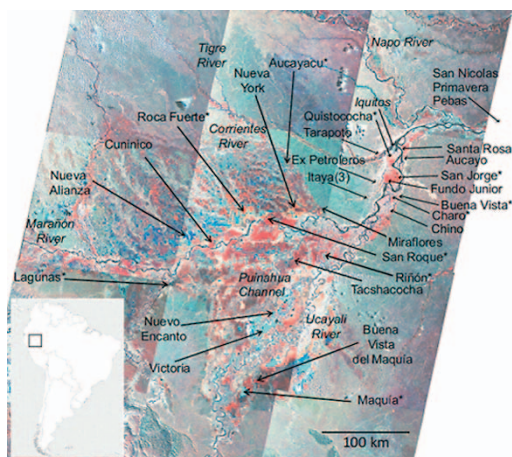


Amazonian tuntemattomat trooppiset turvekerrostumat

OUTI LÄHTEENOJA

Maapallon ekosysteemeillä on tärkeä rooli hiilenkierrossa hiilivaraistoina, hiilinieluinä ja hiilen lähteinä (Schimel 1995). Merkittäviä määriä hiiltä on sitoutunut esimerkiksi pohjosiin havumetsiin ja trooppisiin sademetsiin. Erityisen tärkeä rooli on kuitenkin turvetta kerrostavilla soilla, joihin on arvioitu sitoutuneen 650 Gt hiiltä eli saman verran kuin kaikkiin maapallon metsiin ja kasveihin yhteensä (Yu et al. 2010, Page et al. 2011).

Maapallon laajimmat suoalueet sijaitsevat pohjoisella havumetsävyöhykkeellä. Ne alkoivat kehittyä noin 16 000 vuotta sitten mannerjäätiköiden alta paljastuvalle maalle (MacDonald et al. 2006). Myös tropiikissa on jo pitkään tiedetty olevan merkittäviä turvetta kerrostavia soita. Kaakkois-Aasian kuuluisat suosademetsät alkoivat kehittyä 27 000–26 000 vuotta sitten, jolloin pohjoiset alueet olivat vielä mannerjäätiköiden peitossa (Page et al. 2004). Kaakkois-Aasian suot ovat historian aikana kerrostaneet turvetta ja hiiltä paljon nopeammin kuin borealiset suot ja toimineet siten voimakkaina hiilinieluinä (Page et al. 2004). Alueen turvekerrostumat saattavatkin olla paikoitellen jopa 20 m paksuja. Toisaalta Kaakkois-Aasian soista on vapautunut ilmakehään maailmanlaajuisesti merkittäviä määriä hiilidioksidia viime vuosikymmenten intensiivisen ihmistoiminnan ja sen aiheuttamien rajujen metsäpalojen yhteydessä (Page et al. 2002). Niinpä trooppisten soiden



Kuva 1. Satelliittikuvamosaiikki, jossa näkyvät Perun Amazoniassa sijaitsevat tutkitut suot (muokattu, Lähteenoja & Page 2011). Kuva koostuu 12 histogrammitasatusta Landsat TM -satelliittikuvasta (NASA Landsat Program, GeoCover, Orthorectified, WRS-2, Paths 006-008, Rows 062-065, <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>, kanava 4: punainen, kanava 5: vihreä, kanava 7: sininen). Pastaza-Marañónin allas on kirjava lehdenmuotoinen alue kuvan keskellä. *) Tutkimuskohteet, joilta määritettiin radiohiili-ikä.

*Figure 1. A satellite image mosaic including the study sites located in Peruvian Amazonia (a modified version from Lähteenoja and Page 2011). The figure is composed of 12 histogram-equalized Landsat TM satellite images (NASA Landsat Program, GeoCover, Orthorectified, WRS-2, Paths 006-008, Rows 062-065, <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>, band 4: red, band 5: green, band 7: blue). The Pastaza-Marañón basin is the colourful leaf-shaped area in the middle. *) The sites where radiocarbon age was measured.*

suojelusta ja ennallistamisesta on tullut maailmanlaajuisesti tärkeä asia (Rieley ja Page 2005).

Maailman laajin yhtenäinen sademetsä-alue, Amazonia, ei sen sijaan ole ollut mukana trooppisten soiden hiilenkiertoa käsittelevissä tieteellisissä keskusteluissa. Pitkään luultiinkin, että merkittäviä trooppisia turvekerrostumia on vain Kaakkois-Aasiassa. Amazonian alangolta ei ollut olemassa yhtään systemaattista tieteellistä raporttia turvetta kerrostavista soista. Muutamat suomalaiset Amazon-tutkijat olivat kuitenkin huomanneet muiden tutkimusten yhteydessä, että joillain Amazonian kosteikkoalueilla on turvetta muistuttava maaperä (Schulman et al. 1999, Ruokolainen et al. 2001). Niinpä toteutin vuosina 2006 ja 2008 kaksi maastotyömatkaa Perun Amazoniaan tutkiakseni, kerrostuuko Amazonjoen vesistön tulvatasangoille turvetta (Kuva 1). Tein erilaisten kosteikkoalueiden poikki tutkimuslinjoja, joilta määritin turpeen paksuuden säännöllisin välimatkoin venäläisellä suokairalla. Havaitsin, että alueella on useita ja jopa 7,5 m paksuja turvekerrostumia (Kuvat 2 ja 3), jotka ovat täysin tieteelle tuntemattomia (Lähteenoja et al. 2009a, 2009b, 2011, Lähteenoja ja Page 2011). Vain yhdellä 30 tutkitusta kosteikosta ei ollut lainkaan turvetta.

Pystyäkseni arvioimaan soiden roolia hiilenkierrossa, mittasin turpeen hiilipitoisuuden ja määritin turvekerrostuman radiohiili- $\delta^{13}\text{C}$ -eri syvyyksiltä (Lähteenoja et al. 2009b, 2011). Näin pystyin laskemaan turpeen ja hiilen kerrostumisnopeudet. Tutkimukseni mukaan Amazonian turpeet ovat kerrostuneet historiansa aikana erittäin nopeasti ($0,5\text{--}9,3\text{ mm yr}^{-1}$) toimien voimakkaina hiilinieluina ($26\text{--}195\text{ g C m}^{-2}$, Lähteenoja et al. 2009b, 2011). Vanhin tutkimani suo alkoi kerrostua lähes 9000 vuotta sitten ja nuorin puolestaan noin 700 vuotta sitten (Lähteenoja et al. 2009b, 2011).



Kuva 2. Amazonian soille kerrostuva turve muodostuu pääosin puiden lehtikarikkeesta sekä juurista ja kaatuneista rungoista. Vaikka soilla kasvaa satunnaisesti rahkasammalia, niillä ei ole suurta merkitystä turpeen muodostumiselle.

Figure 2. Amazonian peat deposits are mainly composed of leaf and wood litter, as well as of root remains. Even though some Sphagnum can be found, it does not have a significant role in the peat formation process.



Kuva 3. Turvekerrostumien tutkimusta Perun Amazoniassa.

Figure 3. Ongoing field work in Peruvian Amazonia.

Muiden soiden iät ovat tasaisesti tältä väliltä.

Erityisen tärkeä Perun Amazonian suoalue on Andien vuoriston juurella sijaitseva 120 000 km² laaja Pastaza-Marañónin tektoninen allas (Kuva 1), joka vajoaa jatkuvasti alaspäin Andien vuoriston poimutusta tasapainottavan liikkeen vaikutuksesta (Räsänen et al. 1987, 1990, 1992). Alueella on ennenkin tiedetty olevan laajoja kosteikkoja, mutta tuoreiden havaintojeni mukaan nämä kosteikot ovat itse asiassa turvetta kerrostavia soita, joiden turpeen hiilipitoisuus on korkea (Kuva 4). Pastaza-Marañónin altaan soiden turpeeseen on arvioni mukaan varastoitunut hiilimäärä, joka vastaa 60 % Etelä-Amerikan trooppisten soiden turpeen hiilimäärästä ja 7 % koko maailman trooppisten soiden turpeen hiilimäärästä (Lähteenoja et al. 2011). Vaikka Pastaza-Marañónin allas kattaa pinta-alaltaan pienen osan Amazonian alangosta, altaan soiden hiilivirrat ovat todennäköisesti merkittäviä. Koko Amazonian soiden turpeen hiilimäärä on todennäköisesti huomattavasti tätä suurempi. Niinpä Amazonian trooppisilla soilla on vaikutusta maailmanlaajuiseen hiilenkiertoon hiilivarastoina, hiilinieluinä ja potentiaalisina hiilenlähteinä.

Andien rinteiltä alkunsa saavien jokien dynaamisella liikkeellä on suuri vaikutus turpeen kerrostumiseen Amazonian soilla (Kuva 5). Runsaasti savisedimenttisisuspensiota kuljettavat joet mutkittelevat voimakkaasti sekä saattavat vaihtaa kokonaan paikkaa uoman täytyessä tai Andien poimutukseen liittyvien tektonisten liikkeiden vaikutuksesta (Räsänen et al. 1987, 1990, 1992). Tällainen jokiuoman liike voi joko tuhota turvekerrostuman tai haudata sen mineraalisedimenttien alle. Kukin suo on todennäköisesti saanut alkunsa sen jälkeen kun jokien liike on lakannut kyseisellä paikalla ja olosuhteet ovat siten muodostuneet otollisiksi turpeen kerrostumiselle (Lähteenoja et al. 2011). Ilmastolliset tekijät (kuten



Kuva 4. Maurinpalmun vallitsemaa turvetta kerrostava suo Pastaza-Marañónin altaassa Perun Amazoniassa.

Figure 4. Mire covered by Mauritia flexuosa palm trees in the Pastaza-Marañón basin in Peruvian Amazonia.



Kuva 5. Andien rinteiltä alkunsa saavat joet mutkittelevat voimakkaasti erityisesti Amazonian alangon länsiosissa ja kuljettavat mukanaan suuria määriä sedimenttejä. Jokiuoman siirtyminen vaikuttaa voimakkaasti ympäröiviin ekosysteemeihin.

Figure 5. Meandering rivers in Amazonia have a large influence on the local ecosystems.

esimerkiksi jääkauden päättyminen pohjoisilla leveysasteilla) eivät puolestaan ole vaikuttaneet yhtä voimakkaasti Amazonian soiden syntyyn (Lähteenoja et al. 2009b).

Kvartaarikauden aikana joet ovat kerrostaneet kilometrejä paksuja savisedimenttikerrostumia Pastaza-Marañónin altaaseen (Kuva 1, Räsänen et al. 1987, 1990, 1992). Tässä prosessissa turvetta hautautuu jatkuvasti jokisedimenttien alle. Kun nämä hautautuneet turvekerrostumat vajoavat yhä syvemmälle ja syvemmälle tektoniseen altaaseen, niiden sisältämä hiili poistuu lyhyen aikavälin hiilenkierrosta (Lähteenoja et al. 2011). Altaan kilometrien syvyisten jokisedimenttien sisällä on todennäköisesti lukuisia kvartaarikauden aikana hautautuneita turvekerrostumia. Niinpä Pastaza-Marañónin allas toimii pitkän aikavälin biogeologisen hiilinieluna ja hiilivarastona (Lähteenoja et al. 2011).

Amazonian suot lisäävät myös alueen elinympäristöjen monimuotoisuutta (Lähteenoja et al. 2009a). Tutkimukseni mukaan Amazonian tuntemattomien suoekosysteemien kirjo on erittäin laaja, ja suot muodostavat pitkän jatkumon erittäin vähäravinteisista ombrotrofisista kohosoista runsasravinteisiin painanteisiin sijaitseviin minerotrofisiin soihin (Lähteenoja ja Page 2011). Ombrotrofiset kohosuot saavat vettä ja ravinteita ainoastaan sadevedestä, kun taas minerotrofiset suot joutuvat vuosittain Amazonin vesistön massiivisten tulvien alle ja saavat tulvavedestä lisäravinteita. Nämä kaksi erilaista suotyyppiä vastaavat karkeasti Suomen keidas- ja aapasoida. Kaikki minerotrofiset suot eivät peity tulvien alle, vaan niiden vesitalous voi olla myös riippuvainen valumavesistä tai pohjaveden kapillaarisesta noususta turvekerrostuman sisällä. Tällaiset minerotrofiset suot ovat vähäravinteisempia kuin tulvien alle peittyvät suot ja ne ovat siis jo lähempänä ombrotrofisia kohosoida (Lähteenoja ja Page 2011). Ombrotrofiset koho-

suot ovatkin syntyneet tulvatasangoille hitaan prosessin tuloksena minerotrofisen turvepatjan kasvaessa niin paksuksi, että tulva-, pintatai pohjavedet eivät enää ulotu turpeen pintaan saakka (Lähteenoja et al. 2009a, Lähteenoja ja Page 2011). Eräälle ombrotrofiselle kohosuolle kairaamassani pinnasta pohjaan ulottuvassa turveprofiilissa havaitsin useamman minero- ja ombrotrofisen vaiheen vuorottelun ennen kuin suo oli saavuttanut nykyisen ombrotrofisen tilansa (Lähteenoja ja Page 2011).

Eri suotyypeillä vaikuttaa alustavien havaintojeni mukaan olevan hyvin erilainen kasvillisuus (Kuva 6). Ravinteikkaat suot ovat maurinpalmun eli *Mauritia flexuosan* peittämiä (Kuva 4), kun taas kohosoilla kasvaa niin kutsuttua riukumetsää, jota tavataan muualla Amazoniassa ainoastaan erittäin vähäravinteisillä ja laikuittain esiintyvillä valkoisilla kvartsihiekoilla (Lähteenoja et al. 2009a). Kohosuot saattavatkin tarjota erikoistuneille valkoisen hiekan eliölajeille sopivan lisäelinympäristön.



Kuva 6. Amazonian turvetta kerrostavien soiden kasvillisuus on hyvin vaihtelevaa. Turvetta kerrostuu avosoille, metsäisille soille ja palmujen vallitseville soille.

Figure 6. Vegetation in Amazonian peatlands is very variable. Peat can be found in open, forested and palm-dominated mires.

Ilmastonmuutoksen aiheuttama kuivuus, metsien hakkuut, öljynporaus ja maankäytön muutokset ovat todellinen uhka myös Amazonian soille, sillä turvekerrostumat ovat riippuvaisia seisovasta vedestä (Kuva 7, Lähteenoja et al. 2009b). Niinpä nämä tekijät saattavat muuttaa Amazonian suot tulevaisuudessa hiilinieluista hiilenlähteiksi. Savisedimenttien



Kuva 7. Turvekerrostumat ovat riippuvaisia seisovasta vedestä. Siksi Amazonian kuumankostean ilmaston säilyminen on olennaista myös turvekerrostumien suojelun kannalta.

Figure 7. Mires depend on standing water. Moist and hot tropical climate is essential for preserving these ecosystems.

alle hautautuneet turvekerrostumat ovat ilmastonmuutoksen aiheuttaman kuivuuden ulottumattomissa, mutta maan pinnalla olevien turvekerrostumien tuhoutuminen merkitsisi pitkäaikaisen biogeologisen hiilinielun loppua (Lähteenoja et al. 2011). Toisaalta ilmastokenaariot lupaavat suhteellisen sateista ilmastoa Perun Amazoniaan myös tulevaisuudessa (Malhi et al. 2008), joten tutkimieni soiden tulevaisuus näyttää valoisammalta kuin Kaakkois-Aasian soiden tulevaisuus. Amazonian suot ovatkin luonnontilainen vertailukohta Kaakkois-Aasian vahingoittuneille suosademetsille.

Kaakkois-Aasian katastrofeista tulisikin ottaa oppia ja Amazonian soiden suojeluun tulisi kiinnittää huomiota nyt kun suot vaikuttavat olevan vielä suhteellisen luonnontilaisia. Amazonian suot pitäisi ottaa huomioon Amazonian hiilenkiertoa ja ekosysteemien monimuotoisuutta sekä globaalia hiilenkiertoa käsittelevissä keskusteluissa. Tulevaisuudessa Amazonian turvetta kerrostavat suot saattavat olla maailman ainoita luonnontilaisia trooppisia soita, joten niiden olemassaolo ja suojelu on tärkeää maailmanlaajuisesti. Suojelua suunniteltaessa on tärkeää huomioida, että suot ovat riippuvaisia niistä ympäröivistä vesistöistä, jotka tässä tapauksessa saavat alkunsa Andien huipuilta. Myös alueellisen ilmaston säilyminen kosteana on oleellista etenkin kohosoille. Amazonian soiden suojelu vaatiikin Amazonian altaan kokonaisvaltaista suojelua. Samalla turvekerrostumien olemassaolo antaa uuden vahvan perusteen suojella maailman laajinta, yhtenäisintä ja monimuotoisinta sademetsäaluetta.

Summary:

Unknown tropical peat formation discovered in Amazonia

Ecosystems in the biosphere have an essential role in the Earth's carbon cycle. With a total carbon stock of 650 Gt, peatlands are an important part of this system. The largest peatland areas are located in the northern coniferous forest zone. Tropical peatlands have also been investigated and they have been discussed in relation to the carbon cycle processes, but not in the case of Amazonia. This has largely been due to the lack of scientific studies on the existence of such biotopes in Amazonia. However, recent studies have shown that peat is also formed in Amazonia.

According to the most recent studies, Amazonian peatlands have been formed by relatively fast processes and they act as efficient carbon sinks. However, climate related changes (such as drought), forestry, petroleum exploration and changes in land use may pose a significant threat for the preservation of these biotopes, as they are dependent on stagnant water conditions. Consequently, peat formation should be seriously taken into account when discussing the carbon cycle and preservation plans for Amazonia.

OUTI LÄHTEENOJA

outi.lahteenoja@utu.fi

Turun yliopisto

Biologian laitos

20014 Turku

Kirjallisuus

- Lähteenoja, O. ja Page, S.E. 2011. High diversity of tropical peatland ecosystem types in the Pastaza-Marañón basin, Peruvian Amazonia. *Journal of Geophysical Research, Biogeosciences*, 116, G02025.
- Lähteenoja, O., Ruokolainen, K., Schulman, L. ja Alvarez, J. 2009a. Amazonian floodplains harbour minerotrophic and ombrotrophic peatlands. *Catena* 79:140–145.
- Lähteenoja, O., Ruokolainen, K., Schulman, L. ja Oinonen, M. 2009b. Amazonian peatlands: an ignored C sink and potential source. *Global Change Biology*, 15:2311–2320.
- Lähteenoja, O., Reategui, Y.R., Räsänen, M., del Castillo Torres, D., Oinonen, M. ja Page, S.E. 2011. The large Amazonian peatland carbon sink in the subsiding Pastaza-Marañón foreland basin, Peru. *Global Change Biology*. (julkaistu verkossa)
- MacDonald, G.M., Beilman, D.W., Kremenetski, K.V., Sheng, Y., Smith, L.C. ja Velichko, A.A. 2006. Rapid early development of the circumarctic peatlands and atmospheric CH₄ and CO₂ variations. *Science* 314(5797):285–288.
- Malhi, Y., Roberts, J.T., Betts, R.A., Killeen, T.J., Li, W. ja Noble, C.A. 2008. Climate Change, Deforestation and the Fate of the Amazon. *Science* 319:169–172.
- Page, S.E., Rieley, J.O. ja Banks, C.J. 2011. Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Global Change Biology* 17:798–818.
- Page, S.E., Siegert, F., Rieley, J.O., Boehm, H.D.V., Jaya, A. ja Limin, S. 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature* 420:61–65.
- Page, S.E., Wüst, R.A.J., Weiss, D., Rieley, J.O., Shostakovskiy, W. ja Limin, S.H. 2004. A record of Late Pleistocene and Holocene carbon accumulation and climate change from an equatorial peat bog (Kalimantan, Indonesia): implications for past, present and future carbon dynamics. *Journal of Quaternary Science* 19:625–635.
- Rieley, J.O. ja Page, S.E. 2005. Wise use of tropical peatlands: focus on Southeast Asia. Alterra – Wageningen University and Research Center and the EU INCO-STRAPEAT and RESTORPEAT Partnerships.
- Ruokolainen, K., Schulman, L. ja Tuomisto, H. 2001. On Amazonian peatlands. *International Mire Conservation Group Newsletter*, 2001(4), 8–10.
- Räsänen, M.E., Salo, J.S. ja Kalliola, R.J. 1987. Fluvial perturbation in the Western Amazon Basin: regulation by long-term sub-Andean tectonics. *Science* 238:1398–1401.
- Räsänen, M.E., Salo, J.S., Jungner, H. ja Romero Pittman, L. 1990. Evolution of the Western Amazon lowland relief: impact of Andean foreland dynamics. *Terra Nova*, 2, 320–332.
- Räsänen, M., Neller, R., Salo, J. ja Jungner, H. 1992. Recent and ancient fluvial deposition systems in the Amazonian foreland basin, Peru. *Geological Magazine* 129:293–306.
- Schimmel, D.S. 1995. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biology* 1(1):77–91.
- Schulman, L., Ruokolainen, K. ja Tuomisto, H. 1999. Parameters for global ecosystem models. *Nature* 399:535–536.
- Yu, Z., Loisel, J., Brosseau, D.P., Beilman, D.V. ja Hunt, S.J. 2010. Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophysical Research Letters* 37, L13402, doi:10.1029/2010GL043584.