO DE DISTRUBIO

Tabla 2. Cantidad de DOC exportado en mg/L según el tipo de disturbio (disturbado o no disturbado), primero se encuentra la fecha, luego la región en negritas y por último el sitio.

Fecha/Región/Sitio	Disturbado (mg/L)	No Disturbado (mg/L)
15/8/17		
Antisanilla		
Puglluma	34,8	
17/8/17		
Cayambe Coca_1		
Colmillo		34,0
29/8/17		
Antisanilla		
Alto Pita	32,7	
Cayambe Coca_1		
Antenas		38,6
31/10/17		
Antisanilla		
Puglluma	59,6	
1/11/17		
Antisanilla		
Antisanilla	51,4	
17/11/17		
Antisanilla		
Antisanilla	16,8	
1/12/17		
Antisanilla		
Antisanilla	19,6	
7/11/19		
Cayambe Coca_1		
Gavilán		4,3
Parqueadero		26,3
15/11/19		
Cayambe Coca_1		

Antenas		16,6
Colmillo		17,5
Gavilán		14,2
Guardiania		14,2
Laguna de amor		15,6
Osos		3,6
Parqueadero		24,0
Virgen		5,4
22/11/19		
Cayambe Coca		
Conexiones		18,8
Cyperaceae		16,3
Mani		16,6
Oyacachi 1		13,6
Oyacachi 2		16,2
9/1/20		
Cayambe Coca 1		
Antenas		19,4
Colmillo		23,4
Gavilán		26,3
Guardiania		19,3
Laguna de amor		18,3
Osos		19,2
Parqueadero		30,5
Virgen		22,8
15/1/20		
Cayambe Coca		
Conexiones		29,3
Cyperaceae		27,0
Mani		25,2
Oyacachi 1		24,2
Oyacachi 2		22,5
24/1/20		
Antisanilla		
Antisanilla	26,4	
Jatunhuaico	11,0	
Pullurima	65,1	
Toropugro	25,8	
7/2/20		
Tambo		
Alambrado	21,2	

Cascadita	16,1	
Cortaderia	14,3	
Firulais	21,0	
Termales		20,1
Tomate	15,6	
14/2/20		
Antisanilla		
Antisanilla	29,6	
Pullurima	28,3	
Cayambe Coca 1		
Antenas		31,0
Gavilán		33,9
Parqueadero		41,8

FIGURA 1 EXPORTACIÓN DE DOC POR TIPO DE VEGETACIÓN

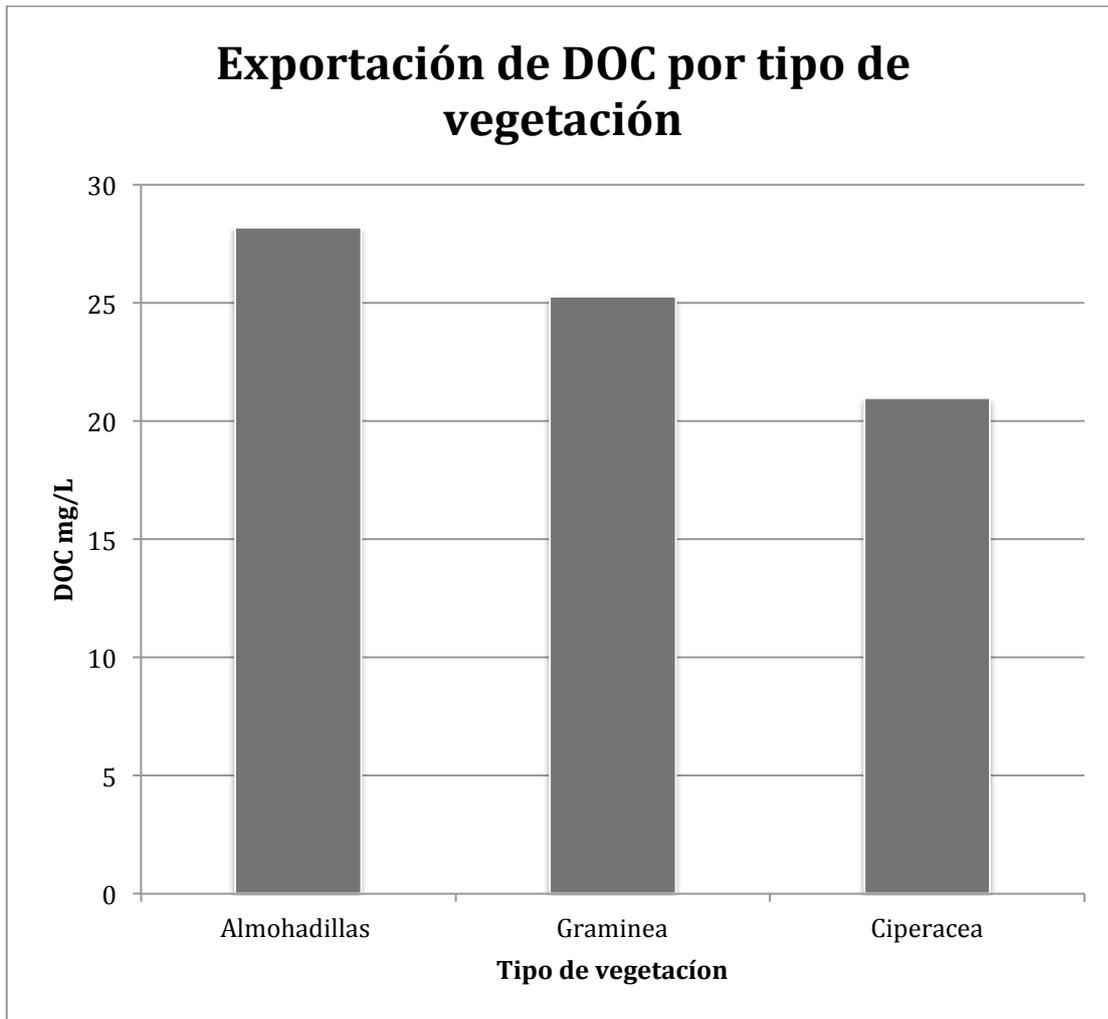


Figura 1. Promedio de la cantidad de DOC según el tipo de vegetación, Almohadillas 28,2 mg/L, Gramínea 25,2 mg/L, Ciperácea 20,9 mg/L

FIGURA 2 EXPORTACIÓN DE DOC POR EL TIPO DE DISTURBIO

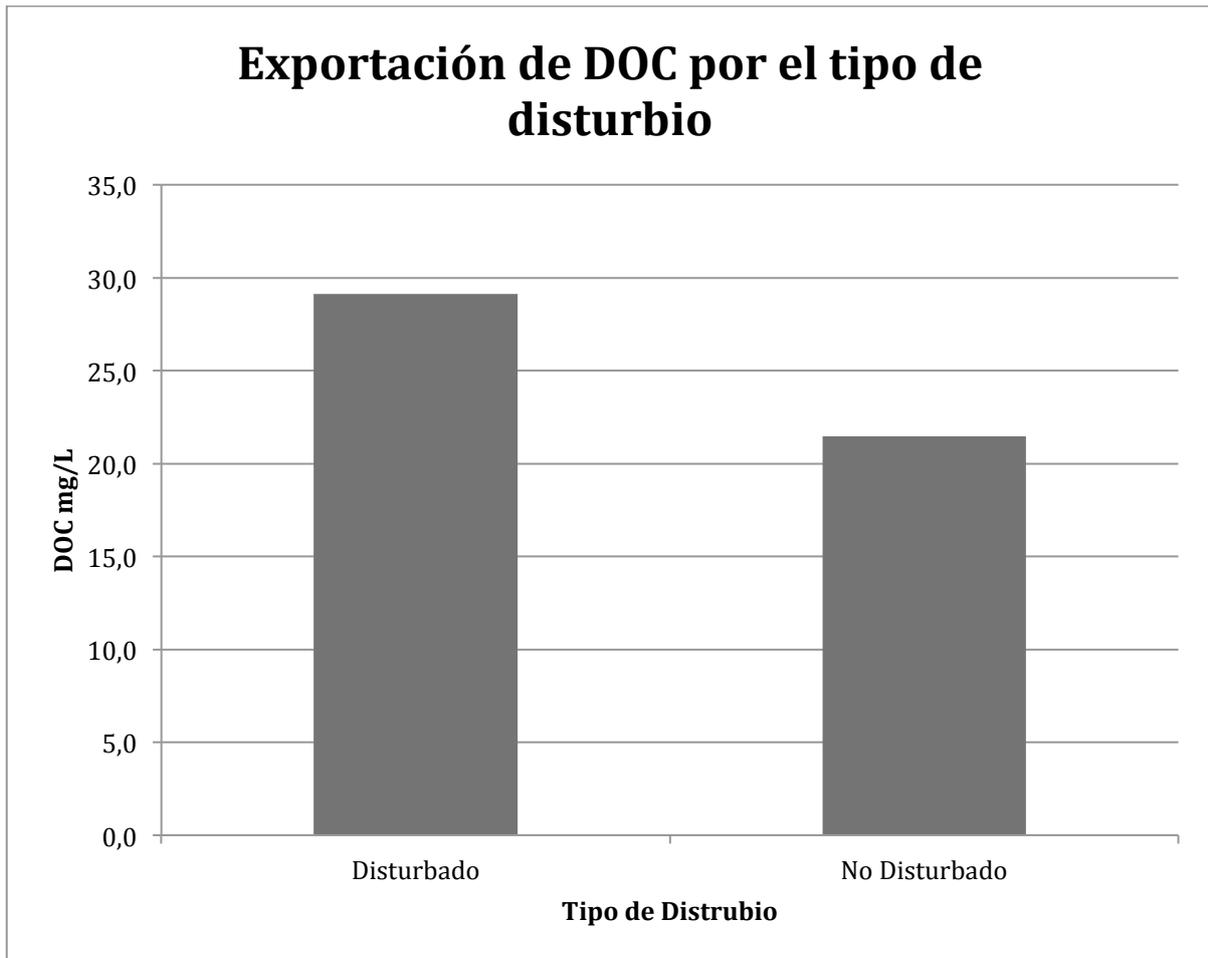


Figura 2. Promedio de la exportación de DOC según el tipo de turbera. Las que se encuentran disturbadas tienen un valor de 29,1 mg/L y las no disturbadas un valor de 21,5 mg/L

FIGURA 3 EXPORTACIÓN DE DOC POR LA ALTURA

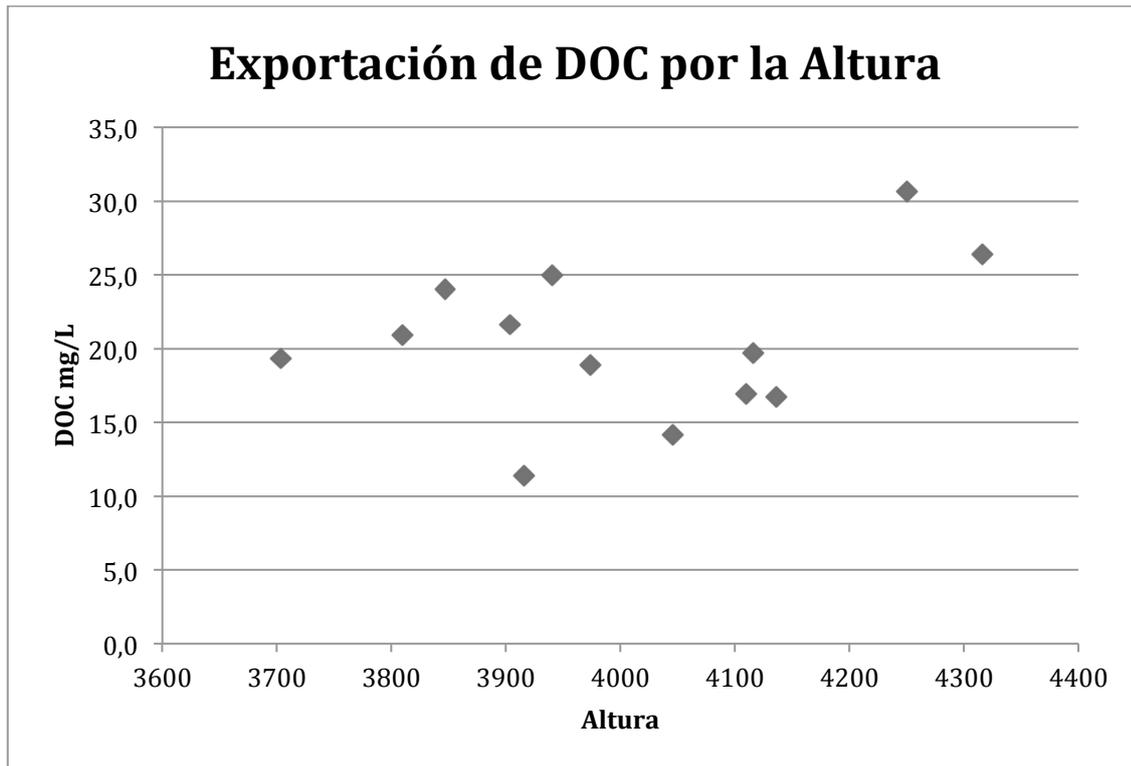


Figura 3. Promedio de la exportación de DOC según la altura de la turbera. Aquí se encuentra un máximo a los 4250 msnm con 30,6 mg/L y un mínimo a los 3916 msnm con 11,4

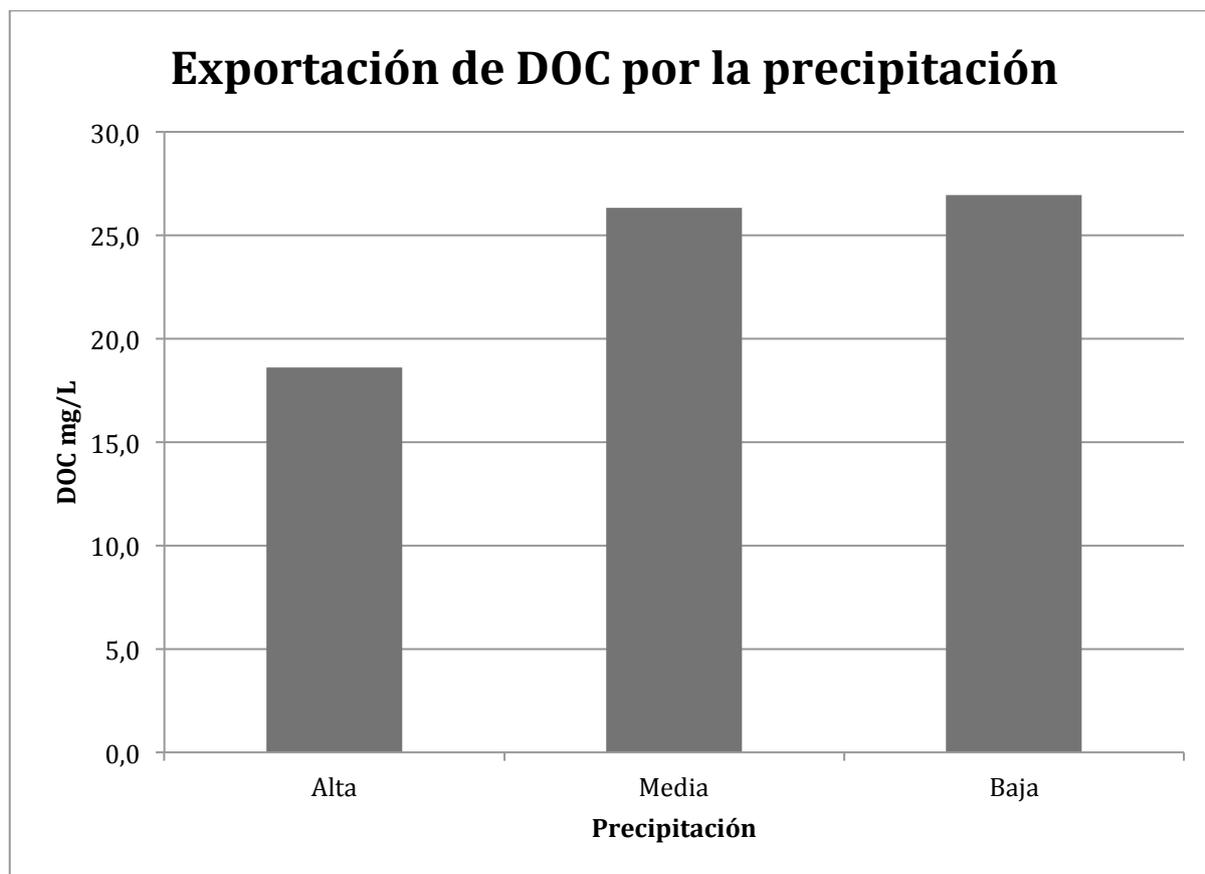
FIGURA 4 EXPORTACIÓN DE DOC POR LA PRECIPITACIÓN

Figura 4. Promedio de Exportación de DOC según el tipo de precipitación. La Alta se encuentra con un valor de 18,6 mg/L, la media con 26,3 mg/L y la baja con 26,9 mg/L