

FORMATO INSTITUCIONAL DE CURSOS REGULARES

TITULO DEL CURSO:	BIOGEOQUÍMICA DE ECOSISTEMAS FORESTALES		
PROGRAMA DE POSGRADO:	CIENCIAS FORESTALES		
CURSO:	REGULAR		
PROFESOR TITULAR:	ARMANDO GÓMEZ GUERRERO		
CLAVE DE PROFESOR	X00978		
COLABORADOR (ES):	-		
(ANOTAR NOMBRE Y CLAVE DE CADA PROFESOR	-		
CORREO ELECTRÓNICO:	agomezg@colpos.mx		
TELÉFONO:	(595) 9520200 ext 1475	EDIFICIO/PLANTA/NÚMERO	Planta baja, Edificio Eduardo Casas Díaz
CLAVE DEL CURSO:	FOR-620	PRE-REQUISITOS:	Ninguno
TIPO DE CURSO:		PERIODO:	
<input checked="" type="checkbox"/>	Teórico	<input type="checkbox"/>	Primavera
<input type="checkbox"/>	Práctico	<input type="checkbox"/>	Verano
<input type="checkbox"/>	Teórico-Práctico	<input checked="" type="checkbox"/>	Otoño
SE IMPARTE A :		MODALIDAD:	
<input checked="" type="checkbox"/>	Maestría en Ciencias	<input type="checkbox"/>	Presencial
<input checked="" type="checkbox"/>	Doctorado en Ciencias	<input type="checkbox"/>	No presencial
<input type="checkbox"/>	Maestría Tecnológica	<input checked="" type="checkbox"/>	Mixto
CRÉDITOS:	3		
HORAS TEORÍA:		HORAS PRÁCTICA:	
Presenciales	48 h	LABORATORIO	
Extra clase	144 h	CAMPO	
Total	192	INVERNADERO	

Nota: Un crédito equivale a 64 horas totales (presenciales y extra clases)

Las horas de práctica están consideradas en las horas Extra clase y se reflejan en el total

OBJETIVO GENERAL DEL CURSO

(1) Comprender los procesos principales del suelo, atmósfera y biosfera que tienen lugar en los ecosistemas forestales.

- (2) Analizar los principios científicos de procesos globales como Cambio Climático Global y Captura de Carbono; y locales como Lluvia ácida, Saturación de Nitrógeno.
- (3) Obtener los elementos básicos para lograr un análisis integral de los procesos naturales que ocurren en los ecosistemas forestales.
- (4) Motivar al estudiante a revisar literatura de estudios biogeoquímicos que empleen metodologías con isótopos estables y dendrocronología.

HORAS ESTIMADAS	TEMAS Y SUBTEMAS	OBJETIVOS DE LOS TEMAS
3	Presentación del curso Introducción Conceptos Leyes básicas en las reacciones químicas Video "William Schlesinger - "New Perspectives on Biogeochemical Cycles" Elaboración del Glosario del Curso Video "Ciclos Biogeoquímicos"	Mostrar alcances del curso Repaso de leyes de químicas, biológicas y físicas básicas Explicar contexto global de procesos Elaborar glosario de términos para reforzar conocimiento
3	Generalidades de las funciones y composición de la atmósfera Reacciones biogeoquímicas en la atmósfera Concepto de tiempo medio de residencia La energía en los ecosistemas forestales Lluvia ácida	Discutir procesos de la atmósfera, sus reacciones y contaminación ambiental
4	Descomposición de Materia orgánica Ejercicio de descomposición/respiración	Comprender proceso de mineralización y movimiento de nutrientes en sistemas arbolados

4	Conceptos de productividad primaria Índices de productividad en áreas forestales PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS (Estudiantes)	Comprender los ciclos del carbono y nitrógeno en ecosistemas forestales Estimular el análisis y discusión de literatura reciente
2	Cuantificación y destino de la productividad primaria neta	Comprender componente de productividad y su distribución en masas arboladas.
2	El suelo Formación del suelo Procesos químicos y biológicos Disponibilidad de nutrientes Procesos físicos Potenciales de agua Un índice edáfico de productividad forestal	Comprender los procesos del suelo
	EXAMEN 1	Cuantificar los logros del estudiante
3	El ciclo global del carbono El carbono en ecosistemas forestales Importancia de la captura de Carbono	Comprender el ciclo del carbono en el contexto de cambio climático
2	Potencial de los ecosistemas forestales para capturar carbono	Comprender el ciclo del carbono en el contexto de cambio climático
2	Generalidades sobre la herramienta STELLA 8.0 para la simulación de procesos.	Comentar sobre las bases de los modelos para simular procesos biogeoquímicos
2	El ciclo global del nitrógeno Alteraciones del ciclo Hipótesis de la Saturación de Nitrógeno	Comprender los efectos de la saturación de nitrógeno en bosques
2	PRESENTACIÓN Y ARTÍCULOS	Estimular el análisis y discusión de literatura reciente
2	Ciclos del Fósforo y Azufre Relación del Fósforo con los ciclos del N y C	Analizar otros ciclos biogeoquímicos importantes.

2	Ciclos del Potasio Calcio y Magnesio	Analizar otros ciclos biogeoquímicos importantes.
2	Biogeoquímica e Impacto Ambiental Estrategias de Evaluación de Impacto Ambiental	4 de Noviembre
3	Presentación y discusión de artículos	Estimular el análisis y discusión de literatura
2	Introducción al uso de Isótopos estables Definiciones ¿Cómo pueden ayudar las técnicas con isótopos estables? Isótopos estables de Carbono Estudios de captura de carbono Estudios de eco-fisiología	Conocer otras herramientas para el estudio de procesos biogeoquímicos en ecosistemas forestales
2	Isótopos estables de Nitrógeno Estudios de Absorción de Nitrógeno	Conocer otras herramientas para el estudio de procesos biogeoquímicos en ecosistemas forestales
2	Estudios de contaminación Atmosférica Estudios sobre fijación de Nitrógeno	Conocer otras herramientas para el estudio de procesos biogeoquímicos en ecosistemas forestales
2	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE ARTÍCULOS	Estimular el análisis y discusión de literatura
2	Presentación de Trabajo Final	Poner en práctica los conocimientos del curso mediante la exposición de un tema asignado al principio del curso
	EXAMEN 2 (FINAL)	Evaluación de aprendizaje

EN CASO DE CURSO TEÓRICO-PRÁCTICO O PRÁCTICO, SE DEBERÁ AGREGAR EL MANUAL DE PRÁCTICAS CORRESPONDIENTE, CUYO FORMATO DE CADA PRÁCTICA, DEBE ESTAR INTEGRADO POR PROTOCOLO, BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA Y EVALUACIÓN. EL PROTOCOLO DE CADA PRÁCTICA DEBE INCLUIR, INTRODUCCIÓN-REVISIÓN DE LITERATURA, MATERIALES Y MÉTODOS, MÁS INDICACIONES PARA LA PRESENTACIÓN DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

RECURSOS DIDÁCTICOS

Biogeochemistry: An analysis of global change. Third edition. Schlesinger, W.H. and Bernhardt E. S. 2013. Academic Press, San Diego. 672p.

Ecosystem Biogeochemistry. Element Cycling in the Forest Landscape. 2018. Cronan S. C. Springer. 203p. Switzerland.

Biogeochemical Cycles. A computer-Interactive study of earth system Science and Global Change. Chameides W. L and Perdue E. M. 1997 New York. Oxford University Press. 224p.

Ecology and management of forest soils. D. Binkley and Fisher, R.F. 2013. Fourth Edition. John Wiley & Sons, New York. 362 p.

Consider a spherical cow. 1988. A course in environmental problems solving. Harte, J. University Science Books, Mill Valley, CA. 283 p.

An introduction to Environmental Biophysics. 1998. Campbell, G. S., Norman, J. M. Second Edition. Springer. 286p.

NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN

Procedimiento de evaluación

Distribución de la Calificación

Examen 1	25%
Examen 2	25%
Presentación de artículos	20%
Trabajo final	20%
Participación en clase y exámenes sorpresa	10%
	100%

BIBLIOGRAFÍA IMPRESA O ELECTRÓNICA (AUTOR, AÑO, TÍTULO, EDITORIAL, FECHA, EDICIÓN)

- Andreu, L., E. Gutiérrez, M. Macias, M. Ribas, O. Bosch, and J. J. Camarero (2007), Climate increases regional tree-growth variability in Iberian pine forests, *Global Change Biology*, 13(4), 804-815, doi:doi:10.1111/j.1365-2486.2007.01322.x.
- Astudillo-Sánchez, C. C., J. Villanueva-Díaz, A. R. Endara-Agramont, G. E. Nava-Bernal, and M. A. Gómez-Albores (2017), Climatic variability at the treeline of Monte Tlaloc, México: a dendrochronological approach, *Trees*, 31(2), 441-453, doi:10.1007/s00468-016-1460-z.
- Babst, F., et al. (2018), When tree rings go global: Challenges and opportunities for retro- and prospective insight, *Quaternary Science Reviews*, 197, 1-20, doi:https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.07.009.
- Barbour, M. M. (2007), Stable oxygen isotope composition of plant tissue: a review, *Functional Plant Biology*, 34(2), 83-94, doi:https://doi.org/10.1071/FP06228.
- Barnard, H. R., J. R. Brooks, and B. J. Bond (2012), Applying the dual-isotope conceptual model to interpret physiological trends under uncontrolled conditions, *Tree Physiology*, 32(10), 1183-1198, doi:10.1093/treephys/tps078.
- Battipaglia, G., M. Saurer, P. Cherubini, C. Calfapietra, H. R. McCarthy, R. J. Norby, and M. Francesca Cotrufo (2013), Elevated CO₂ increases tree-level intrinsic water use efficiency: insights from carbon and oxygen isotope analyses in tree rings across three forest FACE sites, *New Phytologist*, 197(2), 544-554, doi:10.1111/nph.12044.
- Beramendi-Orosco, L. E., G. González-Hernández, A. Martínez-Reyes, O. Morton-Bermea, F. J. Santos-Arévalo, I. Gómez-Martínez, and J. Villanueva-Díaz (2018), Changes in CO₂ Emission Sources in México City Metropolitan Area Deduced from Radiocarbon Concentrations in Tree Rings, *Radiocarbon*, 60(1), 21-34, doi:10.1017/RDC.2017.100.
- Biondi, F., P. Hartsough, and I. G. G. Estrada (2009), Recent warming at the tropical treeline of North America, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(9), 463-464, doi:doi:10.1890/09.WB.028.
- Biondi, F., P. C. Hartsough, and I. Galindo Estrada (2005), Daily weather and tree growth at the tropical treeline of North America, *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 37(1), 16-24, doi:dx.doi.org/10.1657/1523-0430(2005)037[0016:DWATGA]2.0.CO;2.
- Biondi, F., and F. Qeadan (2008), A Theory-Driven Approach to Tree-Ring Standardization: Defining the Biological Trend from Expected Basal Area Increment, *Tree-Ring Research*, 64(2), 81-96, doi:10.3959/2008-6.1.
- Bunn, A. G. (2008), A dendrochronology program library in R (dplR), *Dendrochronologia*, 26(2), 115-124, doi:dx.doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002.
- Bunn, A. G., M. K. Hughes, A. V. Kirilyanov, M. Losleben, V. V. Shishov, L. T. Berner, A. Oltchev, and E. A. Vaganov (2013), Comparing forest measurements from tree rings and a space-based index of vegetation activity in Siberia, *Environmental Research Letters*, 8(3), doi:dx.doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/035034.
- Camarero, J. J., A. Gazol, J. D. Galván, G. Sangüesa-Barreda, and E. Gutiérrez (2015), Disparate effects of global-change drivers on mountain conifer forests: warming-induced growth enhancement in young trees vs. CO₂ fertilization in old trees from wet sites, *Global Change Biology*, 21(2), 738-749, doi:doi:10.1111/gcb.12787.
- Castruita-Esparza, L. U., L. C. R. Silva, A. Gómez-Guerrero, J. Villanueva-Díaz, A. Correa-Díaz, and W. R. Horwath, (2019), Coping with extreme events: Growth and water-use efficiency of trees in western México during the driest and wettest periods of the past one hundred sixty years, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 124(11), 3419-3431, doi:doi:10.1029/2019JG005294.
- Correa-Díaz, A., L. C. R. Silva, W. R. Horwath, A. Gómez-Guerrero, J. Vargas-Hernández, J. Villanueva-Díaz, A. Velázquez-Martínez, and J. Suárez-Espinoza (2019), Linking Remote Sensing and Dendrochronology

to Quantify Climate-Induced Shifts in High-Elevation Forests Over Space and Time, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 124(1), 166-183, doi:doi:10.1029/2018JG004687.

- Dawson, T. E., S. Mambelli, A. H. Plamboeck, P. H. Templer, and K. P. Tu (2002), Stable Isotopes in Plant Ecology, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33(1), 507-559, doi:10.1146/annurev.ecolsys.33.020602.095451.
- del Castillo, J., J. Voltas, and J. P. Ferrio (2015), Carbon isotope discrimination, radial growth, and NDVI share spatiotemporal responses to precipitation in Aleppo pine, *Trees*, 29(1), 223-233, doi:10.1007/s00468-014-1106-y.
- Farquhar, G. D., J. R. Ehleringer, and K. T. Hubick (1989), Carbon Isotope Discrimination and Photosynthesis, *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40(1), 503-537, doi:10.1146/annurev.pp.40.060189.002443.
- Farquhar, G. D., M. H. O'Leary, and J. A. Berry (1982), On the relationship between carbon isotope discrimination and intercellular carbon dioxide concentration in leaves, *Australian Journal of Plant Physiology*, 9, 121-137.
- Ferrio, J. P., and J. Voltas (2005), Carbon and oxygen isotope ratios in wood constituents of *Pinus halepensis* as indicators of precipitation, temperature and vapour pressure deficit, *Tellus B*, 57(2), 164-173, doi:doi:10.1111/j.1600-0889.2005.00137.x.
- Franks, P. J., et al. (2013), Sensitivity of plants to changing atmospheric CO₂ concentration: from the geological past to the next century, *New Phytologist*, 197(4), 1077-1094, doi:doi:10.1111/nph.12104.
- Fritts, H. C. (1976), *Tree rings and climate*, 567 pp., Academic Press Inc, London.
- Gagen, M., D. McCarroll, and J.-L. Edouard (2006), Combining Ring Width, Density and Stable Carbon Isotope Proxies to Enhance the Climate Signal in Tree-Rings: An Example from the Southern French Alps, *Climatic Change*, 78(2), 363-379, doi:10.1007/s10584-006-9097-3.
- Gedalof, Z. e., and A. A. Berg (2010), Tree ring evidence for limited direct CO₂ fertilization of forests over the 20th century, *Global Biogeochemical Cycles*, 24(3), doi:doi:10.1029/2009GB003699.
- Giguère-Croteau, C., É. Boucher, Y. Bergeron, M. P. Girardin, I. Drobyshch, L. C. R. Silva, J.-F. Hélie, and M. Garneau (2019), North America's oldest boreal trees are more efficient water users due to increased CO₂, but do not grow faster, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201816686, doi:10.1073/pnas.1816686116.
- Gómez-Guerrero, A., and T. Doane (2018), Chapter Seven - The Response of Forest Ecosystems to Climate Change, in *Developments in Soil Science*, edited by W. R. Horwath and Y. Kuzyakov, pp. 185-206, Elsevier, doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63865-6.00007-7.
- Gómez-Guerrero, A., L. C. R. Silva, M. Barrera-Reyes, B. Kishchuk, A. Velazquez-Martinez, T. Martinez-Trinidad, F. O. Plascencia-Escalante, and W. R. Horwath (2013), Growth decline and divergent tree ring isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$) contradict predictions of CO₂ stimulation in high altitudinal forests, *Global Change Biology*, 19(6), 1748-1758.
- Gruber, A., W. A. Dorigo, W. Crow, and W. Wagner (2017), Triple collocation-based merging of satellite soil moisture retrievals, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(12), 6780-6792.
- Guo, G., and G. Xie (2006), The relationship between plant stable carbon isotope composition, precipitation and satellite data, Tibet Plateau, China, *Quaternary International*, 144(1), 68-71, doi:https://doi.org/10.1016/j.quaint.2005.05.014.
- Hartsough, P., S. R. Poulson, F. Biondi, and I. G. Estrada (2008), Stable isotope characterization of the ecohydrological cycle at a tropical treeline site, Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 40(2), 343-354, doi:dx.doi.org/10.1657/1523-0430(06-117)[HARTSOUGH]2.0.CO;2.
- Hochberg, Y. (1988), A sharper Bonferroni procedure for multiple tests of significance, *Biometrika*, 75(4), 800-802, doi:10.1093/biomet/75.4.800.
- Hollander, M., D. A. Wolfe, and E. Chicken (2013), *Nonparametric Statistical Methods*, Third Edition ed., 848 pp., John Wiley & Sons, New York, USA.
- Hultine, K. R., and J. D. Marshall (2000), Altitude trends in conifer leaf morphology and stable carbon isotope composition, *Oecologia*, 123(1), 32-40, doi:10.1007/s004420050986.

Jenkerson, C., T. Maiersperger, and G. Schmidt (2010), eMODIS: A user-friendly data source, U.S. Geological Survey Open-File Report 2010-1055, 10.

Joiner, J., et al. (2014), The seasonal cycle of satellite chlorophyll fluorescence observations and its relationship to vegetation phenology and ecosystem atmosphere carbon exchange, *Remote Sensing of Environment*, 152, 375-391, doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.06.022>.

Körner, C. (2012), *Alpine Treelines*, 220 pp., Springer Basel, doi:10.1007/978-3-0348-0396-0.

Körner, C., G. D. Farquhar, and Z. Roksandic (1988), A global survey of carbon isotope discrimination in plants from high altitude, *Oecologia*, 74(4), 623-632, doi:10.1007/bf00380063.

Körner, C., G. D. Farquhar, and S. C. Wong (1991), Carbon isotope discrimination by plants follows latitudinal and altitudinal trends, *Oecologia*, 88(1), 30-40, doi:10.1007/bf00328400.

Liles, G., T. Maxwell, L. Silva, J. Zhang, and W. Horwath (2019), Two Decades of Experimental Manipulation Reveal Potential for Enhanced Biomass Accumulation and Water Use Efficiency in Ponderosa Pine Plantations Across Climate Gradients, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 124(7), 2321-2334.

Lavergne, A., V. Daux, M. Pierre, M. Stievenard, A. M. Srur, and R. Villalba (2018), Past Summer Temperatures Inferred From Dendrochronological Records of *Fitzroya cupressoides* on the Eastern Slope of the Northern Patagonian Andes, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 123(1), 32-45, doi:10.1002/2017JG003989.

Leavitt, S. W., T. N. Chase, B. Rajagopalan, E. G. Lee, and P. J. Lawrence (2008), Southwestern U.S. tree-ring carbon isotope indices as a possible proxy for reconstruction of greenness of vegetation, *Geophysical Research Letters*, 35(12), doi:[dx.doi.org/10.1029/2008GL033894](https://doi.org/10.1029/2008GL033894).

Levesque, M., L. Andreu-Hayles, W. K. Smith, A. P. Williams, M. L. Hobi, B. W. Allred, and N. Pederson (2019), Tree-ring isotopes capture interannual vegetation productivity dynamics at the biome scale, *Nature Communications*, 10(1), 742, doi:10.1038/s41467-019-08634-y.

Linares, J. C., and J. J. Camarero (2012), From pattern to process: linking intrinsic water-use efficiency to drought-induced forest decline, *Global Change Biology*, 18(3), 1000-1015, doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02566.x.

Lloret, F., E. G. Keeling, and A. Sala (2011), Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests, *Oikos*, 120(12), 1909-1920, doi:10.1111/j.1600-0706.2011.19372.x.

Loader, N. J., R. P. D. Walsh, I. Robertson, K. Bidin, R. C. Ong, G. Reynolds, D. McCarroll, M. Gagen, and G. H. F. Young (2011), Recent trends in the intrinsic water-use efficiency of ringless rainforest trees in Borneo, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1582), 3330-3339, doi:10.1098/rstb.2011.0037.

Lobato-Sánchez, R., and M. A. Altamirano-del-Carmen (2017), Detection of local temperature trends in México, *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 8(6), 101-116, doi:10.24850/j-tyca-2017-06-07.

Marshall, J. D., and J. Zhang (1994), Carbon Isotope Discrimination and Water-Use Efficiency in Native Plants of the North-Central Rockies, *Ecology*, 75(7), 1887-1895, doi:10.2307/1941593.

Martínez-Vilalta, J. (2018), The rear window: structural and functional plasticity in tree responses to climate change inferred from growth rings, *Tree Physiology*, doi:10.1093/treephys/tpy008.

Maxwell, T. M., L. C. R. Silva, and W. R. Horwath (2018), Integrating effects of species composition and soil properties to predict shifts in montane forest carbon-water relations, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, doi:10.1073/pnas.1718864115.

McCarroll, D., and N. J. Loader (2004), Stable isotopes in tree rings, *Quaternary Science Reviews*, 23(7-8), 771-801, doi:[dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2003.06.017](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2003.06.017).

McDowell, N., et al. (2008), Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought?, *New Phytologist*, 178(4), 719-739, doi:10.1111/j.1469-8137.2008.02436.x.

Mischel, M., J. Esper, F. Keppler, M. Greule, and W. Werner (2015), $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ from whole wood, α -cellulose and lignin methoxyl groups in *Pinus sylvestris*: a multi-parameter approach, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 51(4), 553-568, doi:10.1080/10256016.2015.1056181.

Miyeni, R. B., F. G. Hall, P. J. Sellers, and A. L. Marshak (1995), The interpretation of spectral vegetation indexes, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2), 481-486, doi:10.1109/36.377948.

Peñuelas, J., J. G. Canadell, and R. Ogaya (2011), Increased water-use efficiency during the 20th century did not translate into enhanced tree growth, *Global Ecology and Biogeography*, 20(4), 597-608, doi:10.1111/j.1466-8238.2010.00608.x.

Perry, J. P. (1991), *The Pines of México and Central America*, 231 pp., Timber Press, Portland, Oregon.

Pinheiro, J., D. Bates, S. DebRoy, D. Sarkar, and R. C. Team (2018), nlme: Linear and nonlinear mixed effects models, R package version 3.1131.1.

Ray-Mukherjee, J., K. Nimon, S. Mukherjee, D. W. Morris, R. Slotow, and M. Hamer (2014), Using commonality analysis in multiple regressions: a tool to decompose regression effects in the face of multicollinearity, *Methods in Ecology and Evolution*, 5(4), 320-328, doi:10.1111/2041-210X.12166.

Reed, C. C., A. P. Ballantyne, L. A. Cooper, and A. Sala (2018), Limited evidence for CO₂-related growth enhancement in northern Rocky Mountain lodgepole pine populations across climate gradients, *Global Change Biology*, 24(9), 3922-3937, doi:10.1111/gcb.14165.

Rossella, G., J. Katie, B. Soumaya, A. Heidi, and O. Scott (2017), Evaluating climate signal recorded in tree-ring $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values from bulk wood and α -cellulose for six species across four sites in the northeastern US, *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 31(24), 2081-2091, doi:10.1002/rcm.7995.

Sanders, T. G. M., I. Heinrich, B. Günther, and W. Beck (2016), Increasing water use efficiency comes at a cost for Norway spruce, *Forests*, 7(12), 296, doi:10.3390/f7120296.

Saurer, M., K. Aellen, and R. Siegwolf (1997), Correlating $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ in cellulose of trees, *Plant, Cell & Environment*, 20(12), 1543-1550, doi:10.1046/j.1365-3040.1997.d01-53.x.

Saurer, M., R. T. W. Siegwolf, and F. H. Schweingruber (2004), Carbon isotope discrimination indicates improving water-use efficiency of trees in northern Eurasia over the last 100 years, *Global Change Biology*, 10(12), 2109-2120, doi:10.1111/j.1365-2486.2004.00869.x.

Scheidegger, Y., M. Saurer, M. Bahn, and R. Siegwolf (2000), Linking stable oxygen and carbon isotopes with stomatal conductance and photosynthetic capacity: a conceptual model, *Oecologia*, 125(3), 350-357, doi:10.1007/s004420000466.

Silva, L. C. (2017), Carbon sequestration beyond tree longevity, *Science*, 355(6330), 1141-1141.

Silva, L. C. (2015), From air to land: Understanding water resources through plant-based multidisciplinary research, *Trends Plant Sci.*, 20(7), 399-401

Silva, L. C. R., and M. Anand (2013), Probing for the influence of atmospheric CO₂ and climate change on forest ecosystems across biomes, *Global Ecology and Biogeography*, 22(1), 83-92, doi:10.1111/j.1466-8238.2012.00783.x.

Silva, L. C. R., G. Sun, X. Zhu-Barker, Q. Liang, N. Wu, and W. R. Horwath (2016), Tree growth acceleration and expansion of alpine forests: The synergistic effect of atmospheric and edaphic change, *Science Advances*, 2(8), doi:10.1126/sciadv.1501302.

Silva, L. C. R., A. Gómez-Guerrero, T. A. Doane, and W. R. Horwath (2015), Isotopic and nutritional evidence for species- and site-specific responses to N deposition and elevated CO₂ in temperate forests, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 120(6), 1110-1123, doi:10.1002/2014JG002865.

Tei, S., A. Sugimoto, A. Kotani, T. Ohta, T. Morozumi, S. Saito, S. Hashiguchi, and T. Maximov (2019), Strong and stable relationships between tree-ring parameters and forest-level carbon fluxes in a Siberian larch forest, *Polar Science*, doi:https://doi.org/10.1016/j.polar.2019.02.001.

Treydte, K., et al. (2014), Seasonal transfer of oxygen isotopes from precipitation and soil to the tree ring: source water versus needle water enrichment, *New Phytologist*, 202(3), 772-783, doi:10.1111/nph.12741.

Vicente-Serrano, S. M., J. J. Camarero, J. M. Olano, N. Martin-Hernandez, M. Pena-Gallardo, M. Tomas-Burguera, A. Gazol, C. Azorin-Molina, U. Bhuyan, and A. El-Kenawy (2016), Diverse relationships

between forest growth and the Normalized Difference Vegetation Index at a global scale, *Remote Sensing of Environment*, 187, 14-29, doi:dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.10.001.

- Villanueva-Díaz, J., J. Cerano Paredes, L. Vázquez Selem, D. W. Stahle, P. Z. Fulé, L. L. Yocom, O. Franco Ramos, and J. Ariel Ruiz Corral (2015), Red dendrocronológica del pino de altura (*Pinus hartwegii* Lindl.) para estudios dendroclimáticos en el noreste y centro de México, *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2015(86), 5-14, doi:doi.org/10.14350/rig.42003.
- Voelker, S. L., et al. (2016), A dynamic leaf gas-exchange strategy is conserved in woody plants under changing ambient CO₂: evidence from carbon isotope discrimination in paleo and CO₂ enrichment studies, *Global Change Biology*, 22(2), 889-902, doi:doi:10.1111/gcb.13102.
- Voltas, J., J. J. Camarero, D. Carulla, M. Aguilera, A. Ortiz, and J. P. Ferrio (2013), A retrospective, dual-isotope approach reveals individual predispositions to winter-drought induced tree dieback in the southernmost distribution limit of Scots pine, *Plant, Cell & Environment*, 36(8), 1435-1448, doi:doi:10.1111/pce.12072.
- Wagner, W., W. Dorigo, R. de Jeu, D. Fernandez, J. Benveniste, E. Haas, and M. Ertl (2012), Fusion of active and passive microwave observations to create an essential climate variable data record on soil moisture, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS Annals)*, 7, 315-321.
- Wang, J., P. M. Rich, K. P. Price, and W. D. Kettle (2004), Relations between NDVI and tree productivity in the central Great Plains, *International Journal of Remote Sensing*, 25(16), 3127-3138, doi:10.1080/0143116032000160499.
- Wang, L., G. S. Okin, and S. A. MacKo (2010), Remote sensing of nitrogen and carbon isotope compositions in terrestrial ecosystems, in *Isoscapes: Understanding movement, pattern, and process on Earth through isotope mapping*, edited, pp. 51-70, doi:10.1007/978-90-481-3354-3_3.
- Wang, T., A. Hamann, D. Spittlehouse, and C. Carroll (2016), Locally Downscaled and Spatially Customizable Climate Data for Historical and Future Periods for North America, *PLOS ONE*, 11(6), e0156720, doi:10.1371/journal.pone.0156720.
- Wang, T., A. Hamann, D. L. Spittlehouse, and T. Q. Murdock (2012), ClimateWNA—High-Resolution Spatial Climate Data for Western North America, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(1), 16-29, doi:10.1175/jamc-d-11-043.1.
- Warren, C. R., J. F. McGrath, and M. A. Adams (2001), Water availability and carbon isotope discrimination in conifers, *Oecologia*, 127(4), 476-486, doi:10.1007/s004420000609.
- Werner, C., et al. (2012), Progress and challenges in using stable isotopes to trace plant carbon and water relations across scales, *Biogeosciences*, 9(8), 3083-3111, doi:10.5194/bg-9-3083-2012.
- Wieser, G., W. Oberhuber, A. Gruber, M. Leo, R. Matyssek, and T. E. E. Grams (2016), Stable Water Use Efficiency under Climate Change of Three Sympatric Conifer Species at the Alpine Treeline, *Frontiers in Plant Science*, 7(799), doi:10.3389/fpls.2016.00799.
- Wu, G., X. Liu, T. Chen, G. Xu, W. Wang, X. Zeng, and X. Zhang (2015), Elevation-dependent variations of tree growth and intrinsic water-use efficiency in Schrenk spruce (*Picea schrenkiana*) in the western Tianshan Mountains, China, *Frontiers in Plant Science*, 6(309), doi:10.3389/fpls.2015.00309.
- Yi, K., J. T. Maxwell, M. K. Wenzel, D. T. Roman, P. E. Sauer, R. P. Phillips, and K. A. Novick (2018), Linking variation in intrinsic water-use efficiency to isohydrlicity: a comparison at multiple spatiotemporal scales, *New Phytologist*, 0(0), doi:doi:10.1111/nph.15384.
- Zang, C., and F. Biondi (2015), treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships, *Ecography*, 38(4), 431-436, doi:10.1111/ecog.01335.