Doktori (PhD) értekezés tézisei

AZ ATLANTI HATÁS AZ ECUADORI PALEOREKORDOKRA: CSEPPKÖVEK ÉS FAÉVGYŰRŰK

Danny Fernando Vargas Espin

Témavezető: Dr. Palcsu László, PhD



DEBRECENI EGYETEM Fizikai Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2023

Készült a

Debreceni Egyetem Fizikai Tudományok Doktori Iskola és az Atommagkutató Intézet keretében

1. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS HÁTTERE ÉS CÉLKITŰZÉSEI

A trópusi régiókban (30°É-30°D) a paleoklíma rekonstrukciója nehézkes az éghajlati szezonalitást elfedő kis hőmérséklet-ingadozások és folyamatos csapadékviszonyok miatt. Azonban ezeken az alacsony szélességeken lezajló fizikai éghajlati folyamatok biztosítják a hiányzó elemeket ahhoz, hogy megértsük a Föld korábbi éghajlatának termodinamikai ciklusát a magas szélességeken. Dél-Amerikában a kevés rendelkezésre álló paleorekordot a hidrológiai változások alapján értelmezik, nem pedig a hőmérséklet miatt. Legtöbbjükben a dél-amerikai monszunrendszer (SAMS) hatása látszik, mely az ausztrál nyár (DJF) idején fordul elő, és táplálja a kontinens középső és déli részét, jelezve a nedves és száraz évszakok határozott kezdetét. Az egyenlítőhöz közeli régiókban és az Amazonas-medence perifériáján azonban a paleoklimatológiai potenciált még nem tárták fel igazán, talán az Andok domborzata által diktált összetett szezonalitás, az intertrópusi konvergencia zóna (ITCZ) kilengései által előidézett esővíz bimodalitás, valamint az archívumok kalibrálásához szükséges folyamatos műszeres feljegyzések hiánya miatt.

Mindazonáltal éppen ezek a bonyodalmak adják a disszertáció újszerűségét és fókuszát. Az éghajlati szakirodalomban nyilvánvaló kétértelműség tapasztalható az ITCZ és a SAMS határait illetően, különösen Dél-Amerika északi részén, és gyakran ezt a különbségtételt homályosan fogalmazzák meg. A kifejezések ambivalenciájának kezeléséhez hosszú távú éghajlati jeleket rejtő feljegyzések szükségesek, ezért a disszertáció ezen rendszerek szisztematikus értékelésére vállalkozik a százéves és az ezredéves léptékben. Ennek a munkának a középpontjában a paleoklíma rekonstrukcióinak kidolgozása áll Ecuadorban kontinentális archívumok segítségével: barlangi karbonátok és faévgyűrűk a következő célokkal:

1. A mennyiségi hatás értékelése és az esővíz stabil izotóp-összetételének helyi vagy regionális szabályozójának azonosítása az ecuadori Andokban és az Amazonasban

Ecuadorban az esővíz stabil izotópértékei ($\delta^2 H_p$, $\delta^{18}O_p$) jelentős helyi "magassági" hatást mutatnak az ország összetett domborzatának köszönhetően. Az orografikus hatásból származó változatos csapadékrendszerek (unimodális, bimodális és hárommodális) kihívást jelentenek az izotóp-összetétel és a helyi csapadékmennyiség közötti összefüggés megállapítására. Mindazonáltal a régióban található állomások az éven belüli izotóp-variabilitás hasonló mintázatát mutatják. Kiértékelem a regionális fő szabályzó (V-index) jelenlétének hipotézisét, amely meghatározza a helyi komponensek által hangolt fő izotóp-összetételben mutatkozó változékonyságot.. Felmérem annak lehetőségét is, hogy az ecuadori Amazonas és Andok régiókat ne ITCZ-ként vagy SAMSként jelöljük meg, hanem ezen rendszerek közötti átmeneti zónaként: egy monszunvályúként (monsoon tough) (Wang et al., 2017), ahol ez a regionális vezérlő be van ágyazva. Ezt a koncepciót a kimenő hosszúhullámú sugárzás (OLR), a Lagrangevisszairányú pályák és egy általános keringési modell felhasználásával fejlesztették ki.

A legutóbbi évszázad hidrológiai rekonstrukciója fafajokból származó cellulóz δ¹⁸O és δ¹³C érétkeinek felhasználásával

Dendrokronológiai módszereket alkalmazva a faévgyűrű szélességét (TRW) és a cellulóz alapú $\delta^{18}O_{TR}$ és $\delta^{13}C_{TR}$ idősorokat először az Amazonas alföldről származó *Cedrela nebulosa* fajok felhasználásával készítettem. Térbeli és spektrális analízissel bemutatom, hogy a fa oxigén izotópjai a monszun vályúterület közepén elhelyezkedő konvektív térben (V-index) kiterjedt csapadékjelet rögzítenek. Ezzel szemben a szénizotópos jel az ITCZ kilengéseihez kapcsolódó felhősséggel mutat összefüggést. Ezek az eredmények lehetővé teszik számunkra, hogy tisztázzuk, melyik az Ecuador felett irányítást gyakorló fő esőzési rendszer (SAMS vagy ITCZ).

3. Rekonstruálni A több ezer éves múlt hidrológiai rekojnstrkciója a cseppkövekből származó δ¹⁸O segítségével

Közép-holocén paleocsapadék-rekonstrukciók alig találhatól Dél-Amerika északnyugati részéről. Ezért a Dino-barlangból (Dino-1) származó U-Th korolt cseppkövet elemeztem, majd pedig összehasonlítottam a regionális rekordokkal és a rendelkezésre álló éghajlati modellekkel. Ezt a munkát egy helyszínoi barlangi monitoring egészíti ki. Összességében ezek a feljegyzések lehetővé teszik számunkra annak felmérését, hogy a közelmúlt éghajlati mintái is jelen voltak-e évezredes léptékben.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1 Helyszín

A fák évgyűrűinek és a barlangok vizsgálati területe Mera település környékén, Pastaza tartományban (1°24'S, 78°03'W, 1200 m A.s.l.) található, az ecuadori Andok keleti lábánál. A helyszín jellegzetessége, hogy egy átmeneti zóna az Amazonas-alföldtől az Andokig, 4000 m feletti tengerszint feletti magassággal. A csapadék szezonális eloszlása bimodális, átlagosan évi 4500 mm csapadékkal. Két száraz évszakból (JJA: fő és DJF: alárendelt) és két esős évszakból (MAM: fő és SON: allárendelt) áll (Ilbay-Yupa et al., 2021; Vuille et al., 2000). Az éves középhőmérséklet 21 és 23 °C között ingadozik.

2.2 Mintagyűjtés

2.1.1 Csapadékgyűjtő kampány

A havi integrált esővízmintákat 48 hónapon keresztül, 2019 februárjától 2023 januárjáig folyamatosan gyűjtöttük $\delta^2 H_p$, $\delta^{18}O_p$ értékre. A mintákat egy 12 literes műanyag edénybe gyűjtöttük 300 ml paraffinolaj hozzáadásával, hogy megakadályozzuk a párolgást (IAEA/WMO, 2014).

2.1.2 Faévgyűrű magok

Több terepi mintázás után a *Cedrela nebulosa* fajt a elterjedtsége és a gyűrűk látható megjelenése miatt választottuk ki. Összesen 33 fa egyed (67 mag) és 3 keresztmetszet került begyűjtésre. Miután amagokat rögzítettem, a laboratóriumban függőleges helyzetben levegőn megszárítottam. Ezután a magokat egymás után 4000 szemcsenagyságig csiszoltam, javítva a faévgyűrűk láthatóságát, valamint előkészítve mag vizsgálhatóságát a fa anatómiai jellemzőire nézve. Ezután a faévgyűrű szélességének mérését egy 0,01 mm-es pontosságú LINTAB 6 mérőrendszerrel és TSAP-Win szoftverrel végeztem. Az egyes faévgyűrű-sorozatokat R statisztikai szoftverbe importáltam, és a végső kronológiát a dplR csomag segítségével állítottam össze (Bunn, 2008).

2.1.3 Cseppkövek

A Napo-formáció három barlangját vizsgáltam: "Unión de los Continentes" (D 01° 24,4', ny. 78° 2,7', a továbbiakban Union), "Garganta del Dino" (D 01° 25,5', ny. 78° 2,4', Dino a továbbiakban) és "Copa del Mundo" (01° 24,3' D, 78° 2,6' W, Copa a továbbiakban). A Dino-barlang hőmérsékletét óránként monitoroztam egy DS1922L iButton hőmérséklet-regisztrálóval (±0,5 °C-os pontosság, 0,0625 °C-os felbontás), amelyet ~2 m-rel a talaj felett helyeztem el a barlang egyik termében elkerülve az érzékelő és a fal érintkezését. Hasonlóképpen a barlangon kívüli levegő hőmérsékletét is rögzítettem. A Dino-barlangban (Dino-1) egy teljes inaktív állócseppkövet találtam. A cseppkövet megtisztítottam, hosszában kettévágtam ésfelszereltem, , hogy párhuzamos lemezeket kapjak. A felületeket egymást követően csiszoltam és políroztam javítva a laminák láthatóságát. Ez a dolgozat elsősorban a Dino-barlangra és a hozzá kapcsolódó Dino-1 állócseppkőre összpontosít. Az Union és a Copa barlangból származó csepegővíz-adatokat azonban a Dino-barlangban később létrehozott csepegővíz-monitoring kiegészítésére is használtam. Az összes csepegővíz mintát 50 ml-es HDPE CITOTEST centrifugacsövekbe gyűjtöttem.

2.3 Analitikai módszerek

2.3.1 Radioizotópok (korolás)

2.3.1.1 Radiokarbon

A ¹⁴C-es mérésekhez tizennyolc faévgyűrűt választottam ki a "bombacsúcs" tartományában az éves évgyűrűképződés független validálására. A mintákat standard BABAB (bázis-sav-bázis-sav-bázisos fehérítés) α-cellulóz preparálási módszerrel készítettük el (Molnár et al., 2013a). A grafitot zártcsöves grafitizási módszerrel (Rinyu és mtsai, 2013) állítottuk elő, a ¹⁴C-t pedig MICADAS (mini carbon datring system) típusú gyorsítós tömegspektrométerrel (Molnár et al., 2013b) mértük. Az így kapott mért értékeket izotópfrakcióval korrigált modern szén frakcióban (F¹⁴C) fejeztük ki, és összehasonlítottuk a déli félteke bombacsúcs utáni kalibrációs görbéivel (SH Zone 1-2 és SH Zone 3) (Hua és Barbetti). , 2004; Reimer és Reimer, 2004).

2.3.1.2 Urán/tórium

Az U/Th koroláshoz körülbelül 10 mg karbonátport gyűjtöttünk össze Eppendorffiolákban a Dino-1 barlangból származó cseppkő különböző rétegeiből. Az U- és Thfrakciók karbonátmátrixtól való elválasztására szolgáló kémiai előkészítést egy Class 1000 tiszta laboratóriumban végeztem az Edwards és munkatársai által leírtakhoz hasonló eljárással (1987). Az izotóparány méréseket Neptune PLUS multikollektoros ICP tömegspektrométeren végeztem, amely Aridus 3 deszolvatáló rendszerrel volt felszerelve Az összes előkészítési eljárást és elemzést az Atommagkutató Intézet (ATOMKI) Izotóp Klimatológiai és Környezetkutató Központjában, végeztem (Palcsu et al., 2022). Az U/Th korokat (T) iterációval számítottam ki az alábbi egyenlet felhasználásával (Edwards et al., 1987; Kaufman és Broecker, 1965):

$$\begin{bmatrix} \frac{2^{30}Th}{2^{38}U} \end{bmatrix} = 1 - e^{-\lambda_{230}T} + \left(\frac{\delta^{234}U_m}{1000}\right) \times \left(\frac{\lambda_{230}}{\lambda_{230} - \lambda_{234}}\right) \times \left(1 - e^{(\lambda_{230} - \lambda_{234})T}\right)$$

A kezdeti ${}^{234}U/{}^{238}U$ arány ($\delta^{234}U_i$) a következőből számítható ki:

 $\delta^{234}U_i = \delta^{234}U_m e^{\lambda_{234}T}$

A szennyező tóriumra korrigált korokat úgy számítják ki, hogy a mért ²³⁰Th/²³⁸U arányokat korrigálják a ²³²Th mennyiségével, a következő egyenlet segítségével (Richards és Dorale, 2003):

$$\left[\frac{{}^{230}Th}{{}^{238}U}\right]_{corr} = \left[\frac{{}^{230}Th}{{}^{238}U}\right] - \left[\frac{{}^{232}Th}{{}^{238}U}\right] \times \left[\frac{{}^{230}Th}{{}^{232}Th}\right]_{i} \times \left(e^{-\lambda_{230}T}\right)$$

A számított U/Th kort a 1950-hez viszonyítják (BP). A korok bizonytalanságát 2σ értékkel adjuk meg, ami az analitikai bizonytalanságokat és a referenciaanyagok izotóparányában mutatkozó bizonytalanságokat tartalmazza. Végül a "StalAge" nyílt Rcsomag felhasználásával kor-mélységű modell készítettem (Scholz és Hoffmann, 2011).

2.3.2 Stabil izotópok

2.3.2.1 Víz

Az esővíz mintákat lézeres hármas folyadék vízizotóp analizátorral (T-LWIA, Los Gatos Research, Model 912-0050) mértük. A reprodukálhatóság jobb volt, mint 0,16‰ a $\delta^{18}O_p$ esetén, valamint jobb, mint 1,04‰ a $\delta^{2}H_p$ esetében.n.

2.3.2.2 Cellulóz

Négy jellemző és hosszú időt átölelő faévgyűrűsort választottam ki, és szeleteltem fel sztereomikroszkóp és szike segítségével. Az α -cellulóz előállítása a Túri és mtsai. (2021) által ajánlott recept kissé módosított verziója alapján történt.. A kapott 0,25±0,02 mg-os cellulózmintákat ezüstkapszulákba mértük, majd a ¹⁸O és ¹³C izotóp analízisét Thermo Finnigan DeltaPLUS XP izotóparány tömegspektrométerrel végeztük. Minden egyes cellulózmintát legalább kétszer mértünk minden stabilizotópra.,Az egyes $\delta^{13}C_{TR}$ és $\delta^{18}O_{TR}$ mérések szórása ± 0,1 ‰ és ± 0,35 ‰ volt. Az eredményeket a VSMOW és VPDB referenciaanyagokhoz viszonyított $\delta^{18}O_{TR}$ és $\delta^{13}C_{TR}$ hagyományos delta jelöléssel fejeztük ki.

2.3.2.3 Karbonátok

A stabil szén- és oxigénizotópok ($\delta^{13}C_{cc}$ és $\delta^{18}O_{cc}$) mintáit kézzel fúrtuk 5 mm-es térbeli felbontással a Dino-1 cseppkő központi tengelye mentén (n = 110). A megfúrt anyagot Labco 12 ml-es üvegfiolákba mértem. A minták foszforsavas feltárása egy automatizált GasBench II minta-előkészítő készülékkel történt, amely a Thermo Finnigan Delta Plus XP vagy Thermo Scientific Delta V Plus izotóparány tömegspektrométerhez csatlakozik (Temovski et al., 2022). A kapott izotóp-összetételeket a Vienna Pee-Dee Belemnite (VPDB) referenciaértékhez viszonyított δ^{13} C és δ^{18} O értékekben adtam meg ±0,1‰-nél jobb pontossággal. Ezenkívül az egyes növekedési rétegek mentén négy helyen összesen 28 mintát fúrtam a Hendy-teszt elvégézéséhez.

2.4 Adatkészletek

Megfigyelés/figyelés

- Csapadék és hőmérséklet
 - Puyo és Shell hangszeres állomások
- Esővíz stabilizotópok (δ²H_p és δ¹⁸O_p)

-A NAÜ Global Network of Izotopes in Precipitation (GNIP) adatbázis

-Számos publikált adatsor

Adatbázisból előállított adatsorok

- Csapadék és hőmérséklet
 - Klímakutatási egység (CRU TS v4.05)
 - Középtávú Időjárás-előrejelzések Európai Központja (ECMWF) ERA5
 - Klímaveszélyes csoport infravörös csapadék állomásokkal (CHIRPS)
 - Berkeley földi szárazföldi/óceáni hőmérsékleti rekord
- Besugárzás, napsütés időtartama és alacsony felhőzet
 - ModelE AR5 szimulációk
 - ERA5
- Kimenő hosszúhullámú sugárzás (OLR)
 - -NCEP-NCAR újraelemzés
- Backward trajektóriák

 Hibrid Single-Parcel Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT modell) Pysplit csomaggal a vizualizációhoz (Stein et al., 2015; Warner, 2018) GDAS (Global Data Assimilation System) meteorológiai adatok felhasználásával

• Földrendszeri modellek (általános cirkulációs modellek)

- stabil vízizotópokkal megerősített ECHAM5 légköri általános cirkulációs modellből előállított izotóp földrajzi adatsorok, (ECHAM5-wiso; Werner, 2019; Werner et al., 2011)

 A holocén közepére számolt globális vízizotóp- és csapadékadatsorok az ausztrál nyári időszakra (DJF): a Max Planck Meteorológiai Intézet – Földrendszermodell (MPI-ESM-wiso; Cauquoin et al., 2020, 2019) izotóp-kompatibilis változatából)

- A Weather Research and Forecasting (WRF) leskálázásából számolt potenciális csapadékmennyiség (Community Climate System Model 4-es verziója) (Chimborazo és Vuille, 2021)

2.5 Statisztikai elemzés

Kiértékelő csomagok

- Wavelet acycle MATLAB csomag (Li et al., 2019)
- Weighted Wavelet z-transform (WWZ) STAR and Past software (Benn, 2012; Hammer et al., 2001; Templeton, 2004)
- Red noise REDFIT csomag (Schulz and Mudelsee, 2002)
- Spatial correlations KNMI explorer (Trouet and Van Oldenborgh, 2013).
- Climate plots Python version 3.9.10, a Scientific Python Development Environment (Spyder) 5.0 verzióján belül
- Tree-ring chronology construction and analysis dplR R csomag (Bunn, 2008)
- Grafikai megjelenítés: R 4.3.0, Matlab 2022 és Origin 2018

2.6 Reprodukálhatóság

Az eredmények átláthatósága és reprodukálhatósága érdekében ezt a munkát a FAIR (Findable, Accessible, Interoperable és Reusable) alapelvei szerint nyilvánosan archiváltam, és elérhető a szerző GitHub-tárában.

https://github.com/vargasdanny/paleothesis.

3. EREDMÉNYEK

3.1 Esővíz izotóp-összetétele

- Az alacsony szintű jet-ek (Orinoco és EMTEJ) azok az éghajlati képződmények, amelyek felelősek az egyenlítői keresztirányú áramlásért az ausztrál nyártól a télig (jan-július) (szélnyilak az 1a. ábrán).
- A V-index régióban (fekete téglalap az 1a. ábrán) lehulló csapadék mennyisége szabályozza a csapadék izotópos összetételét (δ²H_p és δ¹⁸O_p) az ecuadori Andokban és az Amazonasban.
- A magassági hatások csak a V-index felfelé irányuló konvekciója után frakcionálják a csapadékjelet helyi léptékben.
- Április és október az a hónap, amikor az esős évszak kezdetét veszi a Mera vizsgálati helyen (1b. ábra), ami egybeesik a legalacsonyabb δ¹⁸O_p jellel.
- Gyenge a korreláció a helyi csapadékmennyiség és a $\delta^{18}O_p$ értékek között.



1. ábra a) A 950-850 hPa ERA5 szélvektorok (nyilak) és az átlagos csapadékmennyiség (CHIRPS) diagramja az ausztrál DJF (nyár), MAM (ősz), JJA (tél) és SON (tavasz) esetén. A fekete téglalap jelöli a monszun V-index régiót az Amazonas nyugati része felett (5°S-5°N, 65°W-75°W), ahol a szelek szezonális megfordulása figyelhető meg. A Mera tanulmányi helyszín, Ecuador középső része (vörös csillag) az Amazonas-medence perifériáján (kék vonal) található. **b**) Havi $\delta^{18}O_p$ a Mera lelőhelyen 2019 februárjától 2023 januárjáig és összehasonlítás a V-index régióban átlagosan lehullott csapadék mennyiségével. A kék és szürke csíkok kiemelik a két csapadékcsúcsot AMJ és ON közben. Az összehasonlítás megkönnyítése érdekében a bal oldali y-tengely megfordul.

3.2 Modern klíma faévgyűrűkkel rekonstruálva

- A dél-amerikai *Cedrela nebulosa* első teljes faégyűrű-szélesség (TRW), oxigén (δ¹⁸O_{TR}) és szén (δ¹³C_{TR}) stabil izotóp idősorának megszerkesztése, radiokarbon korokkal validálva, 1864-től 2018-ig (155 év).
- A fák növekedését elsősorban a március-szeptemberi helyi hőmérséklet kontrollálja, amelyet az éven belüli besugárzás szabályoz.
- A δ¹⁸O_{TR} jobban tükrözi a több hónapos csapadékmennyiséget (március-június) az Amazonas nyugati részén, mint a helyi csapadékfolyamatokat évtizedes skálán a medencében az év ezen időszakában tapasztalható erős konvekció miatt.
- A felhőtakaró a napsütés időtartamának alapvető szabályozója, amely befolyásolja a *Cedrela nebulosa* fenológiáját. A megnövekedett fényű hónapok során (július-szeptember) a δ¹³C_{TR} variabilitását a fotoszintetikus sebesség változásaként értelmezem, amelyet erősen szabályoz az ITCZ jelenléte okozta felhősödés.
- A *Cedrela nebulosa* reagál a konkrét éves ITCZ kilengésre március-júniusban (legcsapadékosabb időszak) és július-szeptemberben (kevésbé nedves időszak). A monszunos esőzési mód ezért nem befolyásolja az ecuadori Amazonast az ausztrál nyár folyamán (december-február).



2. ábra a) Térbeli korrelációs mezők a Mera $\delta^{18}O_{TR}$ (vörös csillag) és a regionális március-júniusi csapadék között (1921-2018). A színsáv a p<0,01-nél szignifikáns korrelációs együtthatók erősségét jelzi. b) Összehasonlítás az új Mera $\delta^{18}O_{TR}$ rekord és az átlagos Mar-Jun csapadék között a V-index régióban (narancssárga régió az a-ban). Az idősorok éves felbontással rendelkeznek, valamint 10 éves mozgóátlaggal vannak megsimítva. c) Évtizedek közötti összehasonlítás a Chimborazo-gleccserrekorddal (fekete háromszög az a-ban) az 1881-2000 közötti időszakra vonatkozóan, 5 éves mozgóátlaggal simítva. d) A felhőtakaró és a napsütés időtartamának éven belüli változása (fotoszintézis-szabályozók) a Mera telephelyen a $\delta^{13}C_{TR}$ változékonysághoz kapcsolódóan.

3.3 Múltbeli csapadékmennyiség évezredes léptékben

- A Dino-barlang monitorozása azt mutatta, hogy egész évben szinte állandó hőmérsékletű (~19,24 °C).
- A porított minták röntgendiffrakciója kimutatta, hogy a Dino-1 állócseppkő kalcitból áll.
- A Dino-1 U/Th kormeghatározása azt mutatta, hogy a cseppkő 6856 évtől 5313 évig (BP), azaz a holocén közepén nőtt.
- A δ¹⁸O_{cc} értékei a karbonát idősorban (3. ábra, piros görbe) -6,02 és -4,53‰ VPDB (n=107) között változtak, átlagosan -5,43±0,32‰.
- A Dino-1 idősor spektrális analízise (3. ábra, piros görbe) egy jelentős 30 éves periódust mutat, amely összehangban van az Atlantic Multidecadal Oscillation jelével.et.
- A teljes csapadékváltozás (%) éghajlati szimulációi a holocén közepén (6,5-5,5 ka) az iparosodás előtti időszakhoz (i.sz. 1850) viszonyítva azt mutatják, hogy a klíma Dél-Amerikában a szárazabbról a nedvesebbre fejlődtek.
- A SAMS a holocén alatt gyengébbről intenzívebbé fejlődött, míg az ITCZ dél felé tolódott el a trópusok (0-10°N) régiójában az elmúlt 7 ezer évben az besugárzás szezonális ciklusának növekedése miatt.
- Hasonló koherens tendenciák a szárazabbtól a nedvesebbek felé figyelhetők meg a legtöbb tanulmányban Dél-Amerika északnyugati részén (cseppkövek, tavi üledékek, gleccserek).



3. ábra Dél-Amerika közép-holocén idősorainak összehasonlítása a 7-5 ka időszakra vonatkozóan: a) VM29-191 jég által összehordott törmelék (hematittal festett szemcsék HSG) a Bond-események proxyjaként (Bond et al., 2001); b) Cariaco-medence (Ven);
c) Alfredo Jahn barlang (Veaj; Ven); d) Pallcacocha-tó üledék (Ecu) (Rodbell et al., 1999); e) Dino-barlang (Ecu, jelen tanulmány); f) Kondor-barlang (Per); g) Huascaran gleccser (Per). A sárga árnyalat kiemeli az erős hideg eseményt (drift ice bemenet, Bond 4) és annak rendellenes értékeltolódását, amit a fekete nyilak jeleznek.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Dél-Amerika északnyugati részén a legtöbb lenyomat a dél-amerikai monszunrendszer (SAMS) által közvetlenül befolyásolt területekről származik, és csak néhány összpontosít az intertrópusi konvergencia zónára (ITCZ). Ez a disszertáció a múltbeli éghajlati mintázatok vizsgálatát tűzte ki célul az Egyenlítő közelében található faévgyűrűk és barlangok archívumainak felhasználásával, ahol mindkét csapadékrendszer összeér.

A tanulmány első célja az volt, hogy értékelje a mennyiségi hatást, és azonosítsa az esővíz stabil izotóp-összetételének helyi vagy regionális szabályozóját az ecuadori Andokban és az Amazonasban. Az eredmények azt mutatták, hogy a nedvesség két elsődleges forrásból érkezik: a trópusi Atlanti Óceánból (DJFM) és az Amazonasmedencét átszelő dél-atlanti területről (JAS). Mindazonáltal az őszi és tavaszi konvergenciájuk (AMJ és ON) kulcsfontosságú a legalacsonyabb izotópértékek módosításához. Ez a konvergencia erősebb a V-index régióban (5° D–5° É, 65°–75° Ny), ahol a szél szezonalitása és alacsony magasságon történő megfordulása fokozódik, lehetővé téve a féltekék közötti nedvességáramlást (1.ábra). Ez a V-index terület az ITCZ és a SAMS határain belül van beágyazva, és globálisan monszun mélyedésnek, monszun vályúnak nevezik. Azt javaslom, hogy a monszun vályúnál elhelyezkedő csapadék mennyisége, amelyet a V-index korlátoz, robusztusabb megközelítés a $\delta^2 H_p$ és $\delta^{18}O_p$ változékonyság magyarázatára, nem pedig a folyásirányban megfigyelt helyi mennyiség.

A második cél a modern, százéves léptékű hidrológia rekonstrukciója volt fafajokból származó cellulóz oxigén- és szénizotópjainak felhasználásával. Munkám során sikeresen elkészítettem a *Cedrela nebulosa* $\delta^{18}O_{TR}$ és $\delta^{13}C_{TR}$ idősorát 155 évre nézve (1864-2018). Az évgyűrűk korát a "bombaimpulzus" (1955-2000) segítségével radiokarbonnal (¹⁴C) függetlenül megerősítettem. A térbeli korrelációk azt mutatják, hogy a $\delta^{18}O_{TR}$ jobban tükrözi a több hónapos csapadékmennyiséget (március-június) az Amazonas nyugati részén, mint a helyi csapadékfolyamatokat évtizedes időskálán. Két fő folyamat kulcsfontosságú ebben az éghajlati összefüggésben: az északi ITCZkilengése és az erős konvekció a medencében ebben az évszakban (2a-c ábra). Hasonlóképpen, ez a tanulmány a felhőtakarót a napsütés időtartamának alapvető szabályozójaként azonosítja, amely befolyásolja a *Cedrela nebulosa* fenológiáját. A $\delta^{13}C_{TR}$ variabilitását a fotoszintetikus sebesség változásaként értelmeztem a megnövekedett fényű hónapokban (július-szeptember), amit a déli ITCZ által vezérelt felhőzet szabályoz (2e. ábra).

Végül a harmadik cél az elmúlt évezredek hidrológiai rekonstrukciója volt a Dino-1 barlangból származó cseppkő δ^{18} O értékeinek felhasználásával. A tanulmány eredményei azt mutatják, hogy az észak-atlanti éghajlati anomáliák gyorsan átterjedtek a trópusokra. Noha a Dino-1 idősor rövid (1,5 ezer év), a 4. Bond eseményt ábrázolja, amely az Atlanti-óceán északi részén a holocén közepén zajló hideg impulzusok egyike. A Dino-1 rekord spektrális analízise is jelentős 30 éves periódust mutat, amit úgy értelmezek, mint az Atlantic Multidecadal Oscillation jel variabilitásának reflektálódása. Regionális léptékben a nedvesség konzisztens mintázata alakult ki a korai, közép-holocén és az iparosodás előtti időkből, amelyeket az éghajlati modellekben, valamint az északkeleti és északnyugati regionális barlangok, üledékek és gleccserek rekordjaiban figyeltek meg.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Esővíz stabil izotópok

- Egy regionális konvekciós csomópont létezésének validálása 5°D-5°N, 65°W-75°W (V-index, Wang és Fu, 2002) a monszunvályúban, amely szabályozza az elsődleges izotóp-összetételt a csapadék mennyiségi hatásán keresztül. Ez a V-indexű régió magas csapadékvizet tartalmazó légi tónak tekinthető (Arraut et al., 2012).
- Az észak- és dél-atlanti nedvességforrás, valamint az Andok orográfiájából adódó magassági hatás a helyi izotópos jelet befolyásoló kiegészítő hatások.
- A nyugat-ecuadori Amazonasra és Andokban érkező nedvességet két alacsony szintű áramlat szállítja: az Orinoco (950–800 hPa) és az Egyenlítői középső troposzférikus keleti jet (700–600 hPa), amelyek a SAMS jellemzői.
- A Mera terület (Nyugat-Amazónia) új lokális meteorikus vízvonala δ²H = 8,33δ¹⁸O + 14,99.
- Az éves középhőmérséklet 18,97 °C a vizsgált területen, kivéve a július-augusztusi ~1°-os csökkenést, amely a csökkent napsugárzással (júniusi napforduló) van összefüggésben.

Faévgyűrűk és modern klíma

- Az első dendroklimatológiai vizsgálat Ecuadorban és Észak-Dél-Amerikában, amely az ITCZ lenyomatát egy faévgyűrű idősorban mutatta be.
- A Cedrela nebulosa évgyűrűk azonosításának kulcsfontosságú jellemzője a beágyazott nagy pórusok és erek jelenléte a marginális parenchymában a tenyészidőszak elején.
- A δ¹⁸O_{TR} tükrözi az ITCZ áthaladását az Amazonas nyugati részén a legcsapadékosabb hónapokban (március-június).
- A δ¹³C_{TR} a fotoszintetikus sebesség változásait tükrözi a fényben megnövekedett hónapokban (július-szeptember) alacsony felhőzet mellett.
- A *Cedrela nebulosa* jól alkalmazkodik a nedves környezethez, ahol az év során egy külön évszakban nagyobb a csapadék.

Cseppkövek és közép-holocén éghajlat

- Dél-Amerika északnyugati részén a közép-holocén éghajlat nedvesebb volt, mint a korai holocén, de szárazabb, mint az iparosodás előtti időszak során az ITCZ szélességi déli irányú eltolódása miatt.
- A Dino-1 cseppkő lenyomat idősora szignifikáns 30 éves peridocitiást mutat az Atlantic Meridional Overturning Circulation-enl (AMOC) összefüggésben.
- A Dino-1 idősor a közép-holocén hidrológiájának alkalmas proxy-ja, és úgy tűnik, hogy megőrzi a 4. Bond-eseményt, az északnyugati trópusi rekordokban megfigyelt Atlanti-óceán feletti erős hideg impulzust az.

6. IRODALOM

- Arraut, J.M., Nobre, C., Barbosa, H.M.J., Obregon, G., Marengo, J., 2012. Aerial Rivers and Lakes: Looking at Large-Scale Moisture Transport and Its Relation to Amazonia and to Subtropical Rainfall in South America. J. Clim. 25, 543–556. https://doi.org/10.1175/2011JCLI4189.1
- Benn, D., 2012. Algorithms+ Observations= VStar. J. Am. Assoc. Var. Star Obs. 40, 852.
- Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M.N., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., Hajdas, I., Bonani, G., 2001. Persistent solar influence on north atlantic climate during the Holocene. Science (80-.). 294, 2130 – 2136. https://doi.org/10.1126/science.1065680
- Bunn, A.G., 2008. A dendrochronology program library in R (dplR). Dendrochronologia 26, 115–124. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002
- Cauquoin, A., Werner, M., Lohmann, G., 2020. MPI-ESM-wiso simulations data for preindustrial and mid-Holocene conditions. https://doi.org/10.1594/PANGAEA.912258
- Cauquoin, A., Werner, M., Lohmann, G., 2019. Water isotopes -- climate relationships for the mid-Holocene and preindustrial period simulated with an isotope-enabled version of MPI-ESM. Clim. Past 15, 1913–1937. https://doi.org/10.5194/cp-15-1913-2019
- Chimborazo, O., Vuille, M., 2021. Present-day climate and projected future temperature and precipitation changes in Ecuador. Theor. Appl. Climatol. 143, 1581–1597. https://doi.org/10.1007/s00704-020-03483-y
- Edwards, L., Chen, J.H., Wasserburg, G.J., 1987. 238U-234U-230Th-232Th systematics and the precise measurement of time over the past 500,000 years. Earth Planet. Sci. Lett. 81, 175–192. https://doi.org/10.1016/0012-821X(87)90154-3
- Hammer, Ø., Harper, D., Ryan, P., 2001. PAST: Paleontological Statistics Software package for Education and Data Analysis. Palaeontol. Electron. 4, 1–9.
- Hua, Q., Barbetti, M., 2004. Review of tropospheric bomb 14C data for carbon cycle modeling and age calibration purposes. Radiocarbon 46, 1273–1298. https://doi.org/10.1017/S0033822200033142
- IAEA/WMO, 2014. Precipitation Sampling guide V2. 02 September 2014.
- Ilbay-Yupa, M., Lavado-Casimiro, W., Rau, P., Zubieta, R., Castillón, F., 2021. Updating regionalization of precipitation in Ecuador. Theor. Appl. Climatol. 143, 1513–1528. https://doi.org/10.1007/s00704-020-03476-x
- Li, M., Hinnov, L., Kump, L., 2019. Acycle: Time-series analysis software for paleoclimate research and education. Comput. Geosci. 127, 12–22. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2019.02.011
- Molnár, M., Janovics, R., Major, I., Orsovszki, J., Gönczi, R., Veres, M., Leonard, A.G., Castle, S.M., Lange, T.E., Wacker, L., Hajdas, I., Julll, A.J.T., 2013a. Status Report of the New AMS 14C Sample Preparation Lab of the Hertelendi Laboratory of Environmental Studies (Debrecen, Hungary). Radiocarbon 55, 665–676. https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.55.16394
- Molnár, M., Rinyu, L., Veres, M., Seiler, M., Wacker, L., Synal, H.-A., 2013b. EnvironMICADAS: A Mini 14 C AMS with Enhanced Gas Ion Source Interface in the Hertelendi Laboratory of Environmental Studies (HEKAL), Hungary. Radiocarbon 55, 338–344. https://doi.org/10.1017/S0033822200057453
- Palcsu, L., Temovski, M., Vargas, D., Kiss, G.I., Surányi, G., 2022. A new U-Th laboratory for dating speleothems, in: Climate Change: The Karst Record IX (KR9). p. 120.
- Reimer, P.J., Reimer, R., 2004. CALIBomb radiocarbon calibration. Interact. Progr.

available on-line http//intcal. qub. ac. uk/CALIBomb/frameset. html.

- Richards, D.A., Dorale, J.A., 2003. Uranium-series Chronology and Environmental Applications of Speleothems. Rev. Mineral. Geochemistry 52, 407–460. https://doi.org/10.2113/0520407
- Rinyu, L., Molnár, M., Major, I., Nagy, T., Veres, M., Kimák, Á., Wacker, L., Synal, H.-A., 2013. Optimization of Sealed Tube Graphitization Method for Environmental C-14 Studies Using MICADAS. Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms 294, 270–275. https://doi.org/10.1016/j.nimb.2012.08.042
- Rodbell, D.T., Seltzer, G.O., Anderson, D.M., Abbott, M.B., Enfield, D.B., Newman, J.H., 1999. An ~15,000-Year Record of El Niño-Driven Alluviation in Southwestern Ecuador. Science (80-.). 283, 516–520. https://doi.org/10.1126/science.283.5401.516
- Scholz, D., Hoffmann, D.L., 2011. StalAge An algorithm designed for construction of speleothem age models. Quat. Geochronol. 6, 369–382. https://doi.org/10.1016/j.quageo.2011.02.002
- Schulz, M., Mudelsee, M., 2002. REDFIT: estimating red-noise spectra directly from unevenly spaced paleoclimatic time series. Comput. Geosci. 28, 421–426. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0098-3004(01)00044-9
- Stein, A.F., Draxler, R.R., Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., Ngan, F., 2015. NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System. Bull. Am. Meteorol. Soc. 96, 2059–2077. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1
- Templeton, M., 2004. Time-series analysis of variable star data. J. Am. Assoc. Var. Star Obs. vol. 32, no. 1, p. 41-54 32, 41–54.
- Trouet, V., Van Oldenborgh, G.J., 2013. KNMI Climate Explorer: A Web-Based Research Tool for High-Resolution Paleoclimatology. Tree-Ring Res. 69, 3–13. https://doi.org/10.3959/1536-1098-69.1.3
- Túri, M., Hubay, K., Molnár, M., Braun, M., László, E., Futó, I., Palcsu, L., 2021. Holocene paleoclimate inferred from stable isotope (δ18O and δ13C) values in Sphagnum cellulose, Mohos peat bog, Romania. J. Paleolimnol. 66, 229–248. https://doi.org/10.1007/s10933-021-00202-z
- Vuille, M., Bradley, R.S., Keimig, F., 2000. Climate Variability in the Andes of Ecuador and Its Relation to Tropical Pacific and Atlantic Sea Surface Temperature Anomalies. J. Clim. 13, 2520–2535. https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<2520:CVITAO>2.0.CO;2
- Wang, H., Fu, R., 2002. Cross-Equatorial Flow and Seasonal Cycle of Precipitation over South America. J. Clim. 15, 1591–1608. https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<1591:CEFASC>2.0.CO;2
- Wang, P.X., Wang, B., Cheng, H., Fasullo, J., Guo, Z., Kiefer, T., Liu, Z., 2017. The global monsoon across time scales: Mechanisms and outstanding issues. Earth-Science Rev. 174, 84–121. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.07.006
- Warner, M.S.C., 2018. Introduction to PySPLIT: A Python Toolkit for NOAA ARL's HYSPLIT Model. Comput. Sci. Eng. 20, 47–62. https://doi.org/10.1109/MCSE.2017.3301549
- Werner, M., 2019. ECHAM5-wiso simulation data present-day, mid-Holocene, and Last Glacial Maximum. https://doi.org/10.1594/PANGAEA.902347
- Werner, M., Langebroek, P.M., Carlsen, T., Herold, M., Lohmann, G., 2011. Stable water isotopes in the ECHAM5 general circulation model: Toward high-resolution isotope modeling on a global scale. J. Geophys. Res. 116, D15109. https://doi.org/10.1029/2011JD015681

7. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



DEBRECENI EGYETEM EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400 Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: Tárgy: DEENK/109/2023.PL PhD Publikációs Lista

ENI

Jelölt: Vargas Espin, Danny Fernando Doktori Iskola: Fizikai Tudományok Doktori Iskola MTMT azonosító: 10080878

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

 Vargas Espin, D. F., Pucha-Cofrep, D., Serrano-Vincenti, S., Burneo, A., Carlosama, L., Herrera, M., Cerna, M., Molnár, M., Jull, A. J. T., Temovski, M., László, E., Futó, I., Horváth, A., Palcsu, L.: ITCZ precipitation and cloud cover excursions control Cedrela nebulosa tree-ring oxygen and carbon isotopes in the northwestern Amazon. *Glob. Planet. Change. 211*, 1-15, 2022. ISSN: 0921-8181. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2022.103791 IF: 4.956 (2021)

 Vargas Espin, D. F., Chimborazo, O., László, E., Temovski, M., Palcsu, L.: Rainwater Isotopic Composition in the Ecuadorian Andes and Amazon Reflects Cross-Equatorial Flow Seasonality. *Water.* 14 (13), 1-22, 2022. EISSN: 2073-4441.

DOI: https://doi.org/10.3390/w14132121 IF: 3.53 (2021)

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (4)

 Vargas Espin, D. F., Temovski, M., László, E., Kiss, G. I., Palcsu, L.: Middle Holocene ITCZ shifts: Evidence from Central Ecuador.

In: Climate Change : The Karst Record IX (KR9): Programme and abstract. Eds.: Gina Moseley, Linda Partl, Paul Töchterle, Gabriella Koltai, Mojgan Soleimani, Jonathan Baker, Christoph Spötl, University of Innsbruck, Innsbruck, 102, 2022.

 Vargas Espin, D. F., Temovski, M., Kiss, G. I., László, E., Surányi, G., Palcsu, L.: Preliminary results of speleothem U-Th dating and paleoclimate reconstruction from Garganta del Pino Cave (Ecuador).
 In: 28th International Karstological School "Classical karst" Regional karstology - local and

general aspects. Ed.: Matej Blatnik, Franci Gabrovšek, Cyril Mayaud, Andrej Mihevc, Metkar Petrič, Nataša Ravbar, Nadja Zupan Hajna, Založba ZRC, Ljubljana, 133, 2021. ISBN: 9789610505617



ENI

 Vargas Espin, D. F., Pucha-Cofrep, D., Burneo, A., Carlosama, L., Herrera, M., Serrano, S., Cerna, M., Jull, A. J. T., Molnár, M., Futó, I., Horváth, A., Temovski, M., Palcsu, L.: Impact of cloud coverage on growth dynamics of Cedrela nebulosa from an Amazonian pre-montane forest in Central Ecuador.

In: CL1.24 Interdisciplinary Tree-ring research. Ed.: Kerstin Treydte, Flurin Babst, Giovanna Battipaglia, Jan Esper, EGU General Assembly, [Vienna], 1, 2020.

 Vargas Espin, D. F., Temovski, M., László, E., Palcsu, L.: Paleoclimate reconstruction based on speleothems from Ecuadorian caves.

In: 27th International Karstological School "Classical karst" Karst hydrogeology - research trends and applications : Abstracts & Guide Book. Ed.: Matej Blatnik, Franci Gabrovšek, Blaž Kogovšek, Cyril Mayaud, Metka Petrič, Nataša Ravbar, Založba ZRC, Ljubljana, 133-134, 2019. ISBN: 9789610501961

További közlemények

ldegen nyelvű absztrakt kiadványok (2)

7. Palcsu, L., Temovski, M., Vargas Espin, D. F., Kiss, G. I., Surányi, G.: A new U-Th laboratory for dating speleothems.

In: Climate Change : The Karst Record IX (KR9): Programme and abstract. Eds.: Gina Moseley, Linda Partl, Paul Töchterle, Gabriella Koltai, Mojgan Soleimani, Jonathan Baker, Christoph Spötl, University of Innsbruck, Innsbruck, 120, 2022.

 Temovski, M., Molnár, K., Vargas Espin, D. F., Kiss, G. I., Palcsu, L.: Petrographic and geochemical properties of a subaqueous speleothem from a Macedonian cave-preliminary results and insight into MIS 7 paleoclimate record of the Balkan Peninsula.
 In: Climate Change : The Karst Record IX (KR9): Programme and abstract. Eds.: Gina Moseley, Linda Partl, Paul Töchterle, Gabriella Koltai, Mojgan Soleimani, Jonathan Baker, Christoph Spötl, University of Innsbruck, Innsbruck, 106-107, 2022.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 8,486 A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 8,486

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2023.04.13.