

Sademetsät ja ilmakehän hiilidioksidi: Esimerkkitapaus Amazon

Joni Rahikkala

790351A

LuK-seminaari ja -tutkielma

Maantieteen tutkimusyksikkö

Oulun yliopisto

21.11.2018

Sisällysluettelo

1. Johdanto	2
2. Sademetsät	3
2.1 Sademetsien muodostuminen	5
3. Ilmakehän CO ₂	6
3.1 Hiilenkiertokulku ja ilmakehän CO ₂	6
3.2 Ihmisen vaikutus ilmakehän CO ₂	8
3.3 Sademetsät ja CO ₂	9
4. Amazonin sademetsä	11
4.1 Amazonin sademetsän ominaispiirteet	11
4.1 Amazonin sademetsän hävittäminen ja CO ₂	12
5. Pohdinta	14
6. Lähteet	16

1. Johdanto

Usein puhuttaessa sademetsistä liitetään niitä kuvailevaksi sanaksi *trooppiset*. Tämä adjektiivi saa aikaan mielikuvan kyseisen sademetsän sijainnista Maapallolla päiväntasaajan lähetyvillä, kosteissa ja kuumissa oloissa. Mentäessä tarpeeksi kauas ajassa taakse, tämä ei olisi kuitenkaan ollut sopiva sana herättääkseen samankaltaista mielikuvaa, ainakaan sen maantieteellisestä sijainnista. Sademetsien kehittyessä oli maapallolla huomattavasti erilaiset ilmastolliset olosuhteet, sademetsiä esiintyi paljon laajemmilla alueilla, korkeammillakin leveyspiireillä (Maslin 2005).

Tässä tutkielmassa käsittelen sademetsien ja ilmakehän hiilidioksidi (CO₂) välisiä vaikutussuhteita sekä ihmistoiminnan osaa kaikessa tässä. Aluksi tarkastelen miten, miksi ja milloin sademetsät ovat ja kuinka ilmakehän CO₂-pitoisuudet ovat muuttuneet geologisella aikaskaalalla. Metsät ja CO₂ ovat tärkeitä osia niin pitkäaikaisessa kuin lyhytaikaisessa hiilikierrossa (Berner 2004). Pitkän hiilikierron tuloksena suuria määriä orgaanista materiaalia hautautui varsinkin hiili- ja permikauden aikana (Berner 2001). Näistä ajan kuluessa sedimentoituneista materiaaleista on ihmiskunta saanut energian lähteen, fossiiliset polttoaineet, joiden käytöstä viimeisien vuosisatojen aikana olemme saaneet ilmakehän CO₂-pitoisuuden nousemaan ennen näkemättömällä vauhdilla.

Esimerkkinä käytän tässä tutkielmassa Amazonin sademetsää. Amazoniin on kohdistunut voimakasta ihmisen aikaan saamaa metsien hävittämistä. Noin viidennes alkuperäisestä sademetsästä on hävinnyt (Aguiar, et al. 2016). Sademetsäalueista on tehty lukuisia tutkimuksia, joista käytän muutamia tuodakseni esille, kuinka sademetsien häviäminen vaikuttaa kasvihuonekaasupäästöihin ja ilmastonmuutokseen.

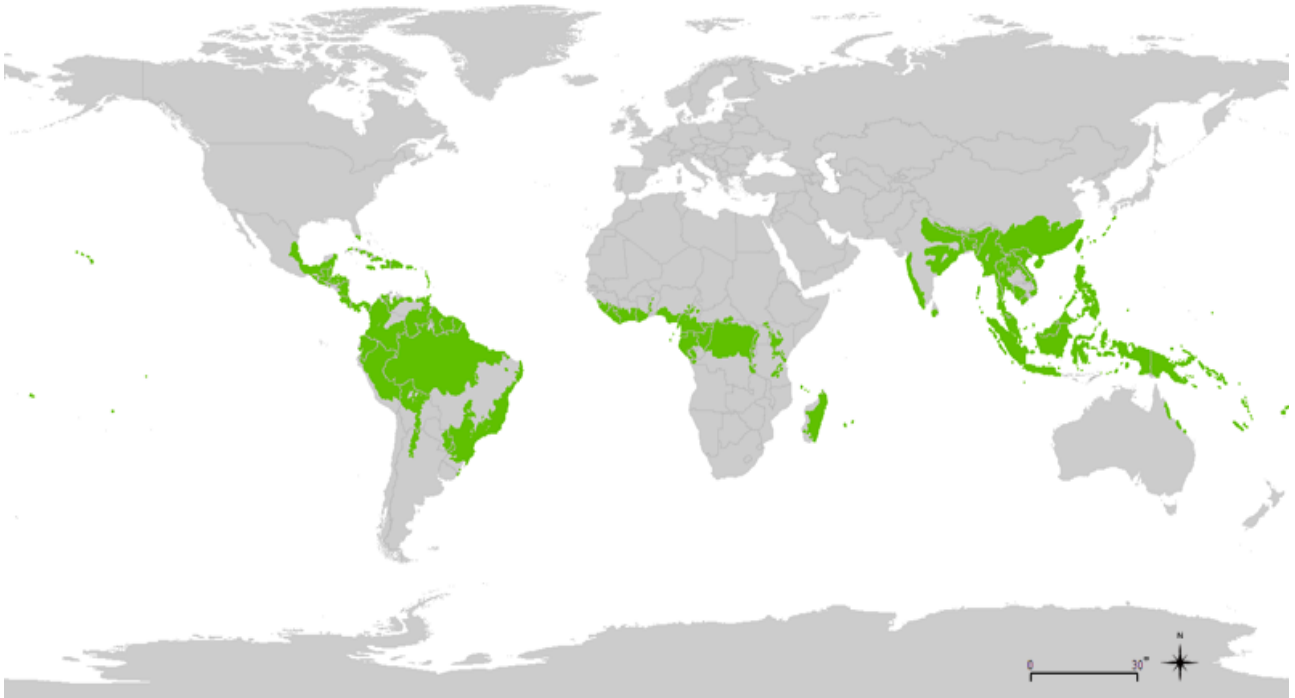
Lopuksi pohdin tutkielmassani käsiteltyjä asioita hieman yleisellä tasolla tulevaisuutta ajatellen ja mitä nouseville ilmakehän CO₂-tasolle sekä sademetsille voitaisiin tehdä tässä nopeasti muuttuvassa dynaamisessa nykymaailmassa, jossa ihmiskunta ja luonon bioottiset sekä abioottiset osat koettavat tasapainotella toistensa kanssa. Vaikuttaa siltä, että ”sen minkä taaksensa jättää, sen edestään löytää” -sanonta taitaa päteä myös hieman globaalimmalla skaalalla.

2. Sademetsät

Maapallon trooppiset sademetsät sijaitsevat pääosin päiväntasaajan tienoilla, 10° N ja 10° S trooppisten leveysasteiden välillä. Näillä alueilla sademäärät ovat korkeita, vuotuinen sademäärä yli 1800 mm, ja lämpötilat pysyvät yli 18° C ympäri vuoden. Sademetsissä kasvaa suuria ikivihantia puita, joiden latvusto saattaa nousta jopa 50 metrin korkeuteen ja on hyvin peittävä, jolloin maan taso saattaakin olla yllättävän avointa auringonvalon puutteen takia. Vaikka sademetsät peittävät vain noin 6% Maapallon pinta-alasta, on se Maan eri biomeista rikkain ja tuottavin, johtuen sijainnista päiväntasaajan läheisyydessä, jolloin nämä alueet saavat eniten Auringon valoa. Noin 50% Maapallon lajistosta elää näissä trooppisissa sademetsissä (Brown & Lomolino 1998: 112).

Maslin (2005: 167) kertoo sademetsän erottamiselle muista metsätyypeistä olevan monia erilaisia määritelmiä, ikivihreästä osittain ikivihreään, joissa vuotuinen sademäärä ylittää 2000 mm, minkä aikana neljän peräkkäisen kuukauden sademäärät eivät jää alle 100 mm sekä kuukausien keskilämpötila on yli 18°C vähäisellä vuosittaisella vaihteluvälillä. Hieman laaja-alaisemmin sanottuna hän määrittelee sademetsien esiintyvän alueilla, joissa lämpötila ei laske koskaan alle 0°C, alueella ei ole merkittävää kuivaa kautta sekä sateita esiintyy runsaasti.

Jenikin ja Longmanin (1987: 14) mukaan pääasialliset sateisen trooppisen ilmaston alueet ovat Amazon, Keski-Amerikan rannikot, Kongon alue, Madagaskarin itäinen rannikko ja suuri osa Kaakkois-Aasiaa. Tasaisen ympärivuotisen sateen takia ikivihannat sademetsät sijaitsevat näillä alueilla. Edelleen Jenik ja Longman (1987) erittelevät kausimaisia monsuunisateita saavat trooppiset alueet, joihin kuuluvat Intian länsirannikko, muutamat Tyynenvaltameren saaret, Koillis-Australia, Etelä-Amerikan pohjoisrannikko ja Länsi-Afrikan rannikkoalueet. Kuvassa 1 esitettynä maailman sademetsien sijainnit. Näiden alueiden vuotuinen sademäärä ei juurikaan eroa ensin mainituiden alueiden sademääristä, mutta sateet ovat alueilla kausiluontoisia, mikä vaikuttaa näiden alueiden kasvillisuuteen. Osa alueiden puustosta saattaa pudottaa lehtensä kuivempina kausina. Park (1992: 3) arvio sademetsien kattavan noin 12 miljoonaa km² maa-alaa, joka on noin kolmannes kaikista maailman metsistä.



Kuva 1 Maapallon sademetsien sijainti. https://ca.wikipedia.org/wiki/Selva_tropical

Sademetsien korkea sademäärä Parkin (1992) mukaan johtuu niiden sijainnista pasaatituulten kohtaamisvyöhykkeellä (ITCZ) suurimman osan vuodesta. Vyöhyke seuraa auringon zenittiaseaman siirtymistä, jolloin se hieman vaihtelee pohjoiseteläsuunnassa. Vyöhykkeellä pohjoiset ja eteläiset pasaatituulet kohtaavat, lämmin meri-ilma kohoaa ja sataa usein ukkosmyrskyinä maahan (Park 1992). Mereltä kostea ilma kulkeutuu mantereiden rannikoille ja sataa maahan. Jenkin ja Longman (1987: 15) huomauttavat, että sademetsien kasvuston tuottama veden haihduttaminen tuottaa alueelle lisää sateita, jotka kulkeutuvat pitkälle sisämaahan asti mahdollistaen kostean trooppisen ilmaston laajemmalla alueella. Park (1992) toteaaakin pilvettömien päivien olevan harvinaisia sademetsissä, aamuiset usvat väistyvät, kun metsä lämpenee yön jälkeen ja päivällä lämmin ilmassa alkaa kohoamaan tuottaen iltapäivälle rankkasateita.

Sademetsien ekosysteemit ovat maailman rikkaimpia. Niissä on suurin biodiversiteetti, tuottavuus ja biomassa verrattuna mihinkään muuhun paikkaan Maapallolla. Keskimäärin 1 km² alueella sademetsässä on painoltaan saman verran puumassaa kuin 200-300 km² alueella lauhkean vyöhykkeen metsää. Sademetsissä on kiinni noin puolet maailman kaikesta biomassasta (Park 1992: 11).

2.1 Sademetsien muodostuminen

Maslin (2005: 170) kertoo sademetsien syntyneen Maapallolle samoihin aikoihin kuin koppisiemenisten kasvien evoluutio ja radiaatio on tapahtunut eli liitukauden loppupuolella tai viimeistään kenotsooisen maailmankauden alussa. Hän kertoo todisteiden osoittavan, että Amazonin sademetsä on pysynyt maantieteellisesti samankaltaisena viimeiset 55 miljoonaa vuotta. Myös Park (1992) kertoo olevan todisteita siitä, että sademetsiä on ollut maapallolla jopa 70 miljoonan vuoden ajan.

Sademetsiä, kuten myös muutakin kasvillisuutta yleensä, rajoittaa kolme ilmastollista tekijää: sade, lämpötila ja ilmakehän hiilidioksidi määrä. Runsaita sateita saadaan jo aiemmin mainitun ITCZ alueen lisäksi myös keskileveyksien tienoilla, joissa lämmin ja kostea trooppinen ilma kohtaa kuivan ja viileän pohjoisen ilman tuottaen paljon sateita. Maslinin (2005) mukaan sademetsiä on ollut nykyistä pohjoisempana ja etelämpänä juuri näillä alueilla, kunhan lämpötilat ovat olleet korkeat, eikä pakkasta ole ollut alueilla. Hän kertoo lämpötilojen olleen nykyistä korkeampia liitukaudella, varsinkin polaarilla alueilla, jolloin alle 0°C lämpötiloja ei ole ollut kuin aivan pohjoisimmilla ja eteläisimmillä Maapallon osilla. Sateisiin vaikuttava tekijä on myös alueen topografia. Mannerlaattojen liikunnat ovat saaneet useita eri vuoristoja nousemaan, jotka osaltaan vaikuttavat alueiden ilmastoon ja tätä kautta sademetsien nykyisiin sijanteihin. Etelä-Amerikassa Andien vuoristo pysäyttää idästä päin tulevat sateet ja valuttavat ne takaisin kohti Atlanttia, ruokkien Amazonin metsiä. Aasiassa Himalajan vuoristo nousi noin 50 miljoona vuotta sitten, kun Intian laatta törmäsi Aasian mantereeseen (Searle 2013). Tämä ja Tiibetin ylängön muodostuminen sai aikaan voimakkaamman monsuunin Aasian itä- ja eteläosiin luoden suotuisat olosuhteet sademetsille (Maslin 2005).

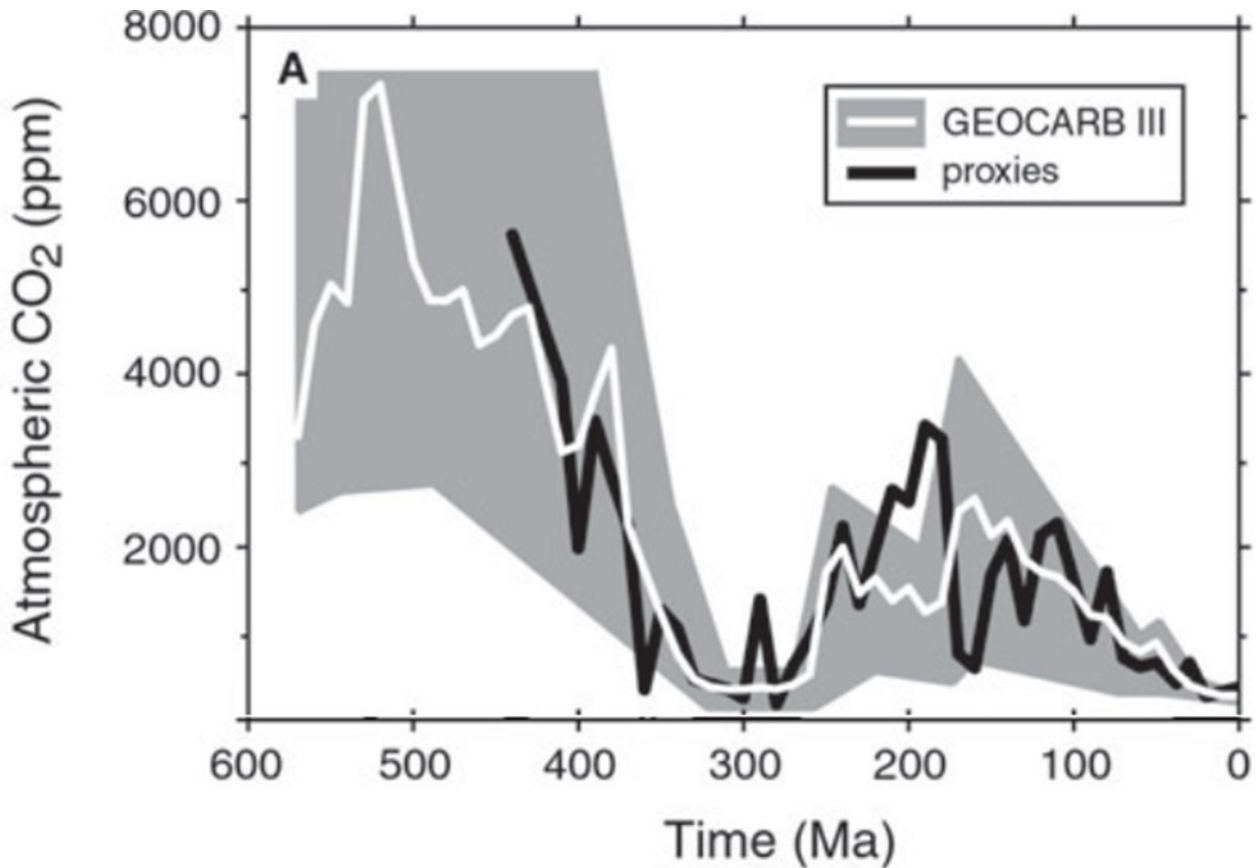
Täysin tarkkaa syntyajankohtaa ja syytä Amazonin sademetsälle Maslinin (2005) mielestä ei ole saatu selville, mutta viimeisen 65-1 miljoonan vuoden aikana sademetsä on vallinnut lähes koko Etelä-Amerikan mannerta hiljalleen väistyen mantereen eteläisimmiltä alueilta pois. Viimeisen miljoonan vuoden tärkeimmät ilmastovaihtelut Maslin (2005) sanoo johtuneen 100 000 vuoden glasiaali-interglasiaali vaiheiden syklistä, jolloin savannit alkoivat kilpailla sademetsien kanssa trooppisilla alueilla Etelä-Amerikassa luoden meille tämän hetkisen tilanteen kasvillisuudessa mantereella.

3. Ilmakehän CO₂

3.1 Hiilenkiertokulku ja ilmakehän CO₂

Hiilidioksidi CO₂, vesihöyry H₂O ja metaani CH₄ ovat ilmakehässämme vaikuttavia kasvihuonekaasuja, jotka estävät Auringon säteilemää energiaa karkaamasta planeetaltamme. Näiden kaasujen pitoisuuksien vaihtelut ilmakehässä saavat aikaan maailmanlaajuisia lämpötilavaihteluita niin lyhyillä kuin pitemmilläkin aikaväleillä. Kaasuja tuottaa ilmakehään vulkaaninen toiminta, elävät organismit sekä nykyihmisen toiminta kuten fossiilisten polttoaineiden polttaminen, mikä eritoten tuottaa ilmakehään hiilidioksidia. Merien ja ilmakehän välillä tapahtuu näiden kaasujen vaihtoa. Ilmakehästä hiilidioksidia kuluttaa kasvien fotosynteesi, jonka kautta se varastoituu kasveihin ja niitä ravinnokseen käyttäviin organismeihin. Edellä mainitut ovat lyhyen aikavälin hiilisyklin prosesseja (Berner 2004).

Bernerin (2004) mukaan pidemmän hiilisyklin prosessit liittyvät hiilen kulkeutumiseen kiviin ja niistä pois, mitkä vaikuttavat ilmakehän hiilidioksidi pitoisuuksiin enemmän kuin lyhyen aikavälin prosessit, koska sidottuna kiviin ja sedimentteihin hiiltä on paljon enemmän kuin sidottuna minnekään muualle. Myös Beerling ja Woodward (2001) kertovat pitkän aikavälin geokemikaalisten prosessien vaikuttaneen ilmakehän CO₂ pitoisuuteen ja samalla sen happipitoisuuteen. Heidän mukaan ilmakehän CO₂-pitoisuuden laskemiseen hiili- ja permikauden aikana vaikutti vahvasti kasvillisuuden aiheuttama rapautuminen, joka auttoi hiilen sitoutumista maaperään. Maakasvien yleistymisen paleotsooisella maailmankaudella auttoi myös hiilidioksidin vähenemistä ilmakehästä, kun orgaanisessa materiaalissa sidoksissa ollut hiili alkoi hautautua maaperään ja tätä kautta sedimentteihin. (Berner 2004).



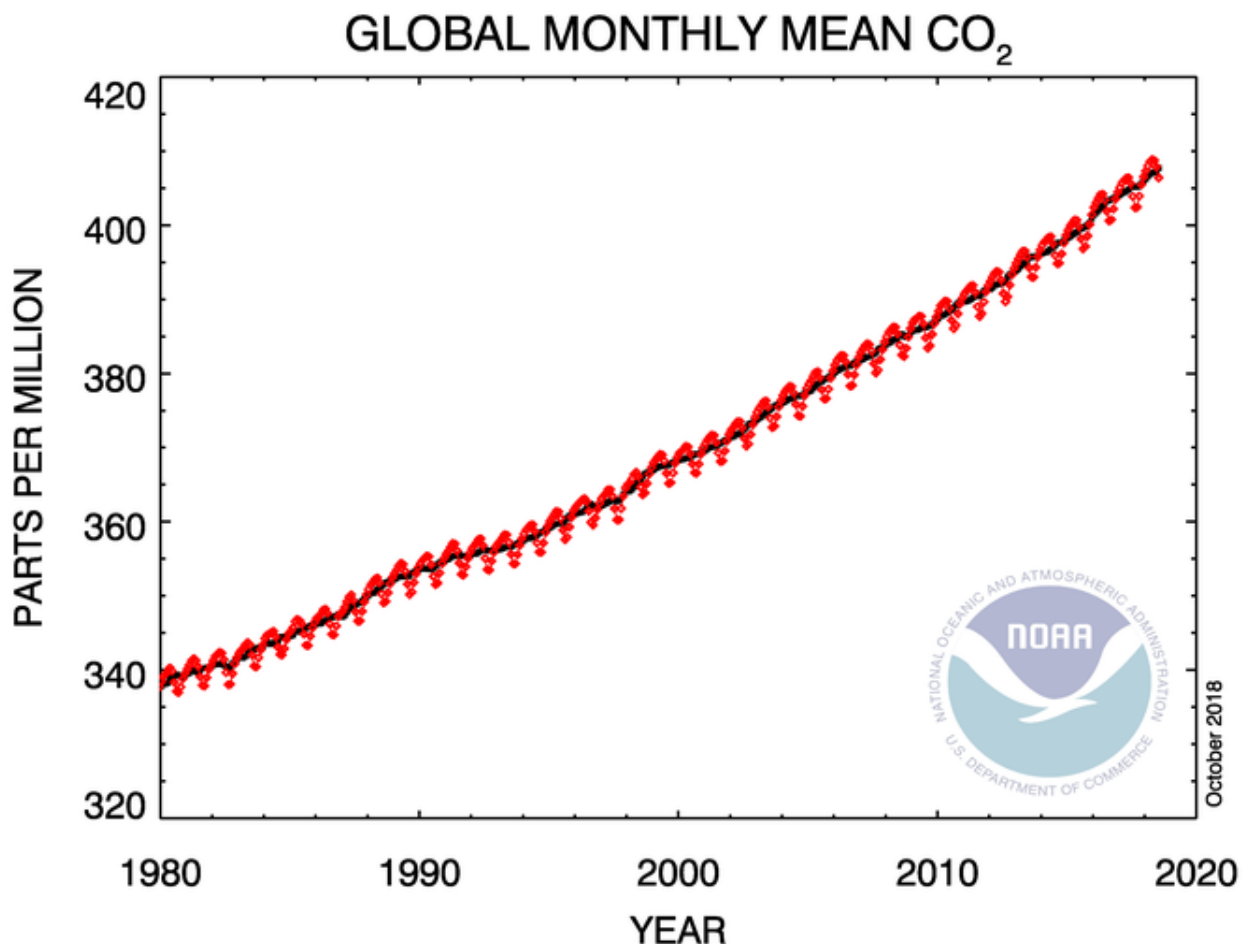
Kuva 2 Ilmakehän CO₂-pitoisuus fanerotsooisien eonin aikana GEOCARB III teoreettisen mallinnuksen ja erilaisten indikaattorien perusteella. (Muokaten Berneriltä, 2004).

Maapallon ilmakehän CO₂ pitoisuus on ollut huomattavasti korkeampi paleotsooisella maailmankaudella ja kokenut paljon vaihtelua, mutta pitäen laskevan trendin viimeisen 550 miljoonan vuoden ajan (kuva 2). Bernerin (2004) mukaan kuvan käyriä ei ole tarkoitus lukea absoluuttisina arvoina, vaan kuvailevana trendinä ajanjakson hiilidioksidin määrästä ilmakehässä. Kuvasta 2 huomattava devonikaudella ja hiilikaudella tapahtunut ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden lasku johtui pääasiassa putkilokasvien kehittymisestä ja leviämisestä maalle. Näille kasveille ei ollut kehittynyt tehokasta biologista hajottajaa, jolloin niiden hautautuminen ja sedimentoituminen oli huomattavasti voimakkaampaa kuin nykyään, jonka seurauksena enemmän hiiltä varastoitui maahan ilmakehästä (Berner 2001). Kasveilla ollut suuri vaikutus ilmakehän kaasukoostumukseen ja tästä johtuen myös Maapallon lämpötilaan pitkällä aikavälillä.

Maslinin (2005) mukaan on päätelty, että ilmakehän CO₂-tasot ovat pudonneet viimeisen 100 miljoonan vuoden aikana ja laskeutuneet nykyisen tason tuntumaan mioseenin aikaan. Yleisen käsityksen mukaan trias- ja liitukauden aikana ilmakehän CO₂-pitoisuudet olivat noin neljä tai viisi kertaa korkeammat kuin holoseenin aikaan ennen teollistumista, jolloin pitoisuus oli noin 280 ppm (Maslin 2005: 173). Miljoonien vuosien takaisten ilmasto-olojen tutkiminen kasvien fossiilien

perusteella ja muiden indikaattorien avulla antaa hatarampia arvioita kuin jäätiköistä porattujen jään sisään jääneiden ilmakehän ilmakehän konkreettinen koostumus. Kawamuran et al. (2003) mukaan Antarktikselta porattujen jäänäytteiden perusteella viimeisen 320 000 vuoden aikana ilmakehän CO₂-pitoisuus on vaihdellut 190 ja 300 ppm välillä, korkeimpien arvojen esiintyen interglasiaalien aikaan ja alimpien arvojen glasiaalien aikaan.

3.2 Ihmisen vaikutus ilmakehän CO₂



Kuva 3 Maailman laajuinen ilmakehän CO₂-pitoisuus vuodesta 1980. Punainen käyrä esittää vuodenaikaisvaihtelun pitoisuudessa ja musta on vaihtelusta korjattu vuotuinen arvo. (NOAA 2018)

Teollistumisen myötä ihmisen alettua käyttää fossiilisia polttoaineita on ilmakehän kasvihuonekaasujenpitoisuudet kasvaneet. National Oceanic & Atmospheric Administration eli NOAA on kerännyt tilastoja CO₂-pitoisuuksista vuodesta 1980 (kuva 3) ja heidän mukaan heinäkuussa 2018 globaali ilmakehän CO₂-pitoisuus oli noin 406 ppm (NOAA GMD 2018).

Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) on vuonna 1988 muodostettu hallitusten välinen paneeli, jonka tarkoituksena on koota tietoa ihmisen aiheuttamasta ilmaston lämpenemisestä ja arvioida sen vaikutuksia. IPCC on tuottanut raportteja, joiden on tarkoitus olla perustana valtiollisille ja kansainvälisille hallituksille tehtäessä päätöksiä ilmastoon vaikuttavista asioista. Vuonna 2014 IPCC julkaisi Assessment Report 5, jossa todettiin kasvihuonekaasujen, CO₂, CH₄ ja N₂O, pitoisuuksien kasvaneen 40%, 150% ja 20% tasoista ennen teollistumisen alkua (IPCC 2014: 44). CO₂-päästöt ovat tuottaneet noin 78% kaikesta lisäyksestä kasvihuonekaasupäästöihin vuosien 1970 ja 2010 välillä (IPCC 2014: 46) Suurin syy kasvihuonekaasupitoisuuksien kasvuun ilmakehässä raportin mukaan on ekonominen ja väestöllinen kasvu, jonka myötä fossiilisten polttoaineiden käytöstä syntyneet päästömäärät ovat kasvaneet.

Kasvihuonekaasujen lisäys ilmakehässä edesauttaa globaalien keskimääräisten pintalämpötilojen nousua. IPCC (2014) mukaan vuosien 1951 ja 2010 välillä havaittujen Maapallon keskimääräisten pintalämpötilojen noususta yli 50% johtuu ihmistoiminnan tuottamista kasvihuonekaasuista ja muista toiminnoista, erittäin todennäköisesti. Pelkkien kasvihuonekaasujen vaikutusten vuotuisen keskilämpötilaan raportti arvio olevan 0.5°C ja 1.3°C välillä ja kun kaikki muut keskilämpötilaan vaikuttavat tekijät, kuten luonnolliset vaihtelut ja vaikutukset sekä muu ihmistoiminta, lasketaan mukaan, on yhteisvaikutuksena noin 0.6 - 0.7°C nousu edellä mainitulla aikavälillä. Syyskuun 2018 Maapallon maan ja merien pintalämpötila oli 0.78°C edellisen vuosisadan keskiarvoa korkeampi (NOAA 2018). Eri lähteiden lämpötilanousujen vertailukohtat vaihtelevat, mutta huomattava kasvava trendi keskilämpötiloissa on selvä. Hawkins et al. (2017) huomauttavatkin, että termin ”preindustrial” eli ”ennen teollistumisen alkamista” käyttämisestä tulisi välttää käsiteltäessä globaaleja keskilämpötiloja, koska sille ei ole annettu täsmällistä selitystä.

3.3 Sademetsät ja CO₂

Koska kasvit käyttävät ilmakehässä olevaa hiilidioksidia yhteyttämiseen ja kasvamiseen, on hypoteesina esitetty sademetsien tuottavuuden ja biomassan kasvamista varastoiden enemmän hiiltä ilmakehästä näihin metsäekosysteemeihin (Lewis et al. 2009, Lloyd and Farquhar 2008). Körnerin (2005) mukaan korkeammat CO₂-pitoisuudet saattavatkin stimuloida fotosynteesiä sademetsien C3-yhteyttämistapaa käyttäviä kasveja, joita pääosin trooppisten sademetsien puut ovat, mutta hän myös huomauttaa, ettei pelkkä kasvava ilmakehän CO₂ yksinään vaikuta yhteyttämisen ja hiilen varastoitumisen lisääntymiseen sademetsissä. Nouseva ilmakehän CO₂-pitoisuus vaikuttaa sademetsiin myös epäsuorasti muuttamalla ilmastollisia olosuhteita trooppisilla alueilla. Clark et al.

(2013) totesivat tutkimuksessaan, jossa he keräsivät dataa 12 vuoden ajalta sademetsäalueen tuottavuuteen vaikuttavista tekijöistä, että lämpötilojen nouseminen trooppisilla alueilla ja kausittaisen kuivuuden voimistuminen saavat aikaan negatiivisen vaikutuksen sademetsän tuottavuudelle, sekä ravinteiden rajoittavan odotettua tuottavuuden kasvua nousevan CO₂ vaikutuksesta suuressa osassa sademetsiä. Kasvien rakenteissa on tietynlainen aineiden tasapaino, jonka ylläpitäminen vaatii kaikkien aineosien, kuten ravinteiden, lisäystä kasville, jolloin pelkän CO₂ kasvu kasvin ympäristössä ei välttämättä johda suurempaan hiilen varastoitumiseen kasviin (Körner 2005).

Clark et al. (2013) kertovat pitkäaikaisten kenttätutkimustilastojen ja datan olevan vähäistä trooppisten sademetsien tuottavuudesta ja tähän vaikuttavista muuttujista. Sademetsien ollessa biodiversiteetiltään suuri, on sen ekosysteemissä erittäin paljon vuorovaikutussuhteita, mikä tekee tutkimuksesta vähintäänkin haastavaa. Tutkittaessa hiilen kulkeutumista ilmakehän ja metsäsystemien välillä täytyy huomioida spatiaaliset ja temporaaliset ulottuvuudet. Körner (2005) huomauttaa aikaulottuvuuden olevankin erittäin tärkeä tarkasteltaessa metsien biomassan muutosta varsinkin pienemillä alueskaaloilla, koska puiden elinikä on suhteellisen pitkä, jolloin biomassan kasvu tapahtuu pitkällä aikavälillä ja sen menetys lyhyellä, tehden havaintojen keräämisen ajankohdista lopputulokseen vaikuttavan tekijän. Tutkimustulosten yleistettävyys paikallisista tutkimusalueista on myös vaikeaa, koska paikalliset ympäristövaikutukset, kuten ilmasto, maaperä ja lajisto, voivat olla hyvinkin erilaisia monipuolisissa sademetsäekosysteemeissä Maapallolla.

4. Amazonin sademetsä

4.1 Amazonin sademetsän ominaispiirteet

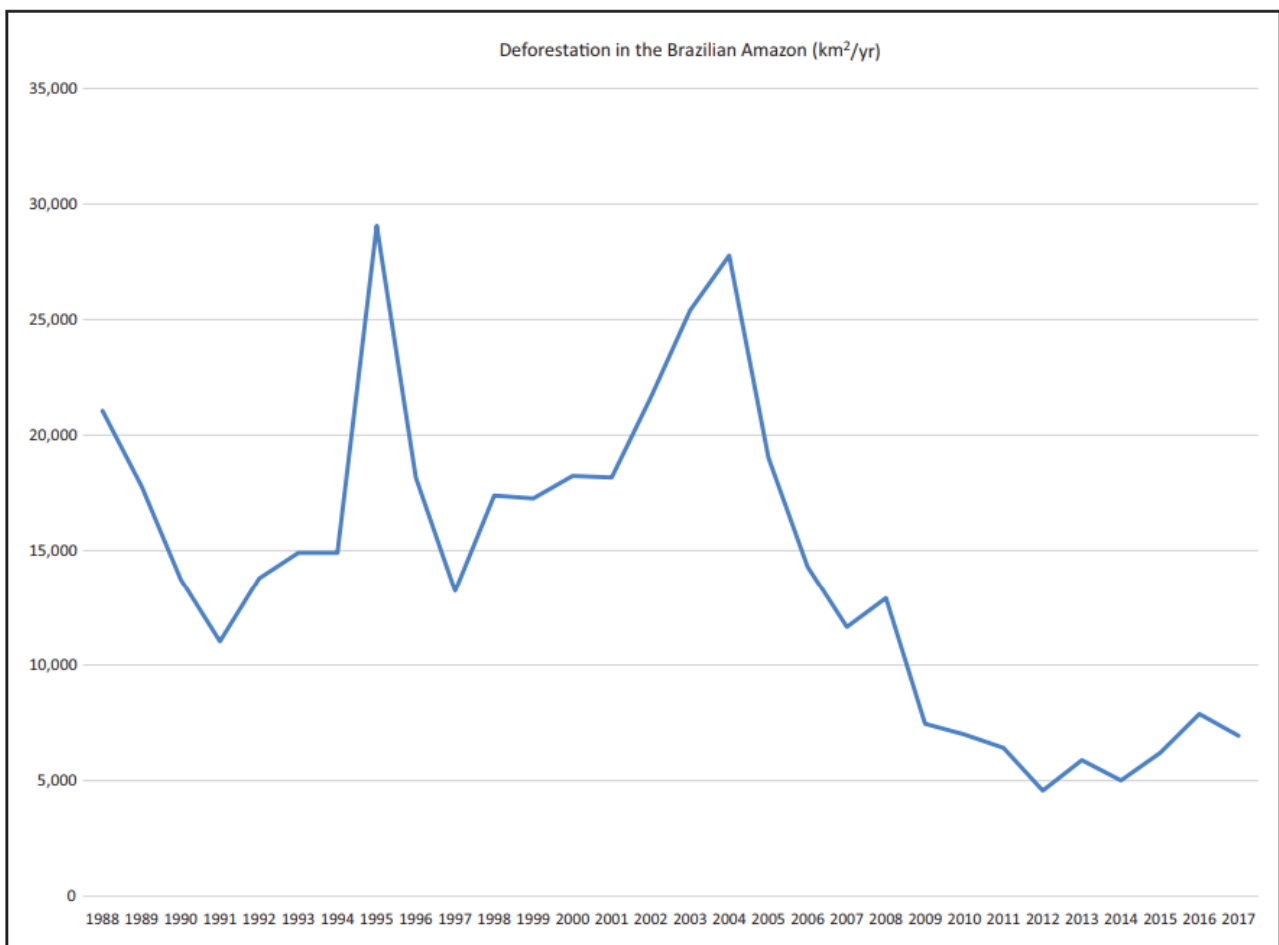
Amazonin sademetsä sijaitsee päiväntasaajan ympärillä yhdeksän Etelä-Amerikan valtion alueilla. Nämä valtiot ovat Brasilia, Peru, Kolumbia, Venezuela, Ecuador, Bolivia, Guyana, Surinam sekä Ranskan Guyana. Amazonin metsäalue on laaja, noin 6 000 000 km², jonka alueella noin 60% koko maailman jäljellä olevista trooppisista metsistä sijaitsee (Furley 2007: 135). Furley (2007) kuitenkin tarkentaa, että koko alue ei suinkaan ole sademetsien peitossa, vaan eri metsätyyppejä esiintyy suurempina ja pienempinä laikkuina alueella. Amazon sijaitsee päiväntasaajan tienoilla, 5°P ja 10°E leveysasteiden välillä, jolloin ITCZ on suurin Amazonin ilmastoon vaikuttava tekijä. Vaikka itäiset pasaatituulet tuovat kosteaa ilmaa Atlantilta alueelle lähes ympäri vuoden, on Amazonin alueella paikallisilmastoja, joiden vaikuttavimpia tekijöitä ovat etäisyys merestä, topografia ja vesitase (Furley 2007). Marengo ja Carlos (2001: 20) toteavatkin eteläisen Amazonin alueella olevan selkeä kuiva- ja sadekauden vaihtelu, kun taas pohjois- ja keskiosissa sellaista ei juurikaan ole havaittavissa.

Amazonin ilmastoon vaikuttaa El Niño/Southern Oscillation ilmiö (ENSO). ENSO syntyy laaja-alaisista merien ja ilmakehän välisistä vuorovaikutuksista, jotka pääosin tapahtuvat sen esiintymisalueilla Intian ja Tyynenvaltameren trooppisilla ja subtrooppisilla alueilla (Diaz & Markgraf 2000). El Niñon aikana trooppisten alueiden merivesien lämpeneminen, josta seuraa suurimpien sateiden siirtyminen mantereilta lämmenneille merialueille vähentäen sademääriä maa-alueilla, kun taas La Niñan, joka on El Niñon käänteinen ilmiö, aikaan vaikutukset ovat vastakkaiset (Diaz & Markgraf 2000). Amazonin sademetsän alueelle tämä tarkoittaa pienempiä sademääriä El Niñon aikana vaikuttaen alueen vesitalouteen ja jokisysteemeihin.

Amazon-joki on yksi maailman suurimmista joista, vaikka se ei maailman pisin joki ole, kulkee sen kautta viidennes kaikkien maailman jokien meriin laskemasta virtaamasta (Eden 1990 Furleyn 2007: 135 mukaan). Nykyinen Amazon-joen valuma-alue syntyi Andien poimutuksen ansiosta. Aiemmin alueen vedet olivat laskeneet pohjois- ja länsisuunnassa, mutta oligoseenin ja plioseenin aikana muodostunut Andien vuoristo pakotti laajan alueen vedet valumaan itään kohti Atlanttia (Orme 2007: 77). Joki kuljettaa ravinteita ja sedimenttejä Andeilta vieden ne Atlantin rannikolle ruokkien samalla sen alueella sijaitsevaa kasvillisuutta ollen näin tärkeä osa Amazonin alueen ekosysteemiä. Amazonin jokisysteemi kokee voimakasta kausittaisvaihtelua kostean ja kuivan kauden välillä, mikä näkyy joen tulvina ja niiden vaikutuksena jokialueen luontoon (Furley 2007).

4.1 Amazonin sademetsän hävittäminen ja CO₂

Metsien hävittämistä on Amazonin sademetsässä tapahtunut suurimmaksi osaksi ihmistoiminnan vaikutuksesta. Noin 60% Amazonin sademetsästä sijaitsee Brasiliassa. Brasilian Amazonin sademetsistä melkein 19% on hävitetty Brasilian kansallisen avaruustutkimusintituutin (INPE) keräämän satelliittidatan analyysien mukaan ja noin 62% tästä alasta on muunnettu laidunmaaksi maataloudelle (Aguiar, et al. 2016). Spracklen ja Garcia-Carreras (2015) kertovat Amazonin sademetsien hävittämisen vaikuttavan koko Amazonin alueen sademäärien vähänemiseen. Kuivuuden lisääntyminen Amazonin sademetsäalueilla johtaa todennäköisimmin metsien ja kasvillisuuden heikentymiseen ja mahdollisesti CO₂-pitoisuuksien kasvuun ilmakehässä (Hilker, et al. 2014). Kuivuus altistaa alueen metsiä herkemmin myös metsäpaloille hävittäen lisää metsiä. Näillä seurauksilla metsien hävittäminen luo itseään voimistavan vaikutuksen, jolla voi olla suuriakin vaikutuksia pitkällä aikavälillä laajoille alueille.



Kuva 4 Metsien häviäminen Brasilian ”Legal Amazon” -alueella vuosien 1988 ja 2017 välillä (km²), INPE:n virallisen ”PRODES” -tutkimustietojen mukaan. (Boucher ja Chi 2018)

Brasilian Legal Amazon alueen sademetsien hävittäminen on vähentynyt tultaessa 2010-luvulle, mutta pysyneen suhteellisen tasaisena sen jälkeen (kuva 4). Nepstad et al. (2014) toteavat metsien hävittämisen vähenneen lukuisten eri vaikutusten myötä, kuten uusien poliittisten käytäntöjen luomisen metsien suojeluun, parempien metodien kehittämisen metsien valvontaan reaaliaikaisesti sekä suurien maatalousyhtiöiden taloudellisen painostuksen voimistumisen niin valtiollisella kuin kansainvälisellä tasolla. Myös Macedo et al. (2012) ovat huomioineet, että sosio-ekonomiset vaikutukset, kuten Brasiliassa paljon viljeltävän soijapavun maailmanmarkkinahinnan heilahtelun, selittävät vuotuisia vaihteluja metsien maatalousmaaksi muuntamisessa. Noin 40% häviäminen sademetsästä, on arvioitu käännekohdaksi Amazonille, minkä jälkeen ei metsä pysty enää uusiutumaan luonnollisin keinoin (Nobre et al. 2016).

Laskettaessa hävitettyjen sademetsien aiheuttamia hiilivarastojen muutoksia, tuottaa lopputuloksiin hyvin paljon epävarmuutta metsien kokonaisbiomassan määrittäminen (Song et al. 2015). Metsien häviämisen tutkimukseen Brasiliassa käytetään muun muassa INPE:n tuottamia satelliittikuva-aineistoa, jota on vapaasti saatavilla heidän kotisivuillaan. Nogueira et al. (2015) käyttivät tutkimuksessaan Amazonin ”alkuperäisen” biomassan määrästä arvioita 1950-1960 luvuilla tehdyistä kartoituksista, jotka tapahtuivat ennen suurien tieprojektien käynnistymistä sademetsäalueilla ja joihin he yhdistivät uudempien tutkimusten arvioita näillä, nyt hävitetyillä metsäalueilla, sijainneiden metsien biomassoista. Malhi et al. (2006) arvioi Amazonin sademetsien varastoineen $120 \pm 30 \text{ Pg}$ ($1 \text{ Pg} = 10^{15} \text{ g}$) hiiltä biomassassaan. Tästä määrästä noin 0.5 Pg hiiltä vapautui 1990-luvulla joka vuonna metsien hävityksen seurauksena (Ramankutty et al. 2007). Baker et al. (2005) laskivat vanhoissa Amazonin sademetsistä vuosien 1979-1998 tehtyjen havaintojen perusteella $1.22 \pm 0.42 \text{ Mg}$ biomassan kertymisen hehtaarin kokoiselle alueelle vuodessa. Yleistettynä kattamaan koko Amazonin sademetsä aluetta edellä mainittu biomassan lisäys tarkoittaa noin 0.6 Pg hiilen sitoutumista sademetsiin vuotuisesti (Malhi & Phillips 2005: 221). Nämä arviot, 0.5 Pg vapautuvaa ja 0.6 Pg sitoutuvaa hiiltä, ovat todella lähellä toisiaan ja ottaen huomioon tutkimusten monet epävarmuudet metsäpinta-alojen ja biomassojen määrittämisessä, on ennen vuosituhannen vaihtumista Amazonin tilanne hiilivarastona pysynyt staattisena. Myös Stephens et al. (2007) tulivat samankaltaiseen lopputulokseen tutkiessaan tropiikkeja globaalilla tasolla; maankäytön muutoksien luomien päästöjen kumoavan metsien varastoiman hiilen määrän ilmakehästä, jolloin kokonaisvaikutuksessa päästään lähellä nollaa.

5. Pohdinta

Sademetsien muodostuttua maapallolle mesotsooisen maailmankauden lopulla tai viimeistään kenotsooisen alkupuolella (Maslin 2005), on ilmakehän CO₂-pitoisuus ollut laskevassa trendissä aikaan ennen ihmistoiminnan vaikutuksia. Maailmankausien vaihteessa ilmakehässä ollut CO₂-pitoisuus oli noin 350-500 ppm (Beerling et al. 2002). Lasku 280 ppm tasoon ennen teollistumista tapahtui siis 70-60 miljoonan vuoden aikana, jolloin kasveilla on ollut aikaa sopeutua evoluution avulla muutoksiin. IPCC:n (2013) eri malliennusteiden mukaan vuonna 2100 ilmakehän CO₂-pitoisuus olisi 985 ± 97 ppm. Tällöin määrä olisi noussut kaksinkertaiseksi kolmen vuosisadan aikana siitä, mitä sademetsien aikana on koskaan ollut, tehden sademetsistä ja niiden muutoksista vähintäänkin mielenkiintoisen tutkimuskohteen tulevaisuudessa. Ilmakehän kasvihuonekaasujen nousun vaikutus lämpötiloihin, sademäärin ja näiden kautta koko Maapallon ilmastoon, uskon haasteita tulevan niin tutkijoille kuin sademetsillekin.

Vuosien 1750-2000 välillä maankäytön muutokset, pääasiassa metsien hävitys, ovat tuottaneet noin kolmasosan ihmisentuottamista kasvihuonekaasupäästöistä ja 12% vuosina 2000-2009 (IPCC WGIII 2014). YK:n UN-REDD ja REDD+ -ohjelmat (Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation) pyrkivät auttamaan osallistuja valtioita vähentämään metsien hävittämistä ja heikentämistä, jotta tästä syntyvät kasvihuonekaasupäästöt saataisiin kuriin ja ilmastonmuutosta saataisiin hillittyä. Maissa kuten Brasiliassa ja Indonesiassa suurin osa kasvihuonekaasupäästöistä syntyy metsien hävittämisestä ja heikentymisestä (FCPF). Näkisin toiminnan metsien hävittämisen vähentämiseksi tärkeänä osana taistelussa ilmastonmuutosta vastaan. Tämä toiminta auttaisi myös sademetsien ainutlaatuisen ja biodiversiteetiltään monipuolisen ekosysteemin suojelussa. Amazonin sademetsien hävittäminen onkin viime vuosikymmenen aikana siirtynyt parempaan suuntaan. Viimeisen vuosikymmen aikana Brasilian Amazonin alueella metsien hävittäminen on vähentynyt noin 80%, luoden hyvän pohjan metsän tulevaisuudelle (Nobre. et al. 2016). Parhaimpien keinojen metsien säilyttämiselle uskoisin olevan maankäytön hallintaan ja valvontaan kohdistuvien säädösten ja toimintatapojen tiukentaminen kansainvälisellä, valtiollisella ja alueellisella tasolla.

Mikäli Körnerin (2005) mainitsema sademetsien hiilensidonta ilmakehästä kasvaa, samalla kun CO₂-pitoisuudet nousevat, saataisiin sademetsistä valtavia hiilinieluja, jos alueiden metsien hävittäminen saataisiin vähennettyä tarpeeksi alhaiseksi tai pois kokonaan. Metsien toimiminen hiilinieluna onkin luonnollinen hiilensitoja lyhyellä aikavälillä tarkasteltuna ja uskoisin tämän toimivan osana ratkaisua ilmastonmuutokseen. Erityisesti sademetsät, ja niiden valtava

biomassa, tekee niistä suuren tekijän kyseisessä prosessissa. Toisaalta IPCC:n (2013) mukaan ihmistoiminnan tuottamien CO₂-päästöjen poistaminen ilmakehästä luonnollisten prosessien kautta kestäisi muutamia satoja tuhansia vuosia ja noin 15-40% niistä pysyy ilmakehässä ainakin seuraavat 1 000 vuotta. Tämä saa taistelun ilmastonmuutosta vastaan tuntumaan suhteellisen mahdottomalta. IPCC:n viimeisin julkaisu (IPCC 2018) toteaa globaalin keskilämpötilan nousseen yhden asteen vertailuajankohdasta ennen teollistumista, sekä nousun yltävän 1.5°C viimeistään 2050-luvulla, mikäli sama havaittu vauhti jatkuu. Vaikuttaa, että pelkkä päästöjen vähentäminen ei riitä, jos suuria muutoksia globaalilla tasolla halutaan välttää. Keinoja poistaa hiilidioksidia suoraan ilmakehästä on ollut kehitteillä jo vuosi kymmeniä, mutta tehokkaita ratkaisuja laajalla skaalalla ei vielä ole (Sanz-Pérez et al. 2016).

Lämpötilan nousu ja muutokset sademäärissä sekä -kausissa ovat ilmastonmuutoksen seurauksista vakavimmat sademetsille. Amazonin sademetsälle Nobre et al. (2016) esittää 4°C lämpötilanousun olevan kohta, jonka jälkeen sademetsän etelä- ja itäosat alkavat muuttua savannimaisiksi alueiksi, eikä sademetsä kykene enää uusiutumaan luonnollisin keinoin.

Tässä tutkielmassani käsittelin pääasiassa sademetsien ja ilmakehän hiilidioksidin vaikutuksia toisiinsa ja niiden yhteyksiä, tarttumatta kovinkaan syvällisesti mihinkään tiettyyn osa-alueeseen. Aiheeseen tutustuessa ja syventyessä minulle valkeni, kuinka syvään, ja välillä pohjattomalta tuntuvaan kuiluun sukelsinkaan. Tutkimusta tähän aiheeseen liittyen on tehty todella paljon, monista näkökulmista, lukuisista alueista, kaikenlaisilla mittaus- ja arviointimenetelmillä, useilla erilaisilla aikaskaaloilla ja eritoten monilla tuloksiin vaikuttavilla tekijöillä, mikä teki lähes mahdotonta perehtyä kaikkiin haluamiini mielenkiintoisiin ja tärkeisiin tutkimuksiin aihetta koskien, joita olin alun perin ajatellut käsitellä.

Sitä miltä sademetsien tulevaisuus näyttää seuraavan 1 000, 10 000 tai miljoonan vuoden päästä, koetetaan saada selville erilaisten ennusteiden ja mallien avulla. Mutta uskaltaisin todeta, että termin ”*trooppinen sademetsä*” tulevaisuudessa näyttää olevan ainakin adjektiivin, ehkä jopa substantiivin vaihto edessä.

6. Lähteet

- Aguiar, A. P. D., et al. (2016). Land use change emission scenarios: Anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon, *Global Change Biology*. 22, 1821–1840.
- Baker, T. R., et al. (2005). Late twentieth-century trends in the biomass of Amazonian forest plots. Teoksessa Malhi, Y. & O. Phillips (toim.): *Tropical Forests and Global Atmospheric Change*, 129-141. Oxford University Press, Oxford.
- Beerling, D. J., and F. I. Woodward (2001). *Vegetation and the Terrestrial Carbon Cycle: The First 400 Million Years*. 394 s. Cambridge University Press, Cambridge.
- Beerling et al. (2002). An atmospheric $p\text{CO}_2$ reconstruction across the Cretaceous-Tertiary boundary from leaf megafossils. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 99 (12), 7836-7840.
- Berner, R. A. (2001). The Effect of Land Plants on Atmospheric CO_2 During the Paleozoic. Teoksessa Edwards, D. & P. G. Guensel (toim.): *Plants Invade the Land: Evolutionary and Environmental Perspectives*. 307 s. Columbia University Press, New York.
- Berner, R. A. (2004). *The Phanerozoic Carbon Cycle: CO_2 and O_2* , 150 s. Oxford University Press, Oxford.
- Boucher, D. & D. Chi (2018). Amazon Deforestation in Brazil: What Has Not Happened and How the Global Media Covered It. *Tropical Conservation Science*. 11, 1-4.
- Brown, J. H. & M. V. Lomolino (1998). *Biogeography*. 2. p. 691 s. Sinauer Associates, Inc, Sunderland, Massachusetts.
- Clark, D. A., D. B. Clark, and S. F. Oberbauer (2013). Field-quantified Responses of Tropical Rainforest Aboveground Productivity to Increasing CO_2 and Climatic Stress, 1997–2009. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 118, 783–794.
- Diaz H. F. & V. Markgraf (2000). *El Niño And The Southern Oscillation: Multiscale Variability And Global And Regional Impacts*. 497 s. Cambridge University Press, Cambridge.
- Eden, M. J. (1990). *Ecology and Land Management in Amazonia*. 269 s. Belhaven Press, London.
- FCPF (2018). Forest Carbon Partnership Facility. <www.forestcarbonpartnership.org/what-redd> 07.11.2018
- Furley P. A. (2007). Tropical Forests of the Lowlands. Teoksessa Orme, A. R., K. R. Young & T. T. Veblen (2007). *The Physical Geography of South America*. 361 s. Oxford University Press, Oxford.
- Hawkins, E., P. Ortega, E. Suckling, A. Schurer, G. Hegerl, P. Jones, M. Joshi, T. J. Osborn, V. Masson-Delmotte, J. Mignot, P. Thorne, & G. J. van Oldenborgh (2017). Estimating Changes In Global Temperature Since the Preindustrial Period. *American Meteorological Society*. 98, 1849-1856.
- Hilker, T. A.I. Lyapustin, C.J. Tucker, F.G. Hall, R.B. Myneni, Y. Wang, J.Bi, Y. Mendes de Moura, & P. J. Sellers (2014). Vegetation dynamics and rainfall sensitivity of the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 111, 16041-16046.

- IPCC (2018). Summary for Policymakers. Teoksessa V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, Y. Chen, S. Connors, M. Gomis, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, N. Reay, M. Tignor, T. Waterfield, X. Zhou (toim.). *Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Painossa.
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, R.K. Pachauri & L.A. Meyer (toim.). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 s.
- IPCC WGIII, Smith P., M. Bustamante, H. Ahammad, H. Clark, H. Dong, E.A. Elsiddig, H. Haberl, R. Harper, J. House, M. Jafari, O. Masera, C. Mbow, N.H. Ravindranath, C.W. Rice, C. Robledo Abad, A. Romanovskaya, F. Sperling, and F. Tubiello (2014). Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). Teoksessa Pichs-Madruga O. R., Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel & J.C. Minx (toim.). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Edenhofer, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2013). *Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (toim.). 1029-1136. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jenik, J. & K. A. Longman (1987). *Tropical Forest and its Environment*, 2. p. 347 s. John Wiley & Sons Inc, New York.
- Kawamura K., T. Nakazawa, S.Aoki, S. Sugawara, Y. Fujii & O. Watanabe (2003). Atmospheric CO₂ variations over the last three glacial'interglacial climatic cycles deduced from the Dome Fuji deep ice core, Antarctica using a wet extraction technique, *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 55: 2, 126-137.
- Körner C. (2005). Tropical Forests Dynamics In Response to a CO₂-rich Atmosphere. Teoksessa Malhi, Y. & O. Phillips (toim.): *Tropical Forests and Global Atmospheric Change*, 67-74. Oxford University Press, Oxford.
- Lewis, S. L., J. Lloyd, S. Sitch, E. T. A. Mitchard, & W. F. Laurance (2009a). Changing ecology of tropical forests: Evidence and drivers, *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 40, 529–549.
- Lloyd, J., and G. D. Farquhar (2008). Effects of rising temperatures and [CO₂] on the physiology of tropical forest trees, *Philosophical Transactions by The Royal Society B*. 363, 1811–1817.
- Macedo M.N., R. S. DeFries, D. C. Morton, C. M. Stickler, G. L. Galford, Y. E. Shimabukuro (2012). Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late

- 2000s. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 109, 1341–1346.
- Nepstad D. et al. (2014). Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. *Science*. 344, 1118-1123.
- NOAA (2018). National Oceanic & Atmospheric Administration. <<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201809>> 31.10.2018
- NOAA GMD (2018). National Oceanic & Atmospheric Administration: Global Monitoring Division. <<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>> 29.10.2018
- Nobre, C.A. et al. (2016). Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel 10 sustainable development paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(39), 10759-68.
- Malhi, Y. & O. Phillips (2005). *Tropical Forests and Global Atmospheric Change*. 260 s. Oxford University Press, Oxford.
- Malhi, Y. et al., (2006). The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Global Change Biology*. 12, 1-32.
- Marengo, J. A. & A. N. Carlos (2001). General Characteristics and Variability of Climate in the Amazon Basin and its Links to the Global Climate System. *Teoksessa McClain, M. E., J. E. Richey & R. L. Victoria (toim.): The biogeochemistry of the Amazon Basin*, 17-4, Oxford University Press, New York.
- Maslin M. (2005). The longevity and resilience of the Amazon rainforest. *Teoksessa Malhi, Y. & O. Phillips (toim.): Tropical Forests and Global Atmospheric Change*, 167-182. Oxford University Press, Oxford.
- Nogueira E. M., A. M. Yanai, F. O. R. Fonseca & P. M. Fearnside (2015) Carbon stock loss from deforestation through 2013 in Brazilian Amazonia. *Global Change Biology*. 21(3): 1271–1292.
- Orme, A. R., K. R. Young & T. T. Veblen (2007). *The Physical Geography of South America*. 361 s. Oxford University Press, Oxford.
- Park, C. C. (1992). *Tropical Rainforests*. 188 s. Routledge, London.
- Ramankutty N. et al. (2007). Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. *Global Change Biology*. 13, 51-66.
- Sanz-Pérez, E.S., C. R. Murdock, S. A. Didas & C. W. Jones (2016). Direct Capture of CO₂ from Ambient Air. *Chemical Reviews*. 116 (19), 11840–11876.
- Searle, M. (2013). *Colliding Continents: A Geological Exploration of the Himalaya, Karakoram, and Tibet*. 432 s. Oxford University Press, Oxford.
- Song X-P., C. Huang, S. S. Saatchi, M. C. Hansen, J. R. Townshend (2015). Annual Carbon Emissions from Deforestation in the Amazon Basin between 2000 and 2010. *PLoS ONE*. 10(5).
- Spracklen, D. V., & L. Garcia-Carreras (2015), The impact of Amazonian deforestation on Amazon basin rainfall, *Geophysical Research Letters*. 42, 9546–9552.

Stephens, B. B., et al. (2007). Weak northern and strong tropical land carbon uptake from vertical profiles of atmospheric CO₂. *Science*. 316, 1732–1735.