



Linnea Toiviainen

AMAZONIN *GUADUA*-BAMBUJEN FYTOLIITIT JA NIIDEN KÄYTTÖ
BIOGEOGRAFISESSA TUTKIMUKSESSA

Maantieteen/geologian pro gradu -tutkielma

Turku 2019

Turun yliopisto
Luonnontieteiden ja tekniikan tiedekunta
Maantieteen ja geologian laitos

TOIVIAINEN, LINNEA: Amazonin *guadua*-bambujen fytoliitit ja niiden käyttö
biogeografisessa tutkimuksessa

Pro gradu -tutkielma, 47 sivua, 1 liitesivua
40 op, maantiede
Ohjaaja: Risto Kalliola
Syyskuu 2019

Fytoliittitutkimus on arkeologian ja arkeobotaniikan tutkimusmenetelmä, jolla on useita eri sovellusmahdollisuuksia eri tieteenaloilla. Fytoliitit syntyvät kasvin soluihin ja soluväleihin nestemäisen piidioksidin (SiO₂) kovettuessa ja muodostaessa ikään kuin mikroskooppisia kiviä, jotka mukailevat kasvin rakenteiden muotoja. Koska fytoliitit ovat valoksia tuottajakasvinsa rakenteista, voidaan maaperästä tai arkeologisista kaivauksista löytyneistä fytoliiteista tunnistaa alueen kasvillisuutta. Fytoliittien avulla voimme luoda paleoympäristön mallinnuksia tai esimerkiksi tunnistaa historiallisista ruukuista mitä kasvia niissä on säilytetty tuhansia vuosia sitten. Tämän tiedon avulla voimme tehdä päätelmiä eri aikakausien ravintokasveista tai jopa mahdollisesti päätellä onko kasvi domestikoitu vai alkuperäiskasvi. Tutkimukseni tavoitteet olivat selvittää Amazonin alueen *Guadua*-suvun bambujen tyyppillistä fytoliittijakaumaa ja selvittää alueellisia eroja tutkimusalueideni välillä. Erotin fytoliitteja bambunlehtinäytteistä sekä maaperänäytteistä, kolmesta eri syvyydestä. Bambunlehtinäytteissä käytin fytoliittien erotukseen polttomenetelmää, joka mahdollisti fytoliittien sijoittumisen tarkastelun lehden rakenteissa. Maaperänäytteisiin käytin märkäuuttomenetelmää, jossa fytoliitit erotettiin kemiallisesti uuttaen ja raskasnesteflotaatiolla. Lehtinäytteiden perusteella bambuille ominaisimmiksi fytoliittityypeiksi nousivat satula- ja bulliformfytoliitit. Maaperänäytteistä oli mahdollista löytää niin alueellista kuin syvyysuunnassakin tapahtuvaa vaihtelua. Bambuihin viittaavien satulafytoliittien prosentuaalinen osuus oli bambualueilla suurempi kuin niiden ulkopuolelta kerätyissä näytteissä ja erityisesti Brasilian näytteissä satulafytoliitit olivat vähäisiä. Perun bambualueiden vierestä kerätyissä näytteissä satulafytoliittien määrä oli bambualueita vähäisempi, mutta kuitenkin runsaampi kuin Brasilian näytteissä. Tämä vahvistaa teoriaa siitä, että bambufytoliitteja voidaan käyttää tunnistamaan bambualueita maaperänäytteiden perusteella ja etäisyys nykyisistä bambualueista vaikuttaa satulafytoliittien määrään. Tutkimukseni tulokset tukivat aikaisempaa kirjallisuutta aiheesta, mutta tutkimuksen metodiikka vaatii vielä kehittämistä. Fytoliittien tunnistaminen oli osasta näytteistä haastavaa ja hyvän referenssiaineiston puuttuminen voi vaikuttaa tutkimuksen luotettavuuteen. Fytoliittitutkimus avaa kuitenkin paljon uusia mahdollisuuksia biogeografiselle tutkimukselle ja tulee varmasti nousemaan tulevaisuudessa yhä suosittumaksi menetelmäksi.

Asiasanat: Fytoliitti, kasvikivi, bambu, *guadua*, mikrofossiili, arkeobotaniikka, paleoklimatologia, Amazon

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

University of Turku
Faculty of Science and

TOIVIAINEN, LINNEA: Phytoliths in the Amazonian *Guadua*-bamboos and their applicability in biogeographic research

Master's thesis, 47 pages, 1 appendixes
40 ECTS, Geography
Adviser: Risto Kalliola
September 2019

Phytolith analysis is one of the techniques commonly used in archaeology and archaeobotany and it can be applied in many fields. Phytoliths are opaline silica bodies formed in the cells and intercellular spaces of plants when liquid silicon dioxide (SiO_2) is deposited. Because phytoliths are replicas of the plant's cell shapes, it is possible to trace the origin of the phytolith extracted from soil samples just by analysing the shape of it. With phytoliths from the soil samples, we can create paleoenvironmental models or even find out what crop had been stored in ceramics found from archaeological sites. The goal of my research was to recognise the typical spatial distribution of phytoliths in *Guadua* genus bamboos and to find out if there are regional differences between phytolith concentrations in soil samples from three different environments. I had two research sites in Peru and one in Brazil. I used a dry ashing method for extracting phytoliths from my leaf samples and for the soil samples I used heavy liquid floatation. I chose the dry ashing method for my leaf samples in order to examine the spatial distribution of phytoliths in the leaf structure. From the leaf samples, saddle and bulliform phytoliths rose as the most prominent shape of phytoliths. From my soil samples, it was possible to find out regional differences and variation between the samples taken from different depths. As expected, the number of bamboo phytoliths was larger in the soil samples taken from the Peruvian bamboo forest samples than it was in the samples from a tropical rainforest in Brazil. Samples from Brazil included more globular phytoliths that are more frequently connected to woody plants. Samples collected just outside the bamboo areas in Peru had traces of bamboos, but the number of bamboo phytoliths was still low. This supports the theory that bamboo phytoliths can be used to identify bamboo areas and that the distance from existing bamboo sites affects the number of saddle phytoliths in the soil. Results of my study supported earlier literature on the subject, but the methodology of the study still needs further development. Identifying phytoliths in some samples was challenging and the lack of good reference data may have affected the reliability of the study. However, phytolith research opens up many new opportunities for biogeographic research and will certainly become an increasingly popular method in the future.

Key words: Phytolith, Silica Stone, Bamboo, *Guadua*, Microfossil, Archaeobotany, Paleoclimatology, Amazon

The originality of this thesis has been checked in accordance with the University of Turku quality assurance system using the Turnitin OriginalityCheck service.

Sisällys

Sisällys	4
1. Johdanto	1
2. Teoriakatsaus	3
2.1. Fytoliitit.....	3
2.2. Miksi kasvit tuottavat fytoliitteja?	5
2.3. Fytoliittitutkimus	7
2.4. Fytoliittien nimeäminen ja tunnistus	9
2.5. Radiohiiliajoitus ja PhytC	10
2.6. Fytoliitit bambuissa	12
2.7. Fytoliitit maaperässä	13
3. Tutkimusalue.....	15
3.1 Amazonin alue.....	15
3.2 Perun kaakkoisosien bambumetsät	17
4. Tutkimusaineisto ja -menetelmät	19
4.1 Näytteiden keräysalueet.....	19
4.1. Lehtinäytteet	21
4.2. Maaperänäytteet	22
5. Tulokset	25
5.1. Bambun lehdistä esiintyvät fytoliitit	25
5.1.1 Fytoliittityypit	25
5.1.2. Fytoliittien sijoittuminen lehden sisällä	29
5.2 Maaperässä esiintyvät fytoliitit	31
5.2.1 Maaperästä löytyneet fytoliittityypit.....	31
5.2.2 Fytoliittien esiintyminen maaperän eri kerroksissa ja näytealueilla.....	33
5.2.3 <i>Guadua</i> -bambuihin viittaavat fytoliitit	37
5.2.4 Globulaarien esiintyminen.....	39
5.2.5 Diagnostisten fytoliittityyppien yhteenveto	40
6. Pohdinta.....	41
6.1 <i>Guadua</i> -bambujen fytoliittikoostumus	41
6.2 Fytoliittityyppien alueellinen vaihtelu	43
6.3 Fytoliittien soveltaminen biogeografisessa tutkimuksessa	44
7. Johtopäätökset.....	46
Kiitokset:.....	47
Lähteet.....	48
Liitteet	52

1. Johdanto

Amazonin sademetsä on yksi maapallomme biodiversiteetin merkittävimmistä alueista ja koti miljoonille eliöille ja kasveille. Amazonin sademetsien ympäristön tilaa on heikentänyt vuosikymmeniä kestänyt voimakas deforestaatio ja ihmisten aiheuttama ympäristönmuokkaus, näiden vaikutuksiin on kuitenkin herätty vasta 1900-luvun loppupuolella (Tollefson 2015). Ympäristönsuojelun ja kansainvälisten säädösten avulla Amazonin deforestaatiota on kuitenkin saatu hidastettua jopa kolmasosaan entisestä ja alkuperäistä kasvillisuutta palautettua. Amazonin metsien tavoittamattomuus ja tiedon puute ovat vaikeuttaneet alueen suojelua ja esimerkiksi Perun suuret bambumetsät ovat löytyneet vasta 1970-luvulla RADAM kartoitusprojektin myötä (Griscom ym. 2003). Nämä bambumetsät ovat herättäneet useiden tutkijoiden mielenkiinnon bambujen omaleimaisen lisääntymisen sekä käyttäytymisen seurauksena ja tutkimuksessani tulenkin perehtymään näihin alueisiin fytoliittitutkimuksen kautta.

Amazonin metsien historia on tieteen kannalta yhä melko tuntematonta ja sen tutkimiseen on kehitetty uusia menetelmiä. Fytoliittitutkimus on yksi näistä menetelmistä, joka voisi olla avain Amazonin metsien arkeobotaniseen historiaan. Fytoliitit ovat kasvin soluihin ja soluväleihin piistä muodostuneita kasvikiviä, jotka ovat tunnistettavissa muotonsa puolesta kasvin suvun tai jopa lajin tasolle asti (Piperno 2006). Fytoliittien avulla on mahdollista muodostaa alueille paleoympäristön mallinnuksia ja näin selvittää minkälaista kasvillisuutta alueella on esiintynyt tuhansia vuosia sitten.

Fytoliittitutkimus on saanut alkunsa jo 1800-luvun alkupuolella ja yhtenä sen ensimmäisistä kehittäjistä pidetään Christian Ehrenbergia, joka oli luomassa ensimmäisiä fytoliittiluokituksia 1840-luvulla (Powers 2013). Fytoliittitutkimus ei kuitenkaan vielä tällöin saanut paljon huomiota sen metodiikan vaikeuden ja tarkkuuden puutteen vuoksi, mutta tekniikan ja tutkimuksen kehittyttyä 1900-luvun loppupuolella alkoi fytoliittitutkimus kerätä huomioita tutkijoiden keskuudessa. Tämän jälkeen fytoliitit ovat nousseet yhdeksi arkeologian ja kasvitutkimuksen suosituimmista menetelmistä. Ne toimivat siitepölyn tavoin mikrofossiilinäytteinä ja niiden jopa lajin tasolle yltävä

tunnistettavuus, tekee niistä siitepölyjäkin paremman menetelmän menneiden aikakausien kasvillisuutta tutkittaessa.

Tutkimuksessani kokeilen fytoliittien käyttöä Amazonin sademetsän *Guadua* –bambujen tutkimisessa, lehti ja maaperänäytteiden avulla. Lehtinäytteiden avulla on mahdollista muodostaa käsitys bambuille tyypillisestä fytoliittikannasta ja tätä apuna käyttäen voidaan bambuista peräisin olevia fytoliitteja tunnistaa maaperän eri kerroksista. Maaperän eri kerroksiin varastoituneet fytoliitit voivat kertoa meille alueen kasvillisuuden muutoksista ja tutkimuksen yhtenä tavoitteena onkin löytää merkkejä bambuista kolmesta eri näytesyvyydestä.

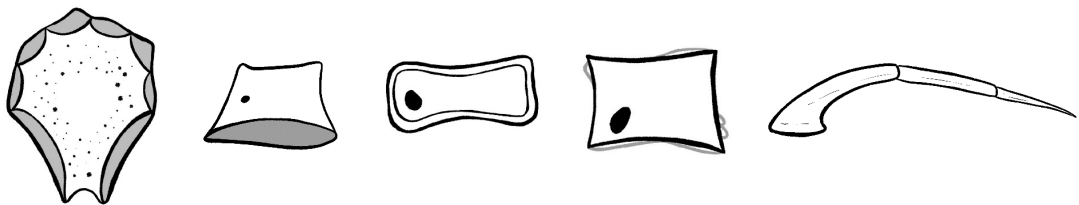
Tutkimukseni hypoteesina on, että bambumetsäalueilla ja niiden ulkopuolisilla alueilla on erilaiset fytoliittikannat, jotka vaihtelevat maaperän eri kerroksissa. Hypoteesini mukaan bambumetsien esiintymistä voitaisiin päätellä maaperässä esiintyvien bambufytoliittien avulla ja näin ollen nykyisten bambualueiden ulkopuolelta kerätyistä näytteistä voitaisiin vahvistaa alueella aikaisemmin kasvaneita bambumetsiä. Tutkimuksen hypoteesin lisäksi yleisenä tavoitteenani on tunnistaa *Guadua* -bambuille tyypilliset fytoliittityypit, tutkia niiden esiintymistä Länsi-Amazonin maaperässä ja tehdä päätelmiä bambumetsien dynamiikasta. Osatavoitteet ovat:

1. Määrittää *Guadua*-bambuille tyypillinen fytoliittikoostumus
2. Tutkia *Guadua*-fytoliittien esiintymistä maaperän eri syvyyksistä kerätyistä näytteistä ja selvittää ilmeneekö fytoliittien esiintymisessä alueellista vaihtelua
3. Arvioida fytoliittien hyödyntämismahdollisuuksia biogeografisessa tutkimuksessa

2. Teoriakatsaus

2.1.Fytoliitit

Mikrofossiileja on käytetty eri alojen tutkimuksessa jo pitkään, minkä takia siitepölyhiukkaset sekä piilevät ovat useille tutkijoille tuttuja paleoekologisen tutkimuksen apukeinoja (esim. Qiu ym. 2014). Niiden rinnalle ja niitä tukemaan on kuitenkin kehitetty uusia parempia fytoliittitutkimuksen menetelmiä. Näiden menetelmien avulla yhä tarkemmat paleoklimatologiset analyysit ovat mahdollisia ja voimme muodostaa fytoliittien avulla paremman käsityksen eri alueiden historiasta. Fytoliitit ovat biologisten ja fysikaalisten prosessien tulosta, missä kasvit muuntavat nestemäisen piidioksidin (SiO_2) kiinteiksi kasvikkiviksi, eli mikrofossiileiksi jotka myöhemmin varastoituvat maaperään (Piperno 2006). Pii on yksi runsaimmista alkuaineista maaperässä ja se on jatkuvassa kasvien ylläpitämässä ravinnekierrossa (Reyerson ym. 2016). Fytoliitteja esiintyy melkein kaikissa kasveissa ja niiden muoto on riippuvainen tuottajakasvista ja sen solurakenteista. Yleisiä fytoliittityyppejä ovat esimerkiksi bulliformit, bilobaatit, satulat ja rondelit (kuva 1)(ks. liite fytoliittien nimistä).



Kuva 1. Fytoliittityyppejä. Vasemmalta: Bulliform, rondeli, satula, rondeli ja hius.

Kuva: Toiviainen 2019 (Huan ym. (2015), Piperno (2006) ja tutkimusaineistoani mukailten)

Fytoliittien tuotto on yleistä niin yksi- kuin kaksisirkkaisillakin kasveilla ja erityisesti tunnettuja fytoliittien tuottamisesta ovat: Poaceae & Graminae (heinäkasvit), Cyperaceae (sarakasvit), Ulmaceae (jalavakasvit), Fabaceae & Leguminosae (hernekasvit), Cucurbitaceae (kurkkukasvit) ja Asteraceae & Compositae (Asterikasvit)(Rapp & Mulholland 1992).

Kasvikivistä käytetään yleisimmin termiä fytoliitti, joka tulee kreikan kielisestä sanoista *phyton* (suom. kasvi) ja *lithos* (suom. kivi), tämän lisäksi fytoliiteille on vakiintunut useita

eri termejä englanninkielisessä kirjallisuudessa (Bozarth 1993). Näitä termejä ovat muun muassa: *phytolith*, *plant opal*, *silica body*, *silica cell* ja *biogenic opal* (Piperno 1988). Suomenkielisessä kirjallisuudessa termit fytoliitti ja kasvikiivi ovat kaikkein yleisimpiä, mutta tutkimuksessani tulen käyttämään selkeyden takia vain termiä fytoliitti.

Fytoliiteista käytetään usein virheellisesti termiä kasvikiivikristallit, joka ei pidä paikkaansa, koska suurin osa fytoliiteista on syntynyt amorfisesta piidioksidista ja vedestä (Piperno 2006). Piiperäisten fytoliittien lisäksi kalsiumfytoliitit ovat myös mahdollisia, mutta niiden maaperässäsäilyvyys ei ole yhtä hyvä kuin piipitoisilla fytoliiteilla ja tämän takia ne eivät ole yhtä käytettyjä tutkimuksessa. Fytoliittien kemiallinen koostumus voi vaihdella yksilöittäin, mutta tavallisesti ne sisältävät piin lisäksi 1-5% muita alkuaineita kuten alumiinia (Al), rautaa (Fe), mangaania (Mn), magnesiumia (Mg), fosforia (P), kuparia (Cu) ja orgaanista hiiltä (C). Piin määrä kasveissa voi vaihdella eri kasvien välillä suuresti välillä 0,1-10% kasvin kuivapainosta (Ma ym. 2001). Kasvit jakautuvat piinottokykynsä mukaan aktiivisiin, passiivisiin ja piitä hylkiviin. Heinäkasvit ovat tunnetuin aktiivinen piinkerääjäryhmä ja alueilla joilla heinäkasvit ovat yleisiä, on myös maaperän amorfisen piin määrä suuri (Struyf ym. 2009).

Fytoliitit ovat yleisimmin väriltään läpinäkyviä tai läpikuultavia, mutta niitä esiintyy myös vaalean ruskeina ja läpikuultavina (Piperno 2006). Maaperästä löytyneet fytoliitit voivat olla väriltään myös tummia, mutta vastoin aikaisempaa käsitystä se ei ole niiden alkuperäinen väri (Piperno 1988). Tumma väritys johtuu metsäpaloista, jotka ovat tummentaneet fytoliitin alkuperäistä väriä. Koska metsäpalot ovat tunnistettavissa maaperän fytoliiteista, voidaan palaneiden fytoliittien tuottajakasvin perusteella tunnistaa metsäpalojen ajankohtia ja jopa palojen vuodenaikaisuutta (Kealhofer & Penny 1998).

Koska fytoliitit ovat epäorgaanista ainesta ne kestävät hyvin ajankulun ja muuttuvat ympäristöolot (Piperno 2006). Ne ovat kestävin maanpäällisten kasvien tuottamista fossiileista, mutta niiden säilymiseen vaikuttaa paljon alueen ympäristötekijät ja fytoliitin tyyppi. Maaperän kemiallinen koostumus voi nopeuttaa tai hidastaa fytoliittien kulumista, esimerkiksi korkea pH pitoisuus voi edesauttaa fytoliittien tuhoutumista ja

rauta sekä alumiini taas lisäävät niiden säilyvyyttä (Piperno 1988). Rauta ja alumiini ovat runsaita trooppisessa ympäristössä, joka voi lisätä tutkimuksessani käsiteltävien *Guadua*-bambujen fytoliittien säilymistä.

Fytoliitin tyyppi ja koko ovat maaperän koostumuksen lisäksi tärkeä tekijä fytoliitin säilymisen kannalta. Kasvin hiussoluihin syntyneet suikeat fytoliitit ja epidermiksen levymäiset pitkät fytoliitit kestävät hyvin kulutusta (Piperno 2006). Epidermiksen levymäiset fytoliitti muodostavat suuria fytoliittirykelmiä nivoutuessaan yhteen kuin palapelin palat, jolloin ne pystyvät kestämaan paremmin kulutusta ja muuttuvia ympäristöoloja. Wilding ja Dreens (1973) totesivat artikkelissaan lehdistä usein löytyneiden stoomafytoliittien löytyvän vain harvoin maaperästä, mikä kertoo niiden olevan herkempiä eroosion vaikutukselle. Avoimilla ja eroosioherkillä alueilla fytoliitit kuluvat enemmän kuin suojaisissa ympäristöissä, esim. järvisedimenteissä. Järvisedimentteihin kerääntyneet fytoliitit voivat säilyä tuhansia vuosia täysin muuntumattomina.

Fytoliittien koko ja muoto voivat olla riippuvaisia vallitsevista ympäristöoloista (Liu ym. 2016). Tämä kuitenkin vaihtelee eri fytoliittityyppien välillä. Esimerkiksi lyhyet solufytoliitit ovat geneettisesti stabiileita eikä niiden koko ja muoto vaihtelee ympäristöolojen muuttuessa, mutta suikeat hiusfytyliitit ja stoomafytoliitit ovat herkempiä ympäristöolojen muutoksille. Tämän ominaisuuden avulla ne toimivat hyvin paleoympäristön uudelleen luomisessa, koska niiden koko ja muoto voivat kertoa esimerkiksi aikakautensa sadannasta. Tästä esimerkkinä toimii Liun ym. (2016) tutkimus, jossa hius- ja stoomafytoliittien leveyden ja korkeuden suhde vaihtui huomattavasti eri ympäristöoloista kerätyissä näytteissä.

2.2. Miksi kasvit tuottavat fytoliitteja?

Kasveista on löydettävissä yli 60 eri alkuainetta ja ne jakautuvat kolmeen luokkaan: välttämättömiin, hyödyllisiin ja myrkyllisiin (Ma ym. 2001). Piin ei ole todettu olevan kasveille välttämättömyys, mutta se kuuluu kasvia hyödyttävien alkuaineiden luokkaan. Piin tuomat positiiviset vaikutukset vaihtelevat kasvityypeittäin ja osa kasveista, kuten

riisi, ohra ja vehnä, hyötyvät siitä toisia enemmän. Fytoliittien tuomat hyödyt tulevat esille erityisesti kasvien ollessa stressin vaikutuksen alla ja koska kasvit ovat jatkuvassa altistuksessa stressille on pii erittäin tärkeää kasveille kasvun kannalta. Tämän takia piin käyttö lannoitteissa on yleistynyt 1990-luvun loppupuolella erityisesti riisiviljelmillä, jossa se on nostanut viljelmien tuottoa merkitsevästi (Ma ym. 1990). Pii on erityisen tärkeää riisin röyhylle jyvien kypsymisen aikaan, jolloin runsas pii vähentää transpiraatiota riisinjyvää suojaavan pintakelmun (engl.cuticle) kautta, josta haihdunta olisi muuten runsasta stoomien puutteen takia.

Fytoliitit auttavat tukemaan kasvin rakennetta ja Piperno (2006) mainitsee teoksessaan, että riisinlehdet, jotka sisältävät paljon fytoliitteja, kasvavat tukevammin kohti taivasta mahdollistaen näin alalehtienkin valonsaannin. Tämä lisää kasvin kokonaisfotosynteesin määrää. Fytoliittien kasvia vahvistava vaikutus auttaa kasvia myös kestäämään transpiraatiosta johtuvan paineen laskun, joka muuten voisi johtaa kasvin rakenteiden sortumiseen (lakastumiseen). Fytoliitit toimivat piipitoisuutensa takia myös hyvänä suojana myrkyiltä, koska pii vähentää esimerkiksi alumiinin ja muiden raskasmetallien haittavaikutuksia. Fytoliitteja esiintyy myös kasvien siemenissä ja hedelmissä, jolloin niiden tarkoitus on yhdessä ligniinin kanssa vahvistaa siemenen tai hedelmän kuorta ja estää näin hyönteisten tai sienien pääsy kuoren läpi.

Fytoliittien lehtiä kovettava ominaisuus toimii myös hyvänä suojana selkärangaisia ja selkärangattomia herbivoreja vastaan, koska vahvistamalla kasvia se lisää herbivorien hampaisiin kohdistuvaa kulutusta (Hunt ym. 2008). Piipitoisuudella on todettu olevan yhteys lehtien karkeuteen, jolloin suuri fytoliittimäärä tekee lehdistä kuin hiekkapaperia herbivorien hampaille. Kasvit, jotka kasvavat alueella jossa piitä on hyvin saatavilla muodostavat karkeampia lehtiä kuin kasvit jotka eivät saa tarpeeksi piitä (Massey ym. 2007). Herbivorien, kuten jyrsijöiden (*rodentia*) ja jäniseläinten (*lagomorpha*), hampaiden on todettu kasvaneen evoluution seurauksena niiden lisääntyneen heinäkasvien syönnin jälkeen, jolloin fytoliitit ovat lisänneet niiden hampaisiin kohdistunutta kulutusta (Janis & Fortelius 1988). Runsa fytoliittien määrä voi vaikuttaa myös herbivorien ruuansulatukseen (Massey ym. 2006). Fytoliitit hidastavat lehtien

sulamista ja estävät ravinteiden imeytymistä, mikä tekee fytoliittipitoisista kasveista huonoa ravintoa ja voi vaikuttaa eläinten kasvuun ja lisääntymiseen negatiivisesti.

2.3. Fytoliittitutkimus

Mulholland & Rapp (1992) kertovat teoksessaan, että ensimmäisen kerran fytoliitit on mainittu jo 1830-luvulla tehdyissä saksalaisten kasvitieteilijöiden tutkimuksissa. 1800-luvulla fytoliittitutkimusta tehtiin pääosin eurooppalaisten tutkijoiden johdolla ja yksi alan luojusta oli Charles Darwinin ystävänä tunnettu Christian Ehrenberg (Powers 2013). Ehrenberg aloitti uransa lääketieteen parissa, mutta siirtyi nopeasti valmistuttuaan luonnontieteiden pariin. Hän oli yksi ensimmäisistä tutkijoista, joka tunnisti eri fytoliittiluokkia ja keräsi fytoliittinäytteitä ympäri maailmaa. Tämän takia häntä pidetäänkin fytoliittitutkimuksen pioneerina. Hän käytti tutkimuksessaan näytteitä useilta eri tutkimusmatkoiltaan sekä Darwinilta saamiaan maaperänäytteitä. Darwin kiinnostui maaperänäytteistä ja niiden sisältämistä mikrofossiileista kuuluisan MHS Beaglella tehdyn tutkimusmatkansa aikana. Tämän jälkeen hän otti yhteyttä Ehrenbergiin, joka oli jo saavuttanut mainetta tutkimuksillaan mikro-organismien parissa.

Fytoliittitutkimus jäi kuitenkin tieteessä muiden alojen varjoon 1900-luvun loppupuolelle asti, jolloin tekniikan kehitys mahdollisti vihdoin fytoliittien perusteellisemmän analyysin. Nykyinen fytoliittitutkimus on saanut alkunsa 1900-luvun loppupuolella ja sen vaikuttavimpina uranuurtajina voidaan pitää amerikkalaisia tutkijoita Dolores R. Piperno ja Deborah M. Pearsallia. Piperno ja Pearsall ovat molemmat julkaisseet fytoliittitutkimuksen käsikirjoja ja toimivat alan johtavien tutkimushankkeiden vetäjinä. Molempien tutkijoiden työ fytoliittien parissa on lisännyt fytoliittitietokantojen kasvua merkittävästi ja auttanut luomaan kansainvälistä yhteneväisyyttä fytoliittien tunnistuksessa ja nimeämisessä.

Fytoliittitutkimusta on käytetty pitkään arkeobotaniikan tutkimuksessa ja se on alan yksi monipuolisimmista tutkimusmenetelmistä. Tutkimusmenetelmien ja tekniikan kehittyttyä paremmaksi on fytoliitteja alettu soveltaa myös arkeologian ulkopuolella

(Jones & Vaughn 1992). Arkeologiassa fytoliitteja on käytetty pääosin asutushistoriallisten kysymysten tutkimisessa ja sen etuna on fytoliittien *in situ* -esiintyminen. *In situ* -esiintymisellä tarkoitetaan fytoliittien varastoitumista lähelle tuottajakasviaan, jolloin esimerkiksi arkeologisista kaivauksista löytyneiden fytoliittien avulla voidaan päätellä juuri sen alueen aikaisempaa kasvillisuutta. Fytoliitteja on löydetty vanhoista ruukuista ja astioista, jolloin niiden avulla voidaan päätellä esineiden käyttöaikakauden ravintokasveja tai esimerkiksi mihin esineitä on käytetty. Siitepöly on vastaavissa tutkimuksissa epäluotettavampi lähde sen nopean kulkeutumisen takia. Fytoliittitutkimusta voidaan käyttää hyvin myös esimerkiksi biologian, maantieteen, geologian ja kriminologian tieteenaloilla.

Koska fytoliitit sisältävät piin lisäksi muitakin alkuaineita, ovat niiden avulla tehtävät analyysit monipuolisia. Fytoliiteissa olevaa alumiinia voidaan esimerkiksi hyödyntää paleoympäristöjen mallintamisessa (Carnelli ym. 2002). Tutkimuksessaan Carnelli ym. esittivät teorian siitä, että puuvartiset kasvit tuottavat alumiinipitoisempia fytoliitteja kuin heinäkasvit. Tämän tiedon avulla voidaan tutkia missä maakerroksessa fytoliittien alumiinipitoisuus muuttuu ja sen avulla päätellä milloin kasvillisuus on muuttunut esimerkiksi metsästä heinikoksi. Fytoliitit mahdollistavat myös metsäpaloalueiden sekä esimerkiksi tulisijojen tutkimisen, koska ne kestävät kuumuutta jopa 1000 asteeseen (Vuorela 1999).

Suomessa fytoliittitutkimusta on tehty vasta melko vähän, mutta esimerkiksi geologi Irmeli Vuorela on ollut aktiivisesti tuomassa alaa Suomeen 1990-luvulla. Ensimmäisen kerran fytoliitteja on Suomessa alettu tutkia 1970-luvulla, mutta ensimmäinen julkaisu on tehty vasta 1990-luvun alussa (Vuorela 1990). Vuorela on tehnyt fytoliittitutkimuksia siitepölyanalyysien ohessa, esimerkiksi Helsingin Vanhankaupungin kaivauksissa (1994) ja Turussa Rettingin tontin tutkimuksissa (1996). Vanhankaupungin tutkimuksessa fytoliitteja käytettiin alueen kaivon kerrostuneen aineksen analysointiin, siitepöly ja radiohiiliajoituksen rinnalla. Tutkimuksessa saatiin selville lisää tietoa alueen muuttuneesta ympäristöstä ja jopa ihmisten ruokailutottumuksista.

2.4 Fytoliittien nimeäminen ja tunnistus

Twiss ym. (1969) olivat ensimmäiset tutkijat, jotka tekivät karkean kolmiluokkaisen kategorisoinnin lyhyille solufytoliiteille Yhdysvaltojen suurilla tasangoilla tehdyn tutkimuksen perusteella. Luokat olivat bilobaatti/risti, satula ja pyöreä/ovaali/suorakaide. Eri kasvien alaheimot ja tribukset sisältävät eri muotoisia fytoliitteja, joiden perusteella löytyneen fytoliitin tuottajakasvi voidaan tunnistaa. Bilobaatit ovat tyypillisimpiä Panicoideae alaheimon kasveille, satulat Chloridoideae ja pyöreät fytoliitit Pooideae. Tämän jaon lisäksi löytyy myös poikkeuksia kuten, että pyöreitä fytoliitteja esiintyy Pooideaeen lisäksi myös Panicoideae alaheimon kasveissa.

Twiss ym. (1969) tutkimuksen jälkeen heinäkasvien fytoliittien taksonomia on kehittynyt paljon ja uusia päällekkäisyyksiä sekä uusia fytoliittimuotoja on löytynyt. Tämän takia fytoliittien luokittelua on pyritty tehostamaan ja eri tutkijoiden aineistoja yhdistämään. Fytoliittiaineiston yhdenmukaistamiseksi on luotu myös nimeämisohteet (*International Code for Phytolith Nomenclature ICPN*), jotka auttavat tutkijoita vertailemaan aineistoja keskenään (Madella ym. 2005). ICPN:n fytoliittien nimeämismenetelmä koostuu kolmesta fytoliittia kuvailevasta kategoriasta: muoto, tekstuuri ja anatominen alkuperä. Tämän lisäksi luokitteluun kuuluu *nomina conservanda* -ryhmä, joka ei noudata tätä kolmijakoista nimeämistä, mutta nimet ovat niin vakiintuneita tutkijoiden keskuudessa, etteivät ne aiheuta sekaannusta. Tähän ryhmään kuuluvat risti-, dendritic-, papillae-, rondeli- ja satulafytoliitit. Ymmärtääkseen fytoliittityyppien esiintymistä eri kasveissa on myös hyvä tuntee kasvien fylogeniikkaa, eli lajien polveutumishistoriaa. Usein saman tyyppisiä fytoliitteja tuottavilla kasveilla on yhteinen alkuperä.

Fytoliittien nimeämisohteiden lisäksi tutkijat ovat kehittäneet fytoliittitietokantoja, kuten PhytCore DB (www.phytcore.org), University of Missourin tietokanta (www.phytolith.missouri.edu) ja International Phytolith Society:n tietokanta (www.phytoliths.org/phytoliths-database). PhytCore DB on yksi kattavimmista tietokannoista ja sen laajentuminen ei ole vain perustajaryhmän käsissä. Phytcore DB:tä on mahdollista päivittää käyttäjien toimesta ja tutkijat voivat tehdä sen avulla yhteistyötä uusien fytoliittityyppien identifioinnissa ja jakamisessa (Albert ym. 2016).

Vakiintunut tietokanta tutkijoiden keskuudessa auttaa yhtenäistämään fytoiliittien nimeämistä ja estää sekaannuksia, jotka voivat syntyä eri nimellä samaan fytoiliittityyppiin viitattaessa. PhytCore DB on kaikille käyttäjille ilmainen, mutta laajemmat oikeudet saadaksesen tulee sivulle rekisteröityä ja kuvien lisäämisoikeudet kuuluvat vain tutkimusryhmille. PhytCore DB on perustettu vuonna 2010 University of Barcelonan tutkimusryhmän toimesta. Hanke on Barcelonan yliopiston, Katalonian hallituksen ja Espanjan tiede- ja opetusministeriön rahoittama.

2.5. Radiohiiliajoitus ja PhytC

Fytoiliitit sisältävät pienen määrän hiiltä, jota kutsutaan usein phytC tai phytOC nimellä (Santos & Alexandre 2017). Tämä hiili on havaittavissa fytoiliitteja tarkasteltaessa mustana pisteenä fytoiliitin sisällä. Erityisesti bilobaateissa ja satuloissa nämä hiilipisteet ovat yleisiä. Tämä hiili on peräisin joko fotosynteesin kautta saadusta hiilestä tai kasviin maaperän kautta sitoutuneesta hiilestä (Reyerson ym. 2016). Tutkimukset tästä aiheesta ovat kaksijakoisia ja osa tutkijoista uskoo näiden kahden systeemin yhteisvaikutukseen. PhytC:n avulla voidaan tehdä radiohiiliajoituksia fytoiliiteille, mikä voi toimia apuna, kun halutaan selvittää fytoiliittien syntyäikää tai ajoitettaessa arkeologisia esineitä (Corbineau ym. 2013).

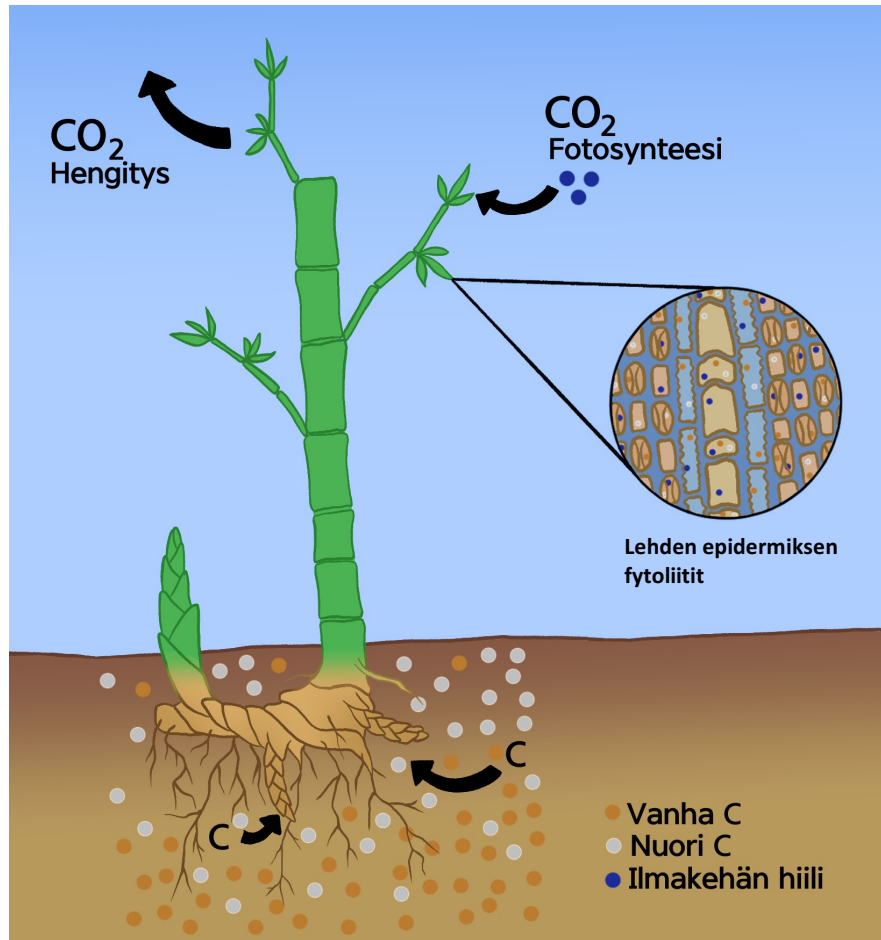
Yksisirkkaiset viljelykasvit, kuten bambu, riisi ja maissi, tuottavat paljon fytoiliitteja ja näin ollen varastoivat suuria määriä hiiltä itseensä. Tutkijat, jotka uskovat fytoiliittien hiilen tulevan ilmakehästä, ovat esittäneet teorian jonka mukaan fytoiliitit voivat auttaa meitä hillitsemään ilmastonmuutosta sitomalla hiiltä ja varastoimalla sen lopulta maaperään (Song ym. 2013). Arvioiden mukaan fytoiliittien kautta varastoituva hiili kattaa 15-37 % kaikesta maaperään varastoituneesta hiilestä (Parr & Sullivan 2005). Koska fytoiliitit ovat aikaa ja kulutusta kestäviä säilyy niiden sitoma hiili pitkään maaperässä, ennen kuin se vapautuu takaisin kiertoon (Reyerson ym. 2016). Näin ollen lisäämällä näitä runsaasti fytoiliitteja tuottavia kasveja, voisimme vaikuttaa ilmakehän CO₂ pitoisuuksiin. Song ym. (2013) kirjoittavat artikkelissaan, kuinka viljelykasvien maaperään sitoma phytC määrä on kolminkertaistunut 1960-luvun jälkeen. Tämä suuri kasvu on viljelymaiden pinta-alan lisääntymisen ja phytC pitoisten kasvien viljelyn tulosta.

Tulevaisuudessa phytC määrää voitaisiin nostaa keskittymällä yhä enemmän sitä paljon sisältävien lajikkeiden viljelyyn sekä viljelytekniikoita ja lannoitusta parantamalla. Erityisesti riisin, vehnän ja maissin viljely lisäävät hiilen sitoutumista maaperään, jonka vuoksi niitä viljelevissä Aasian, Euroopan ja Pohjois-Amerikan maissa maaperään sitoutuneen phytC:n määrä on suuri. Lannoittamalla maata piipitoisilla, orgaanisilla tai kivipölylannoitteilla voidaan maaperän vapaan piin määrää lisätä. Tämä lisääntynyt vapaa pii kulkeutuu veden mukana kasveihin ja näin edistää fytoliittien runsaampaa syntymistä. Lisääntynyt fytoliittien määrä tarkoittaa lisääntynyttä phytC määrää.

Fytoliittien toimivuutta hiilinieluinä on kuitenkin myös kritisoitu ja osa tutkimuksista jopa kumoaa tämän teorian kokonaan. Reyerson ym. (2016) artikkeli toteaa fytoliittien hiilen olevan peräisin maaperästä ja he myös kyseenalaistivat hiilen säilyvyyden fytoliitin sisällä. Tutkimuksessaan he huomasivat hiilen katoavan osittain jo fytoliittipitoisten maaperänäytteiden käsittelyn ensimmäisessä vaiheessa, joka viittaisi siihen, että hiili voisi kadota fytoliitin sisältä myös luonnossa.

Fytoliittitutkimuksesta saadut tulokset phytC hiilestä ovat vaihtelevia ja jo pelkästään hiilen kokonaismäärä fytoliiteissa on kiistelty, tulokset vaihtelevat 0,1-20 % välillä fytoliitin kuivapainosta (Corbineau ym. 2013). PhytC:n määrä trooppisissa metsissä on Song ym. 2017 mukaan 2,36 % ja he pitävät käyttämäänsä mikroaaltojen avulla tehtyä erotusmenetelmää luotettavampana kuin perinteistä kemiallista uuttoa. Mikroaaltomenetelmän avulla fytoliittien sisältämän hiilen määrä nousee huomattavasti korkeammaksi kuin perinteisten menetelmien avulla saadut tulokset ovat aikaisemmin antaneet olettaa.

Uusimmat teoriat fytoliittien sisältämästä hiilestä pyrkivät yhdistämään nämä kaksi teoriasuuntausta ja ottavat huomioon ilmakehästä tulevan nuoren hiilen sekä maaperästä veden mukana sitoutuvan hiilen mahdolliset erot iässä. Maaperän pinnalta sitoutuva hiili on yleisesti nuorempaa kuin syvemmältä sitoutuva (kuva 2).



Kuva 2. Fytoliitteihin kulkeutuu hiiltä fotosynteesin kautta sekä maaperästä juurien kautta.
 Kuva: Toiviainen 2019 (Reyerson ym. 2016 mukaillen)

2.6. Fytoliitit bambuissa

Heinäkasvit, eli Poaceae, ovat yksi runsaimmista ja monipuolisimmista kasviheimoista (Ghosh ym. 2011). Ne ovat tunnettuja niille omaleimaisista fytoliiteistaan, jotka tekevät heinäkasveista muita kasveja paremman välineen paleoympäristöjen mallinnuksessa. Bambut, eli Bambusoideae, ovat heinäkasvien alaheimo ja siihen kuuluu yhteensä 1575 eri lajia, jotka jakautuvat yhteen puuvartisten ja viiteen ruhovartisten tribukseen (Ohrnberger 1999). Bambufytoliitteja on tunnistettu jo pitkään eri tutkimuksissa ja niitä on todettu esiintyneen jo myöhäisen pleistoseenikauden ja aikaisen holoseenikauden aikaisessa luonnossa (Piperno & Pearsall 1998). Kuitenkin bambuissa esiintyviä fytoliitteja on alettu tutkia tarkemmin vasta 1990-luvun jälkeen ja eri lajeille, tribuksille ja alaheimoilta on löydetty diagnostisia fytoliittityyppejä (Piperno 2006). Piperno listaa teoksessaan bambuille omaleimaisimmiksi fytoliittityypeiksi sortuneet satulat, satulat

epätasaisilla reunoilla, bulliformit ja viisi eri ristityypin fytoliittia joilla on yksilölliset kolmiulotteiset muodot. Tämän lisäksi bambuista löytyy myös epäsäännöllisen muotoisia fytoliitteja ja ei vain bambuille tyypillisiä fytoliitteja. Fytoliiteille on tyypillistä toispuolisuus, jonka vuoksi kasvista erotettuna fytoliittien muoto muuttuu. Bambuissa tällaisia toispuolisia fytoliitteja ovat erityisesti bulliformfytoliitit, joita esiintyy kahta eri tyyppiä, mutta niiden todellinen muoto tulee esille vain lehdestä erotettuna.

Bambuilla esiintyvät satulafytoliitit ovat usein pitkiä yli 15 μm , joka auttaa erottamaan ne muissa kasveissa esiintyvistä fytoliiteista (Piperno & Pearsall 1998). Jos maaperänäytteissä olevat satulat ovat yli 80% pitkiä voidaan bambujen todeta olevan alueen vallitseva kasvillisuus. Jos näitä bambuista tulleita satulafytoliitteja on paljon, tulisi näytteistä löytyä muitakin bambuille tyypillisiä fytoliittimuotoja. Koska fytoliittien muotojen esiintymisessä esiintyy aina päällekkäisyyksiä lajien välillä, on aineiston tarkastelu prosentuaalisesti tärkeää (Piperno 2006).

Eri bambulajit tuottavat erilaisia fytoliitteja, joiden avulla tunnistus saman suvun lajin välillä on mahdollista (Piperno & Pearsall 1998). Umemuran ja Takenakan (2014) tutkimuksessa selvisi, että fytoliittien määrä bambunlehdissä vaihtelee myös kausittain ja kasvin osan mukaan. Tutkimuksessa selvisi myös, että suurin osa bambujen fytoliiteista kerääntyy kasvin lehtiin ja niissä fytoliittien määrä on jatkuvassa kasvussa koko lehden elinajan. Bambun varressa ja oksissa fytoliittien määrä pysyy vakiona ja akkumulaatio on vähäisempää. Tämä johtuu siitä, että lehdet ovat kasvin transpiraation päätepieste jonne ylimääräinen pii veden mukana kulkeutuu ja lopulta kovettuu fytoliiteiksi.

2.7. Fytoliitit maaperässä

Fytoliiteilla on tapana kerrostua maaperään lähelle tuottajakasviaan *in situ* -esiintymiksi ja ne varastoituvat eniten humus- ja rikastumiskerrokseen (Dimbleby 1978). Kuitenkin fytoliitteja voi löytää melkein mistä vain ja ne voivat kulkeutua pitkiäkin matkoja, meri- tai ilmavirtojen mukana (Baker 1959). Esimerkiksi Cap Verden edustalta on löydetty suuria fytoliittikerääntymiä, jotka ovat kulkeutuneet alueelle merivirtojen mukana. Myös Guinean lahdella esiintyy kasaantuneita fytoliittiesiintymiä, jotka ovat kulkeutuneet

alueelle hiekka- ja pölymyrskyjen mukana Ghanasta ja muista Afrikan maista (Melia 1984). Fytoliittien mikroskooppinen koko mahdollistaa niiden kulkeutumisen melkein minne vain ja fytoliitteja onkin löydetty jopa hanavedestä (Baker 1959). Metsäpalot voivat myös olla syy fytoliittien kaukokulkeutumiseen (Vuorela 1996). Vertikaaliset ilmavirtaukset nostavat fytoliitteja mukanaan ylempiin ilmakerrokseen, joista ne kulkeutuvat tuulten mukana hiilihiukkasten tavoin.

Kasvin maanalaisen biomassan määrä on riippuvainen kasvin maanalaisten osien koosta ja juurakojen laajuudesta. Maanalainen biomassa vaikuttaa maaperän fytoliittien kokonaismäärään ja juurakot ovatkin kasvin maanpäällisten osien ohella suuri fytoliittien lähde (Umemura & Takenaka 2014). Kasvien maanalaisten ja päällisten osien suhde on tärkeä tekijä fytoliittien kokonaismäärää tutkittaessa. Bambuilla tämä suhdeluku on 0,76-1,58 ja tämä suuri maanalainen biomassa tuottaa huomattavan määrän fytoliitteja. Maanalaisen fytoliittituotannon lisäksi fytoliitit päätyvät maaperään karikkeen maatumisen kautta. Karikkeen mukana fytoliitteja päätyy maaperään heinäkasvien valtaamalla alueella 16-850 kg/ha/v, havumetsissä 4-43 kg/ha/v ja lehtimetsissä 10-240 kg/ha/v.

Fytoliitit ovat stabiileita maaperän pH:n ollessa 3,5-9,8 välillä, jolloin niiden liukeneminen on vähäistä (Wang ym. 1992). Fytoliitteja löytyy eniten maanpinnalta, mutta niiden vertikaalinen liikkuminen on myös mahdollista (Fishkis ym. 2010). Fishkis ym. tutkivat artikkelissaan fytoliittien kulkeutumista maaperän eri kerrokseen ja pyrkivät kumoamaan aikaisempaa oletusta jonka mukaan fytoliitit eivät kulkeutuisi veden, eliöiden tai muiden voimien tahosta maaperän eri kerrosten välillä. Tutkimuksessaan he värjäivät fytoliitit uv-valossa hohtavalla värillä ja seurasivat niiden liikkumista maaperässä yhden vuoden ajan. Tuloksissaan he totesivat fytoliittien kulkeutuvan keskimäärin 4 cm syvemmälle yhdessä vuodessa. Fytoliittien kulkeutumiseen vaikuttaa eniten niiden koko ja maannoksen laatu. Pienet fytoliitit kulkeutuvat suuria enemmän, mutta ne ovat samalla myös herkempiä maaperän pH -arvon vaihteluille.

3. Tutkimusalue

3.1 Amazonin alue

Amazonin alue sijaitsee Etelä-Amerikan pohjoisosassa Brasilian ja sen naapurimaiden alueella (kuva 3). Alue on Amazon-joen valuma-aluetta ja alueen merkitys on maapallon biodiversiteetin kannalta suuri. Pelkästään läntisen Amazonin lajirikkaimmilla alueilla voi hehtaarin kokoisella alueella sijaita jopa yli 300 eri puulajia (Baldeck ym. 2015). Amazonin



Kuva 3. Amazonin sademetsäalueen sijainti.

alueen ympäristöolot ovat olleet viime vuosikymmenien aikana suurten muutoksien alla deforestaation ja räjähdysmäisen väestönkasvun takia (Davidson ym. 2012).

Amazonin sademetsien alueella yleisin maannostyyppi on happipitoinen latosoli (engl. *Oxisoil*), jonka tunnuspiirteisiin kuuluu raudan aiheuttama ruosteenpunainen väri (Blouet & Blouet 2006). Voimakkaiden sateiden takia maaperän huuhtoutuminen on jatkuvaa, mikä johtaa maannoksen ravintoköyhyyteen. Kasvillisuuden puuttuessa maannos menettää nopeasti elinvoimansa ja muuttuu viljelykelvottomaksi. Latosolia on mahdollista hyödyntää viljelykäytössä, jos lannoitus ja suojakasvillisuus ovat kunnossa. Alueella yleisin viljelytekniikka on kaskiviljely, jolloin maata lannoitetaan poltetun kasvillisuuden tuhalla. Kaskiviljely altistaa aluetta kuitenkin eroosiolle ja metsänpolto voi tuhota suuriakin alueita riistäytyessään hallinnasta. Nykyaikaiset viljelytekniikat ja kulkuyhteyksien parantuminen ovat kuitenkin mahdollistaneet Amazonin alueen hyödyntämisen kansainväliseen vientiin tähtäävään viljelyyn ja maatalouteen (Orme ym. 2007). Brasilia on kuitenkin saanut runsaasti kansainvälistä kritiikkiä alueen tehotuotannon nopeasta kasvusta erityisesti syksyn 2019 metsäpalokohun jälkeen.

Amazonin sademetsä on pinnanmuodoiltaan mäkistä, mutta suurimmaksi osaksi alavaa tulvatasankoa, jota vuoristot rajaavat. Alueen vaihtelevat ympäristöolot ovat mahdollistaneet useiden toisistaan poikkeavien eliöympäristöjen synnyn ja jokaiselle alueelle on syntynyt oma omaleimainen lajidynamiikkansa. Amazonin sademetsää rajaa lännessä Andien vuoristot, idässä Brasilian ylängöt ja pohjoisessa Guyanan ylängöt (Blouet & Blouet 2006). Näiden vuoristojen ja ylänköjen väliin jää Amazonin allas, jota Amazon-joki halkoo.

Amazonin altaan vuotuiset sademäärät nousevat jopa yli 3100 millimetriin vuodessa. Amazonin alueen sademäärät vaihtelevat runsaasti vuodenaikojen mukaan, yleisesti kuivakausi on syksystä talveen ja sadekausiksi on kevästä kesään. Amazonin itäisellä alueella vallitsee Köppenin ilmastoluokituksen mukaan trooppinen monsuuni-ilmastotyyppi (Am) ja läntisellä puolella esiintyy trooppista sademetsää (Af) (Alvares ym. 2013). Alueen kasvillisuus on runsasta ja ilmastoluokkien rajojen mukaan vaihtuvaa. Lähellä päiväntasaajaa Köppenin ilmastoluokissa Af, Am ja Aw kuukausittainen keskilämpötila nousee yli 18 asteeseen, jolloin kasvukausi voi jatkua vuoden ympäri (Blouet & Blouet 2006). Trooppisten sademetsien alueilla kasvukauden pituuden ja runsaiden sateiden vuoksi kasvit kasvavat nopeasti. Siirryttäessä päiväntasaajalta pohjoiseen tai etelään tulee sateisen kauden ohelle kuivakausi. Sademetsät vaihtuvat kuivakauden pituuden lisääntyessä savanneihin (Köppen Aw). Näillä alueilla ympäristöolot ovat vaihtelevat ja alueen kasvillisuuden ja eläinten on täytynyt sopeutua pitkiin kuiviin kausiin ja seuraavan sateen odotukseen.

Perinteisessä tutkimuksessa Amazonin nykyistä luonnontilaa on pidetty koskemattomana ja esimerkkinä siitä, kuinka biodiversiteetti on korkeimmillaan ihmisen vaikutuksen puuttuessa (Erickson 2008, Piperno ym. 2015). Tätä käsitystä on kuitenkin nykyisessä tutkimuksessa pyritty kumoamaan ja joidenkin tulosten valossa Amazonin nykyinen korkea biodiversiteetin tila saattaa olla osin alkuperäiskansojen tekemän ympäristön muokkauksen tulosta (Balee & Erickson 2006). Alueen alkuperäiskansojen uskotaan muokanneen ympäristöään uskottua enemmän muun muassa kaskiviljelyn, asutuksen ja muun infrastruktuurin kautta. Koska bambujen on todettu hyötyvän ihmisen ja luonnon aiheuttamasta häirinnästä voivat Länsi-Amazonin alueella olevat

laajat *Guadua*-bambujen hallitsevat metsäalueet olla merkki alueella vallinneesta ihmistoiminnasta esikolumbiaanisten intiaanikulttuurien aikana (Smith & Nelson 2010).

3.2 Perun kaakkoisosien bambumetsät

Perun kaakkoisosissa ja Brasilian Acressa sijaitseva yli 180 000 km² alue on luokiteltu bambujen hallitsemaksi metsäksi (Carvalho ym. 2013). Tämä alue koostuu metsälaikuista jotka ovat joko heterogeenisiä bambuttomia metsälaikkuja tai bambujen muodostamia metsäalueita, joissa yksi dominoiva laji on vallannut kaiken kasvualan (Griscom ym. 2007). Alueella dominoi Etelä-Amerikalle endeemiset *Guadua*-suvun bambulajit ja erityisen runsaana esiintyy *Guadua sarcocarpa* Pilg ja *Guadua weberbaueri* Londoño & Peterson.

Bambumetsille on tyypillistä synkronoitunut elämänkaari, jossa saman kohortin edustajat muodostavat jopa 10km² alueita, joissa kaikki alueen kasvit kukkivat ja kuolevat samanaikaisesti (Griscom ym. 2003). Bambuille tyypillinen elämänkaari on noin 30 vuotta ja kuolemansa jälkeen bambujen siemenet varastoituvat maaperään jonka jälkeen uusilla versoilla kestää noin 15 vuotta saavuttaa jälleen dominoiva asemansa muusta kasvillisuudesta (Nelson ym. 2001, Smith & Nelson 2010).

Bambumetsien määrän runsastumiselle on muodostunut tukijoiden keskuudessa useita teorioita, mutta tarkka syy ei ole vielä paljastunut. Suuret metsäpalot voivat olla yksi bambujen leviämisen kannalta tärkeä tekijä (Nelson 1994). Metsäpalot ovat usein linkittyneitä voimakkaaseen El Niño -ilmiöön, joka lisää jo valmiiksi kuivien alueiden paloherkkyyttä ja yhdessä bambujen massakuoleman kanssa voivat palaneet alueet olla erittäin suuria. El Niño on voimistunut viime vuosien aikana ilmastonmuutoksen ja ihmistoiminnan vaikutuksen takia ja saa aikaan yhä useammin tavallista voimakkaampia metsäpaloja (Silva ym. 2018).

Bambualueiden rajojen muodot ovat usein pyörityneitä, eivätkä raja-alueet seuraa ympäristön topografian piirteitä (Smith & Nelson 2010). Pyörityneet reunat voivat olla merkki metsäpaloista, joissa tulirintama etenee metsässä pyöreitä aukkoja

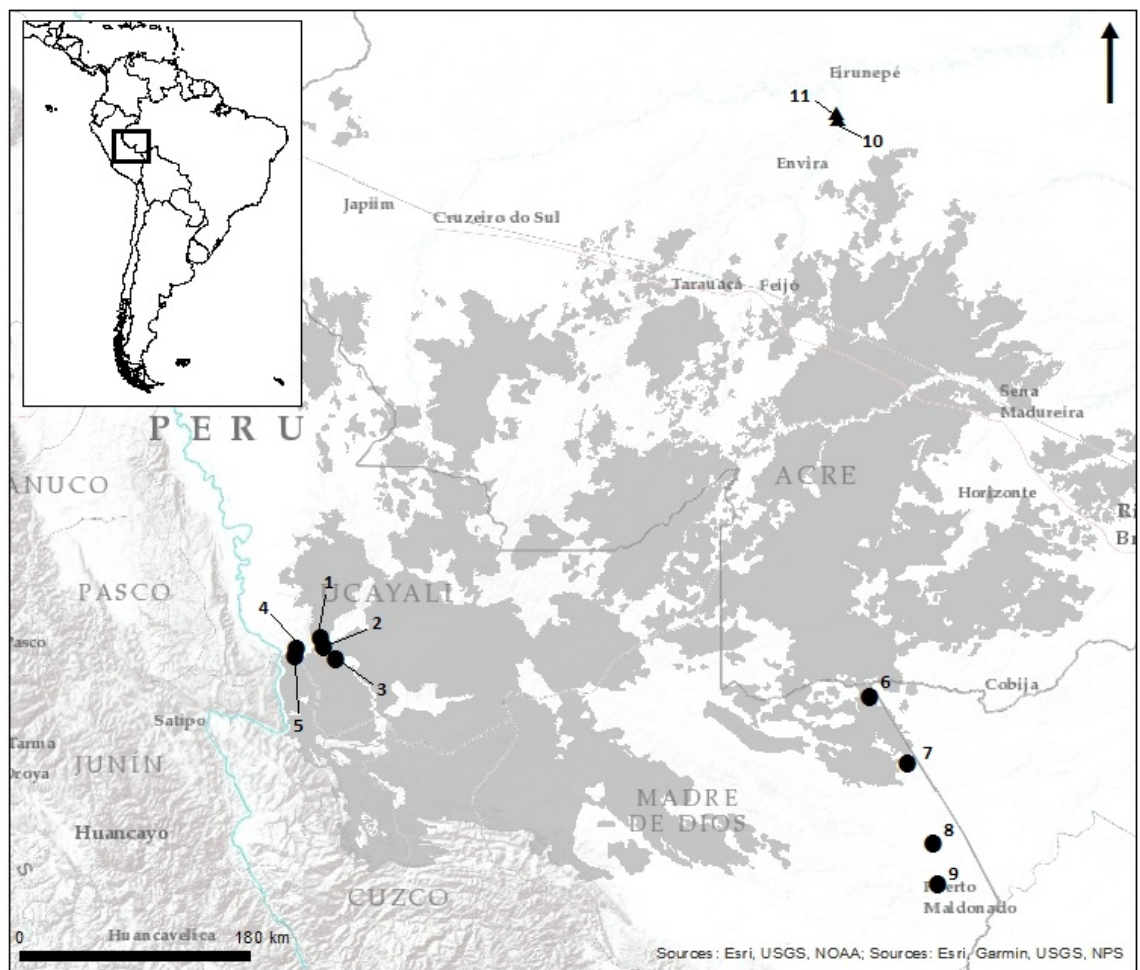
kasvillisuuteen polttaen ja näiden palojen jälkeen ympäristöolot ovat suosiollisia bambumetsien syntyyn sekä leviämiseen (Smith & Nelson 2010). Bambuilla on kilpailuetu muihin kasveihin nähden ympäristössä tapahtuneen häiriötilan (metsäpalo) jälkeen. Bambujen kilpailuetu johtuu niiden nopeasta kasvusta ja niiden harjoittamasta allelopatiasta, eli kilpailijoiden häirinnästä (Carvalho ym. 2013).

Bambut valtaavat kasvualaa myös allelopatian avulla, eli vaurioittamalla ympäröivää kasvillisuutta (Nelson ym. 2001). Bambun korret painavat ja sortavat ympäröivää kasvillisuutta, jolloin ne kuolevat. Näin bambut saavat vahvistettua dominoivaa asemaansa muihin kasveihin verrattuna. Erityisesti palmut kärsivät bambujen aiheuttamasta kilpailusta ja useat palmulajit ovatkin kadonneet kokonaan bambujen valtaamilta alueilta (Carvalho ym. 2013). Bambun korret elävät vain noin kaksi vuotta aiheuttaen kuollessaan aukkoja metsän latvustoon, mutta koska bambut ovat klooneja tuottavat ne koko ajan lisää korsiä kuolleiden tilalle kukintoonsa asti, jonka jälkeen koko klooni kuolee.

4. Tutkimusaineisto ja -menetelmät

4.1 Näytteiden keräysalueet

Tutkimusalueeni sijoittuu Perun kaakkoisosissa sijaitsevalle bambumetsäalueelle ja sen lähialueille sekä kaksi vertailunäytettä on kerätty Brasilian trooppiselta sademetsäalueelta (Kuva 4). Tutkimusta varten bambunlehtiä kerättiin viidestä eri linjasta ja maaperänäytteitä 17:sta eri näytepisteestä. Maaperänäytteitä kerättiin myös selkeiden bambualueiden ulkopuolelta, jotta erilaisten metsätyyppien vertailu olisi mahdollista.



■ Bambualue ● Perun näytepiste ▲ Brasilian näytepiste

Kuva 4. Tutkimusalue ja näytteiden keräyspisteet. 1. Ojeayo, 2. San Francisco 3. Cumarillo, 4. Nueva Esperanza, 5. San Carlos, 6. Primavera, 7. Tahuamanu, 8. Mavila, 9. Sudadero, 10. J132, 11. J127. Kuvan harmaa alue kertoo bambumetsien sijainnin.

Perun näytteet on kerätty kahdesta eri keskittymästä, neljä aluetta Perun itäiseltä rajalta aivan Bolivian vierestä ja viisi aluetta näistä noin 300km länteen päin (taulukko 1). Neljä

aluetta olivat pinnanmuodoiltaan tasaisia alankomaisia ympäristöjä: San Francisco 1 ja 2, Sudadero ja Nueva Esperanza. Nämä alankomaiset alueet olivat bambuttomia alueita. Myös Mavila oli alueena melkein bambutonta ja vain muutamia bambuyksilöitä oli havaittavissa. Osalla alueista esiintyi hakkuita ja muita metsään kohdistuvia häiriötekijöitä. Nämä toiminnot aiheuttavat metsän tilan muutosta ja voivat muuttaa alueen kasvillisuutta.

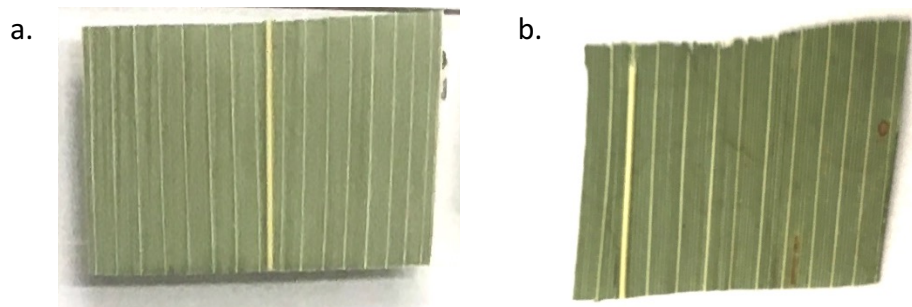
Taulukko 1. Näytealueet

Näyte	Sijainti	Kasvillisuus		Alueen ominaispiirteitä
		<i>Guadua sarcocarpa</i>	<i>Guadua weberbauer</i>	
Ojeayo	Peru, Ucayali	X	-	Alueella esiintyy metsään kohdistuvaa häiriötä ja osa ympäröivästä maa-alasta on viljeltyä. Lähellä Inuya -jokea.
Cumarillo	Peru, Ucayali	X	-	Vanhaa metsää lähellä Villa Maria de Cumarillo kylää. Alue on pinnanmuodoiltaan mäkistä ja korkeusvaihtelut voivat olla jopa 50 metriä. Alueen bambuilla esiintyy kukintoja, hedelmiä ja 20cm korkeita versoja. Vanhoja ja uusia varsia sekaisin.
Sudadero	Peru, Madre de Dios	-	-	Pinnanmuodoltaan tasainen ja maannos hiekkainen tai jopa sorainen.
Mavila	Peru, Madre de Dios	-	(X)	Metsään kohdistuu paljon häiriötekijöitä ja se sijaitsee tien varrella. Vain vähän bambuja.
Primavera	Peru, Madre de Dios	X	-	Metsän läpi kulkee opetuskäyttöön tarkoitettu luontopolku ja metsä on häirittyä.
San Francisco 1	Peru, Ucayali	-	-	Valikoivasti hakattua metsää lähellä (2km) San Franciscon kylää. Alue pinnanmuodoiltaan tasaista ja maaperä vetistä ja hiekkapitoista.
San Francisco 2	Peru, Ucayali	-	-	Valikoivasti hakattua metsää lähellä (1,5km) San Franciscon kylää. Alue pinnanmuodoiltaan tasaista ja maaperä vetistä ja hiekkapitoista.
Tahuamanu	Peru, Madre de Dios	-	X	Lähellä hakkuita ja alueen läpi kulkee tie, jota käytetään hakatuiden puiden kuljetuksessa.
San Carlos	Peru, Ucayali	X	-	Vanha ihmistoiminnan alainen metsä mäkisellä alueella.
Nueva Esperanza	Peru, Ucayali	-	-	Alueella ihmistoimintaa. Pinnanmuodoiltaan tasaista. Maannos hiekkaista.
J127	Brasilia	-	-	Trooppinen sademetsä
J132	Brasilia	-	-	Trooppinen sademetsä

4.1. Lehtinäytteet

Tutkimuksessa käytettävät bambunlehtinäytteet ovat Risto Kalliolan, Kalle Ruokolaisen ja Ari Linnan Perusta ja Brasiliasta vuonna 2017 keräämiä. Lehtinäytteitä kerättiin yhteensä 148 kappaletta viideltä eri linjalta: Primavera (33 kpl), Cumarillo (33 kpl), Tahuamanu (33 kpl), San Carlos (27 kpl) ja Ojeayo (22 kpl). Linjat ovat valittu selkeiltä bambualueilta ja näytteet on kerätty tasaisin välein, kuitenkin ympäristön tuomat haasteet huomioiden.

Erotin lehtinäytteistä fytoliitit kuivauuton avulla. Ennen näytteiden polttamista leikkasin lehdistä tasakokoisia noin 1cm pitkiä paloja (kuva 5). Näytteet olivat leveydeltään joko koko lehden levyisiä tai keskisuonesta ulkoreunaan, riippuen lehden koosta. Näin sain tutkimukseeni mukaan mahdollisimman laajasti lehden eri osien fytoliitteja.



Kuva 5. Lehtinäytteet, kokonainen (a) ja puolikas (b). Paksuin vaalea pystyraita on keskisuoni.

Tein kerrallaan 10-15 näytettä ja asetin jokaisen lehden kahden näytelasin väliin. Pistin näytelasit huoneenlämpöiseen uuniin ja nostin uunin lämpötilaa vähitellen, aina 50 astetta 10 minuutin välein, kunnes uunin lämpötila nousi 600 asteeseen. Tämän jälkeen sammutin uunin ja annoin näytteiden olla jäähtyvässä uunissa yön yli. Uunin lämpötilan tasainen nosto ja jäähtytys ennen uunin avaamista ovat tärkeitä, etteivät näytteet pala liian nopeasti, näytelasit hajoa tai fytoliitit liiku pois alkuperäisiltä paikoiltaan. Näytteiden poltto valittiin menetelmäksi, jotta fytoliittien sijainnin tarkastelu lehden sisällä olisi mahdollista. Kuivauuton avulla saadaan selville kuinka eri fytoliittityypit sijoittuvat lehden sisällä, sillä uunissa orgaaninen aines palaa niiden ympäriltä ja näytelasien väliin jää jäljelle ainoastaan fytoliittien muodostama lehden malli.

Märkäuutto toimii tutkimusmenetelmänä paremmin, jos fytoliitteja halutaan tutkia kolmiulotteisesti ja saada tarkka kuva niiden morfologiasta kaikista suunnista.

Polton jälkeen poistin näytteistä päällimmäisen lasin ja lisäsin poltetun näytteen päälle Epotek 301 Epoxy -liiman ja peitinlasin. Osassa näytteistä fytoliitteja oli tarttunut myös päällimmäiseen näytelasiin, jolloin tein saman käsittelyn myös tälle lasille. Epoxyn laitton jälkeen kuivasin näytteet lämpölevyllä muutaman tunnin ajan, jonka jälkeen näytteet olivat valmiit mikroskoopilla kuvaamista varten. Kuvasin lehdistä yleiskuvia 10x suurennoksella ja tarkempia lähikuvia vastaan tulevista fytoliittimuodoista.

4.2. Maaperänäytteet

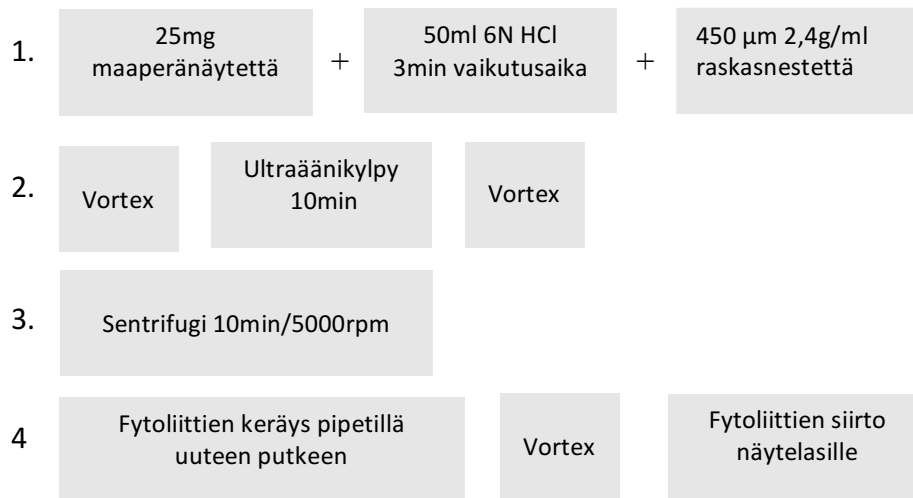
Maaperänäytteet on kerätty kairaamalla kolmesta syvyydestä (5-10cm, 20-30cm ja 50-60cm maanpinnasta) lehtinäytteetkin keränneen työryhmän toimesta (taulukko 2). Näytteitä kerättiin samoilta linjoilta kuin lehtinäytteitäkin ja näiden lisäksi selkeiden bambualueiden ulkopuolelta. Bambualueiden näytteenottoaikat valittiin linjojen alusta, keskivaiheilta ja lopusta, jotta näytteitä tulisi mahdollisimman tasaisesti. Näytteistä pintanäyte (syvyys 1) on kerätty viidakkoveitsellä kaivaen ja kaksi syvemmältä otettua näytettä (syvyys 2 ja 3) on kerätty maanäyttekairan avulla. Näytteen nimen perässä oleva numero kertoo, monennenko lehtinäytteen kohdalta maaperänäyte on otettu.

Taulukko 2. Maaperänäytteiden nimet ja keräyssyvyyydet

Näytteen nimi	Syvyys cm		
	1	2	3
Ojeayo 11	0-10	20-30	50-60
Cumarillo 18	0-10	20-30	-
Sudadero	0-5	20-30	50-60
Mavila	0-5	20-30	50-60
Primavera 18	0-5	20-30	50-60
Primavera 5	0-5	20-30	50-60
San Francisco 1	0-10	20-30	50-60
San Francisco 2	0-10	20-30	50-60
Tahuamanu 8	0-5	20-30	50-60
Tahuamanu 19	0-5	20-30	50-60
Tahuamanu 26	0-5	20-30	50-60
San Carlos 9	0-10	20-30	50-60
San Carlos 14	0-10	20-30	50-60
San Carlos 17	0-10	20-30	50-60
Nueva Esperanza	0-10	20-30	50-60
J127	0-10	-	-
J132	0-10	-	-

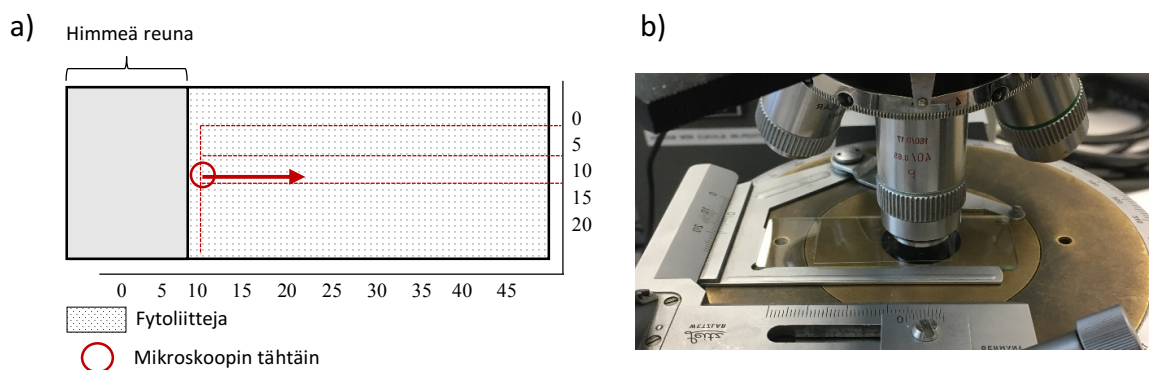
Maaperänäytteistä erotin fytoliitit märkäuuttaen, käyttäen Katz ym. (2010) artikkelissa esitettyä menetelmää (kuva 6). Erotin maaperänäytteestä 25 mg ainesta koeputkiin vaakaa apuna käyttäen. Koeputkiin lisäsin 50ml 6N suolahappoa (HCl) ja annoin sen vaikuttaa muutaman minuutin ajan. Tämän jälkeen lisäsin putkiin 450 µm 2,4 g/ml raskasnestettä (Sodium Polytungstate, SPT) ja sekoitin kaikki aineet keskenään Vortex sekoittimella. Sekoitettut putket käsitellään tämän jälkeen ultraäänellä 10 minuutin ajan, jonka jälkeen putket sekoitetaan jälleen Vortexin avulla. Sekoittamisen jälkeen putket sentrifugoidaan 10 minuutin ajan 5000 rpm vauhdilla, jolloin maa-aines kasautuu koeputkien pohjalle ja fytoliittipitoinen neste jää aineksen pinnalle. Tämä neste

poistetaan pipetin avulla uuteen koeputkeen, joka sekoitetaan vielä kerran Vortexin avulla ja 50 μm tätä nestettä pipetoidaan näytelasille ja peitetään peitinlasilla.



Kuva 6. Menetelmäkuvaus fytoliittien erotukseen maaperänäytteistä.

Näistä näytteistä laskin mikroskoopin avulla 100 ensimmäistä vastaantulevaa fytoliittia. Laskenta suoritettiin systemaattisesti edeten ja mikroskoopin asetukset olivat samat jokaisen näytteen kanssa, jotta saatiin aikaan vertailukelpoista kvantitatiivista aineistoa. Fytoliittilaskennan linja alkaa aina näytelasin himmeästä reunasta ja korkeus- ja leveysuunnassa mitta-asteikko asetetaan kymmenen millimetrin kohdalle (kuva 7). Jos 100 fytoliittia ei tullut täyteen ensimmäiseltä linjalta aloitin uuden linjan ensin 5 millimetrin kohdalta ja kolmannen linjan 15 millimetrin kohdalta. Kuvat otettiin 40x suurennoksella, ja fytoliiteista laskentaan otetaan mukaan kaikki mikroskoopin tähtäimen pystyviivaan osuvat yksilöt. Laskuista jätetään pois fytoliitin kappaleet joista ei ole tunnistettavissa selkeää muotoa.



Kuva 7. Eteneminen mikroskoopilasilla (a) ja valokuva mikroskoopista (b)

Yhteensä otin valokuvia 17 näytealueelta 4 598 kappaletta ja kävin nämä läpi kuva kerrallaan. Kävin kuvat läpi näytealue kerrallaan, käyden aina läpi saman alueen kaikki kuvat kolmesta eri syvyydestä, ennen kuin siirryin seuraavaan alueeseen. Tunnistin jokaisesta kuvasta fytoliitin muodon ja merkitsin sen luomaani excel-taulukkoon. Yhteensä fytolyttityypiluokkia oli 32 ja yksi niistä oli tunnistamattomille tai hajonneille fytoliiteille, joista oli vaikea tunnistaa alkuperäistä muotoa. Apuna fytoliittiluokkien luomiseen käytin kirjallisuutta, PhytCore Database-sivua (www.phytcore.org) ja aikaisempia tutkimuksia yleisistä fytoliittityypeistä (Piperno 2006, Piperno & Pearsall 1998 & Watling ym. 2016). Tuloksia varten karsin osan harvinaisemmista fytoliittityypiluokista pois sekä yhdistin osan luokista yhteisen yläluokan alle.

5. Tulokset

5.1. Bambun lehdissä esiintyvät fytoliitit

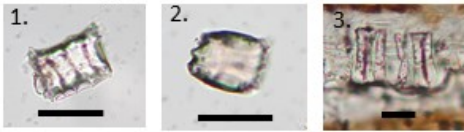
5.1.1 Fytoliittityypit

Lehtinäytteistä löytyi useita eri fytoliittityyppejä, mutta yleisimmiksi nousivat bulliformit, satulat, hiukset, pitkät fytoliitit, rondelit, ristit ja stoomat (kuva 8). Aineistossa erityisesti eri kokoiset satulafytoliitit olivat runsaita ja ne esiintyivät tasaisesti kaikissa näytteissä.

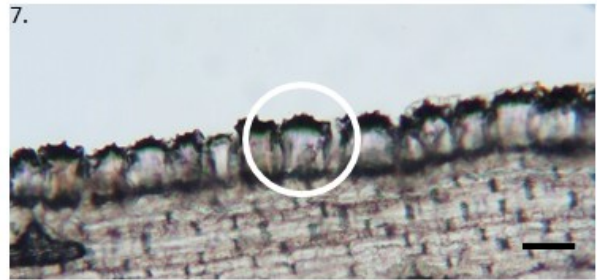
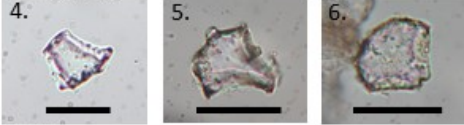
A. Bulliform

Mittapalkki = 50µm

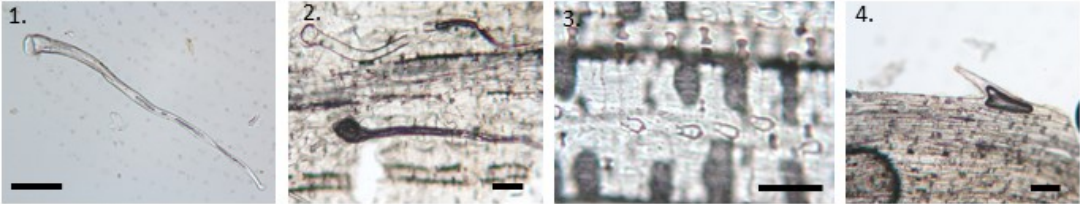
- Parallelepipedal



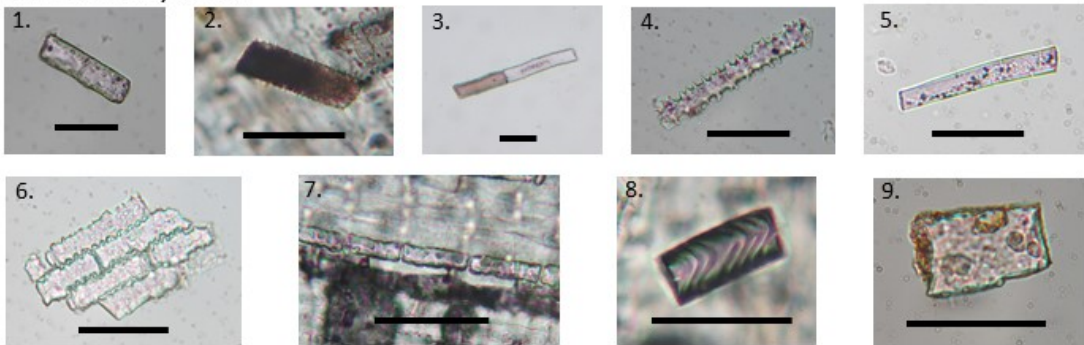
- Flabellate



B. Hius

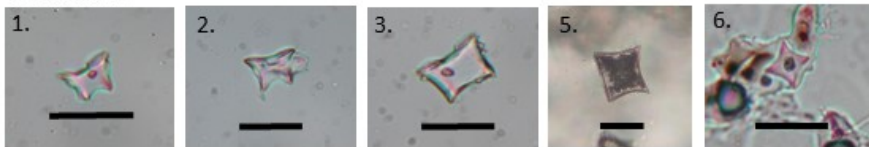


C. Pitkäsolufytoliitit



D. Rondeli

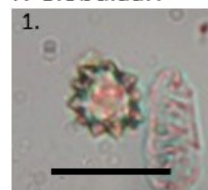
Mittapalkki = 20µm



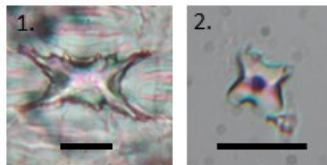
E. Satula



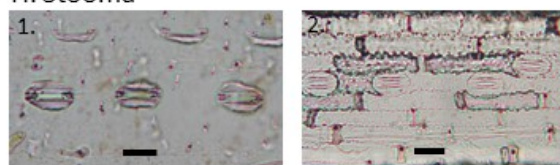
F. Globulaari



G. Risti



H. Stooma



A. Bulliform Parallelepipedal (1-3 ja 7) ja Flabellate (4-6) B. Hiusfytoliitit. 1 ja 2. Nauhamainen hius ilman segmenttejä (engl. *Threadlike nonsegmented hair*), 3. Terävä sipulimainen (engl. *Acute Bulbosus*), 4. Segmentoitunut piikkihius (engl. *Segmented prickly hair*). C. Pitkäsolufytoliitit. 1,3,5 ja 8. Sileä (engl. *Elongate entire*), 2. Röpelö (engl. *Elongate clavate*), 4 ja 6. Sahalaitainen (engl. *Elongate dentate*), 7 ja 8. Epäsäännöllinen D. Rondeli (engl. *Rondel*) E. Satula (engl. *Saddle*) 2. Satula kahdella hiilipisteellä. F. Globulaari (engl. *Globular*). 1. Globular echinate. G. Risti (engl. *Cross*). H. Stooma (engl. *Stomata*)

Kuva 8. Bambun lehdistä löytyneitä fytoliittityyppejä.

Satulafytoliitteja (engl. *saddle*)(kuva 8, E) esiintyi yleisesti kahta eri kokoa: alle 15 µm ja yli 15µm. Nämä suuret yli 15 µm satulafytoliitit ovat bambuille diagnostisia yhdessä sorteineiden satuloiden (engl. *collapsed saddle*) kanssa. Sorteineita satuloita oli vaikeampi tunnistaa lehtinäytteistä, koska niiden todellinen muoto ei aina tule esille niiden ollessa kiinni lehdessä. Sorteineissa satuloissa fytoliitin toinen pitkä sivu on huomattavasti koverampi kuin toinen, kun taas tavallisessa satulassa sivujen kaarevuus on enemmän symmetriassa. Lehtinäytteiden satulafytoliiteilla esiintyy melkein poikkeuksetta PhytC-hiilipiste. Hiili sijoittuu fytoliitin toiseen pätyyn ja lisäksi osassa näytteissä on havaittavissa kaksi hiilipistettä.

Bulliformfytoliitit (engl. *bulliform*) ovat satuloiden jälkeen yleisin lehtinäytteistä löytynyt fytoliittityyppi. Bulliformit ovat kooltaan satulafytoliitteja huomattavasti suurempia ja tämän vuoksi helposti havaittavissa. Bulliformien koko vaihtelee 30-50 µm välillä. Bulliformit jakautuvat kahteen ryhmään: parallelepipedal- ja flabellatebulliform. Parallelepipedalit (kuva 8, A1-3) ovat laatikkomaisia ja omaavat usein sahalaitaiset reunat. Kuitenkin myös sileät parallelepipedalit ovat mahdollisia. Flabellate (kuva 8, A4-6) malliset fytoliitit ovat viuhkamaisia, toisesta reunasta kapeita ja leviävät viuhkan tavoin toisesta reunasta. Viuhkaa koristaa usein suomumainen kuvio joka muodostaa fytoliitille kruunumaisen reunan (kuva 8, A5). Flabellate fytoliitteihin viitataan kirjallisuudessa usein myös termillä *cuneiform*. Koska käytin lehtinäytteissäni polttotekniikkaa, näkyi suurimmasta osasta bulliformeja vain niiden yläreuna. Ylhäältäpäin katsottaessa parallelepipedal ja flabellate muistuttavat toisiaan ja vain kellahtaneista fytoliiteista voi nähdä kumpi tyyppi on kyseessä. Osa näytteideni bulliformeista oli kellahtaneita ja näin sain kuvattua myös flabellatebulliformien viuhkamaisen rakenteen.

Ulkonäöllisesti vaihtelevin fytoliitiluokka näytteissä on pitkäsolufytoliitit (engl. *elongate* ja *long cell*). Pitkät fytoliitit (kuva 8, C) ovat yläluokka kaikille fytoliiteille, joiden pituus on leveyttä huomattavasti suurempi ja niiden nimi viittaa siihen, että ne syntyvät kasvin pitkiin soluihin. Pitkäsolufytoliitit voivat olla reunoiltaan sileitä (engl. *elongate entire*)(kuva 8, C3), sahalaitaisia (engl. *elongate dentate*)(kuva 8, C4), röpelöisiä (engl. *elongate clavate*)(kuva 8, C2) tai epäsäännöllisiä (kuva 8, C9). Pitkäsolufytoliittien koot

vaihtelevat näytteissäni paljon, pienimpien ollessa 30 µm luokkaa ja suurempien ollessa 200 µm pitkiä.

Hiusfytoliitit (engl. *hair*) ovat myös yleisesti bambun lehdistä esiintyvä fytoliittityyppi. Hiusta tai karvaa muodoltaan muistuttavia fytoliitteja on havaittavissa näytteissäni kolme eri tyyppiä: pitkiä nauhamaisia hiuksia (engl. *threadlike nonsegmented hair*)(kuva 8, B1), lyhyitä ja teräviä sipulimaisia hiuksia (engl. *acute bulbosus*)(kuva 8, B3) ja lehden reunoissa esiintyviä piikkimäisiä hiuksia (engl. *prickle hair*)(kuva 8, B4). Osa hiuksista on segmentoituneita, eli niiden hiusmainen muoto syntyy useasta pienemmästä osasta. Hiusfytoliittien koko vaihtelee fytoliittityypeistä eniten. Suurimmat hiukset ovat jopa 200 µm pitkiä, kun taas pienimmät sipulimaiset fytoliitit ovat yleisesti noin 20 µm pitkiä.

Lehdistä on nähtävissä myös runsaasti rondelfytoliitteja (engl. *rondel*)(kuva 8, D1-3). Rondelit ovat tarkastelukuvakulmasta riippuen joko suorakulmiota muistuttavia tai hatun muotoisia ja ne ovat kooltaan usein satuloihin verrattavissa. Hatun mallisissa fytoliiteissa toinen sivu on soikion mallinen ja hieman kovera. Näytteistä löytyi myös melkein neliskulmaisia rondelaita, joiden keskellä esiintyi runsaasti hiiltä (kuva 8, D5 ja 6). Rondelit sisältävätkin usein satuloiden tavoin phytC-hiilipisteen.

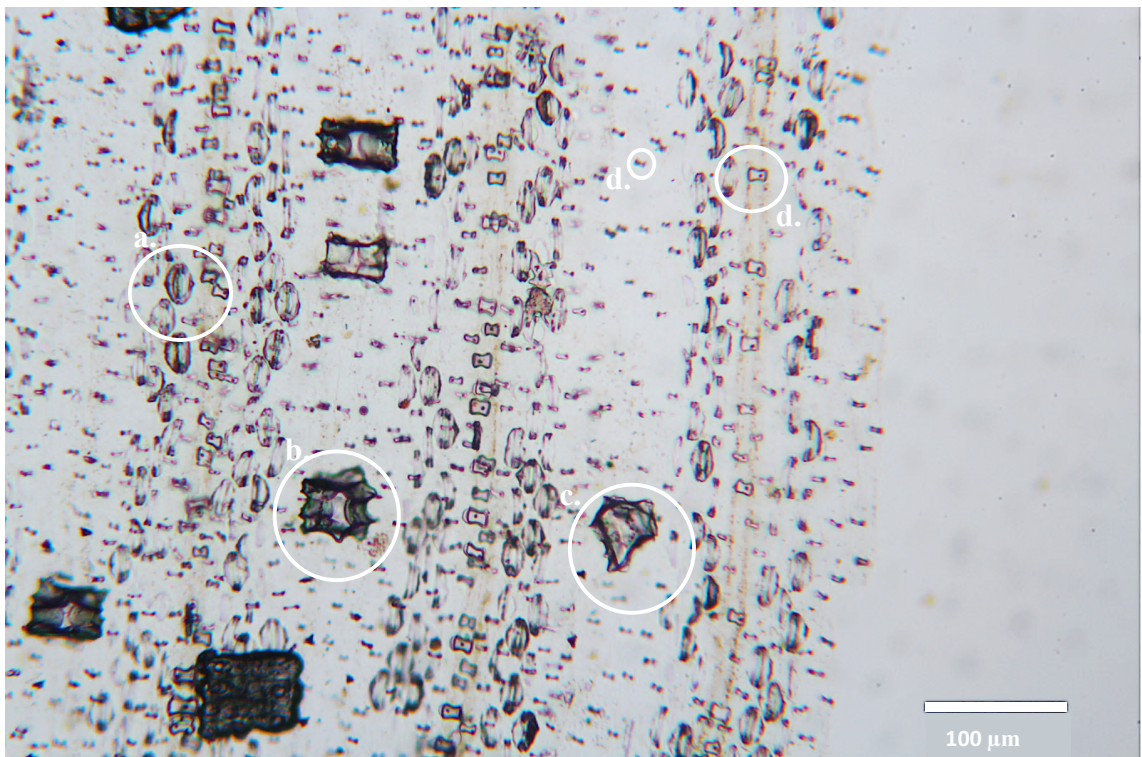
Lehtinäytteissä esiintyi myös stoomafytoliitteja (engl. *stomata*)(kuva 8, H), jotka muodostuvat kasvin stoomaa ympäröivien huulisolujen sisälle kovettuneesta piistä. Stoomia on havaittavissa melkein kaikissa näytteissä, mutta ne eivät aina ole piin täyttämiä. Stoomat muodostavat lehteen simpukkamaisen kuvioinnin ja osassa näytteistä stoomien välisiin soluihin oli syntynyt myös ristimäisiä fytoliitteja (engl. *cross*) (kuva 8, G1).

Globulaarifytoliitit (engl. *globular*)(kuva 8, F) eivät ole bambuille ominaisia ja näytteestä löytynyt globulaari echinate viittaa yleisesti enemmän palmuihin. Tämän fytoliitin kohdalla kyse voi olla kontaminaatiosta, eli fytoliitti on ympäröivän kasvillisuuden tuottama ja kulkeutunut bambunlehden mukana näytteeseen.

5.1.2. Fytoliittien sijoittuminen lehden sisällä

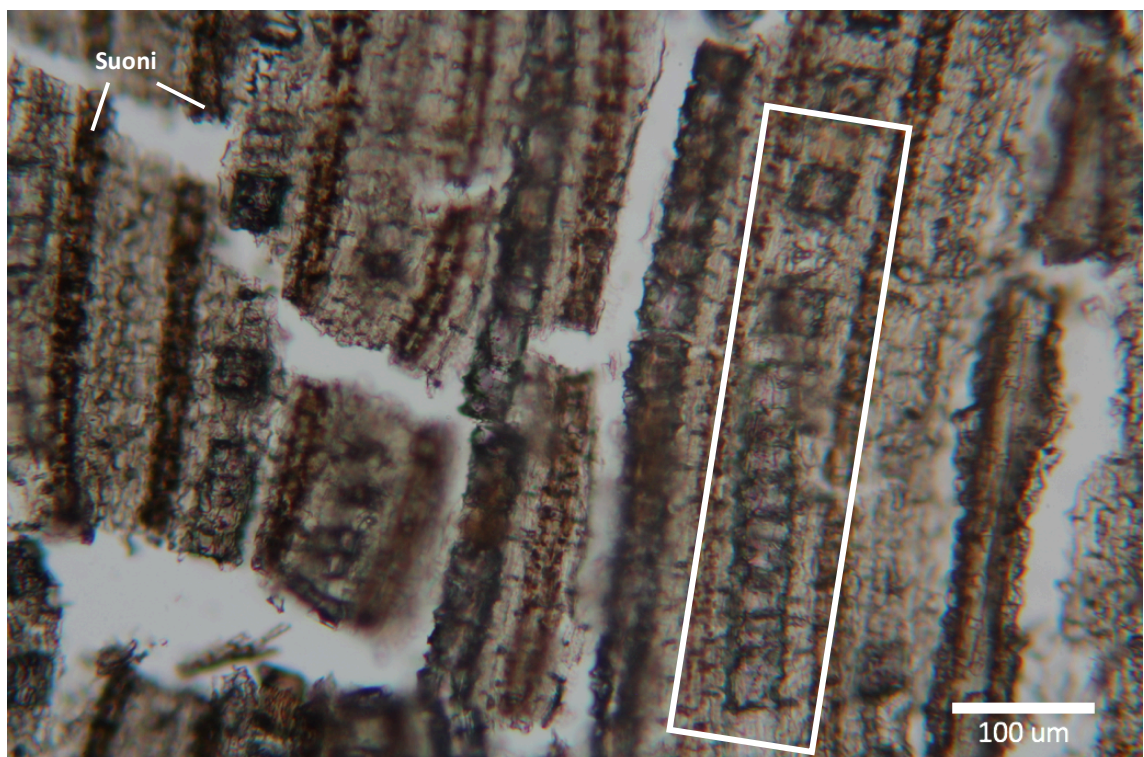
Koska käsittelin lehtinäytteeni polttaen enkä märkäuuttaen on näytteistä mahdollista nähdä fytoliittien sijoittuminen lehden eri osien välillä. Lehtinäytteet jakautuvat karkeasti kahteen eri tyyppiin: vaaleisiin satuloiden hallitsemiin (kuva 9) ja tummiin bulliformien täyttämiin näytteisiin (kuva 10). Satuloita esiintyi tasaisesti kaikissa lehtinäytteissä ja niiden esiintymisessä ei ollut suurta vaihtelua viiden eri linjan välillä.

Satulafytoliitit olivat lehden suonissa suurempikokoisia, kuin suonien väliin jäävillä kaistoilla. Kuvassa yhdeksän näkyy selkeästi lehden suonien ohjaamat suurempien satuloiden kaistat sekä suonien väliin jäävät tyhjemmät alueet, joissa satulat ovat pienikokoisempia. Satulat ovat poikittaisia lyhyisiin soluihin (engl. *short cell*) muodostuneita fytoliitteja ja yhdessä pitkiin soluihin (engl. *long cell*) muodostuneiden fytoliittien kanssa ne muodostavat lehden vuorottelevan rakenteen ja tämän takia satuloita esiintyy näytteessä tasaisin välein. Pitkät solut eivät ole kuvan yhdeksän näytteessä keränneet yhtä paljon piitä kuin satulat, joten niihin syntyneet pitkät fytoliitit erottuvat vain haaleasti verrattuna satuloihin ja bulliformeihin.



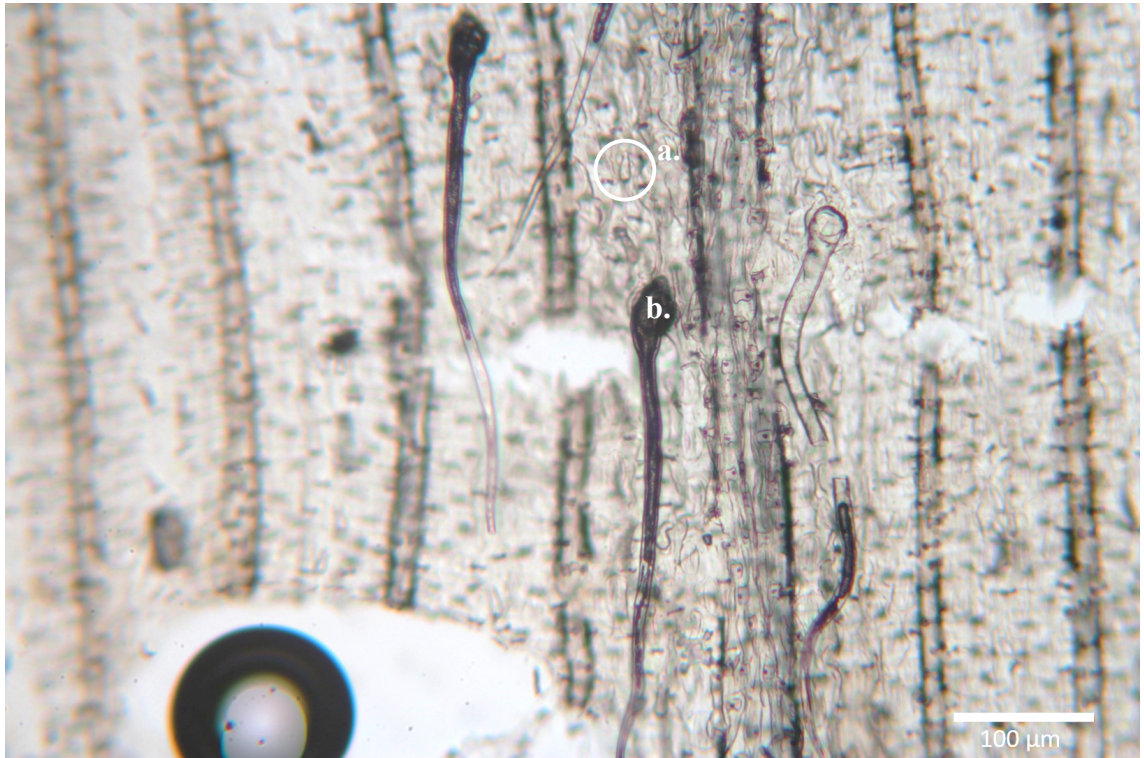
Kuva 9. Fytoliittien asettuminen lehdessä, vaalea näyte. a. Stooma b. Bulliform parallelepipedal c. Bulliform flabellate d. Satula. Näyte: Cumarillo C30x

Satuloiden lisäksi näytteissä esiintyy yleisesti bulliform parallelepipedal ja flabellate - fytoliitteja. Bulliformit toimivat lehden tukirankana ja auttavat lehteä säätelemään fotosynteesille altistuvaa pinta-alaa. Bulliformit kulkevat lehdessä pitkinä lehden ruodin suuntaisina ketjuina (kuva 10) ja runsaasti bulliformeja sisältäneet näytteet olivat yleisilmeeltään huomattavasti tummempia kuin vaaleat satulatyypin näytteet. Tummemmista näytteistä oli haastavampi tunnistaa muita fytoliittityyppejä, suurikokoisten bulliformien jättäessä pienemmät ja vaaleammat alleen. Bulliformketjut sijaitsivat lehden suonien väliin jäävillä kaistoilla.



Kuva 10. Bulliformketjuja, tumma näyte. Näyte: Primavera 2

Hiusfytoliitit esiintyivät satuloiden ja bulliformien lisäksi lehtinäytteissä tasaisesti (kuva 11). Hiusfytoliitteja oli kolme eri tyyppiä, joista suurikokoisimpia ja acute bulbosus - fytoliitteja esiintyi koko lehden pinta-alalla suonien välisillä kaistoilla. Suuren kokonsa vuoksi osa pitkistä hiuksista oli katkennut polttokäsittelyn aikana. Piikkimäiset hiusfytoliitit esiintyvät lehden reunoissa, muodostaen lehdelle piin kovettamia piikkejä (kuva 8, B4).



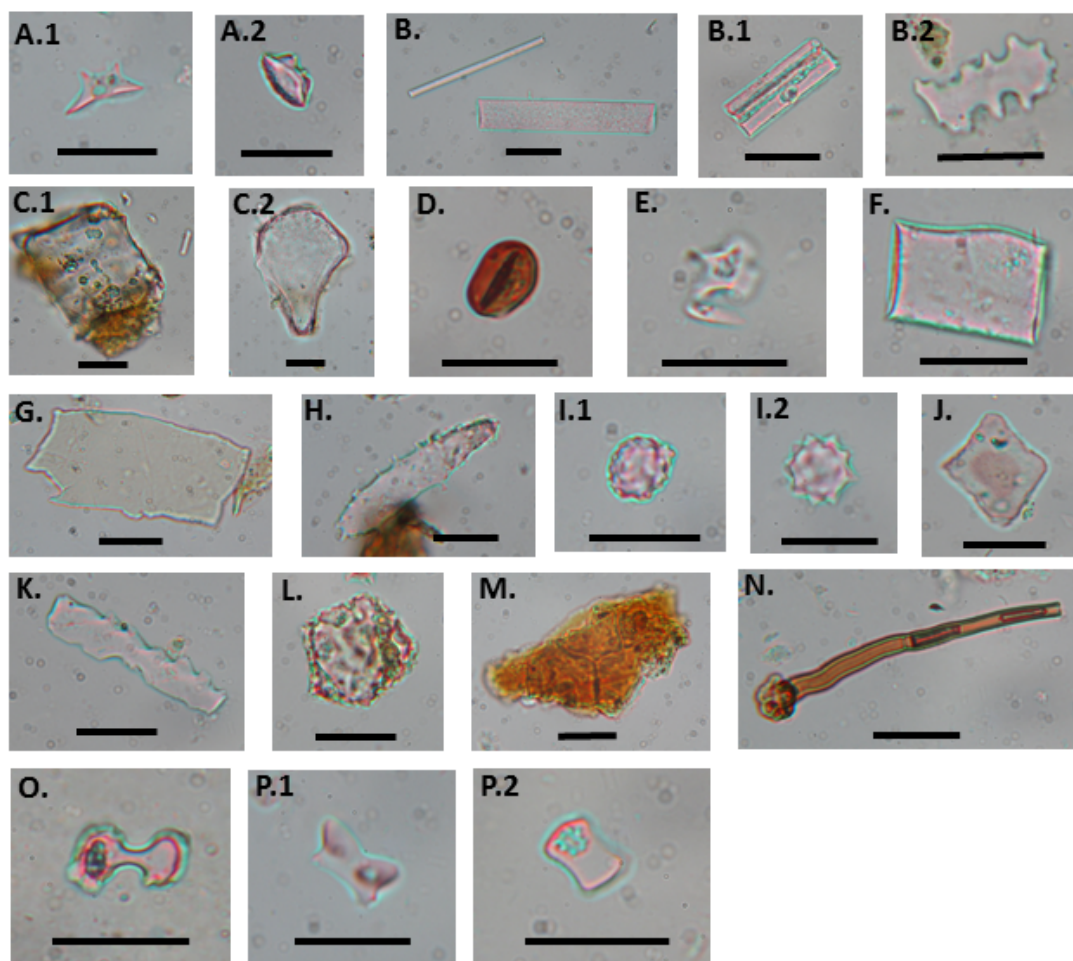
Kuva 11. Hiusfytoliittien sijoittuminen lehdessä. a.) Acute bulbosus b.) Pitkä hius. Näyte: Cumarillo 1

Osa pienemmistä fytoliiteista, kuten rondeleista oli haastavaa löytää lehden sisältä. Suurin osa kuvaamistani pienemmistä fytoliiteista oli huuhtoutunut Epoxyn laittamisen yhteydessä lehdestä näytelasin reunoille. Ristejä ja rondeleita voi syntyä satuloiden tavoin koko lehden alalle sen lyhyisiin soluihin kovettuen, mutta koska ne ovat satuloita harvinaisempia, oli niiden löytäminen lehteen kiinnittyneenä haastavaa.

5.2 Maaperässä esiintyvät fytoliitit

5.2.1 Maaperästä löytyneet fytoliittityypit

Maaperänäytteistä löytyi useita eri fytoliittityyppejä, vaikka näytemääräni olivat pieniä (25mg/näytepiste) ja yhteensä tutkimuksessa kävin läpi 4 598 fytoliittia (kuva 13). Suurin osa fytoliiteista on pallomaisia globulaarifytoliitteja ja näitä aineistosta löytyy yhteensä 1257 kappaletta (kuva 12, I). Nämä pallomaiset fytoliitit jakautuvat kahteen luokkaan röpelöpintaiseen globulaari granulate (engl. globular granulate)(kuva 12, I.1) ja piikkikäisiin globulaari echinate -fytoliitteihin (kuva 12, I.2).



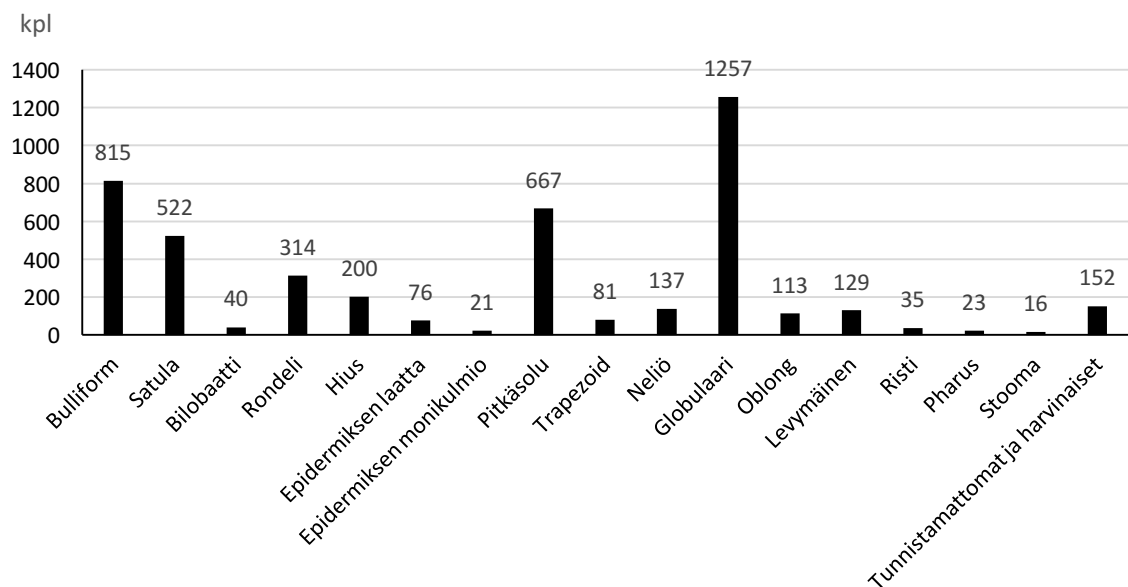
A. Rondeli (engl. *Rondel*), B. Pitkäsolufytoliitti (engl. *Long cell*) C. Bulliform (engl. *Bulliform*), D. Stooma (engl. *Stomata*), E. Risti (engl. *Cross*), F. Pharus (engl. *Pharus body*), G. Levymäinen fytoliitti (engl. *Sheet element*), H. Oblong (engl. *Oblong*), I.1. Globulaari granulate I.2. Globulaari echinate, J. Neliö (engl. *Rectangle*), K. Trapezoid (engl. *Trapezoid*), L. Epidermisen monikulmio (engl. *Epidermal*), M. Epidermisen laatta, N. Hius (engl. *Hair*), O. Bilobaatti (engl. *Bilobate*), P.1. Romahtanut satula (engl. *Collapsed saddle*), P.2. Satula (engl. *Saddle*)

Kuva 12. Maaperänäytteistä löytyneitä fytoliittityyppejä

Toiseksi eniten näytteistä löytyy bulliformfytoletteja (kuva 12, C), joista parallellilepedal muoto on yleisempi. Yhteensä parallellilepedal fytoletteja löytyy 585 kappaletta ja flabellate muotoisia 230 kappaletta. Myös pitkäsolufytoliitit ovat aineistossa runsaita (667 kpl) ja nämä pitkän suorakaiteen muotoiset fytoletteit yhdistetään usein heinäkasveihin. Pitkäsolufytoliitit jakautuvat useampaan alaluokkaan niiden kuvioinnin ja reunojen muodon perusteella. Yleisimpänä alaluokkana aineistossani esiintyy sileäpintaist fytoletteit (kuva 12, B.). Kuten kuvassa 12 näkyy, voivat pitkät fytoletteit olla monen kokoisia, osa erittäin kapeita ja pitkiä ja toiset lähempänä nelikulmioita. Yhteistä näillä eri luokilla on se, että ne muodostuvat kaikki kasvin pitkiin soluihin.

Tutkimuksen kannalta odotetuimpia fytoliitteja olivat bambuille tyypilliset satulafytoliitit, joita löytyy näytteistä yhteensä 522 kappaletta. Satuloita löytyy kaikissa kolmessa satulafytoliittityypissä: pitkiä, lyhyitä ja sorteineita. Pitkät satulafytoliitit ovat näistä kolmesta yleisimpiä (206 kpl), toiseksi yleisimpänä lyhyet satulat (199 kpl) ja kolmantena sorteineet satulat (117 kpl).

Osa maaperästä löytyneistä fytoliiteista on kärsinyt kulutuksesta ja ovat näin ollen tunnistamattomia. Nämä fytoliitit ovat usein epäsäännöllisen muotoisia ja näyttävät siltä, että ne olivat lohjenneet suuremmasta fytoliitista. Vaikka kuvausvaiheessa pyrin välttämään tällaisia fytoliitteja, tuli niitä mukaan tutkimusaineistooni jonkin verran. Yhteensä tunnistamaton-kategoriaan päätyi 107 fytoliittia ja näiden lisäksi kuvassa 13 samaan luokkaan on pistetty harvinaisempia fytoliitteja joita ei esiintynyt aineistossa kuin muutamia tai joiden luokasta en ollut varma.



Kuva 13. Kaikki tutkimusaineiston fytoliitit tyyppin mukaan lajiteltuna, mukana fytoliitit kaikista syvyyksistä ja kaikilta näytealueilta.

5.2.2 Fytoliittien esiintyminen maaperän eri kerroksissa ja näytealueilla

Fytoliittien jakautumisessa maaperän eri kerroksiin esiintyy eroja ja vaihtelevuutta alueittain. Tutkimuksessani on näytteitä kolmesta maaperän eri kerroksesta ja olen jakanut aineiston kolmeen eri alueluokkaan: Perussa sijaitseva bambualue, Perun bambualueen sisältä löytyvät bambuttomat alueet ja Brasiliassa sijaitsevat bambuttomat alueet. Kaksi bambutonta aluetta on erotettu toisistaan, jotta olisi mahdollista nähdä

vaikuttavatko Perun alueisiin niiden vieressä sijaitsevat bambumetsät verrattuna Brasiliasta täysin bambuttomalta alueelta kerättyihin näytteisiin.

Globulaarifytoliitit osoittautuivat aineistossa kaikkein yleisimmiksi ja ne ovat prosentuaalisesti runsaimmat kaikilla alueilla ja kaikissa syvyyksissä, paitsi Perun bambualueen kolmannessa syvyydessä (kuva 14). Tälläkin alueella globulaarit ovat kuitenkin toiseksi yleisin fytoliittityyppi. Perun bambualueilla globulaarien osuus on kaikissa syvyyksissä välillä 19-23 prosenttia, kun taas Perun ja Brasilian bambuttomilla alueilla globulaarien osuus nousee kaikissa syvyyksissä yli 40 prosenttiin.

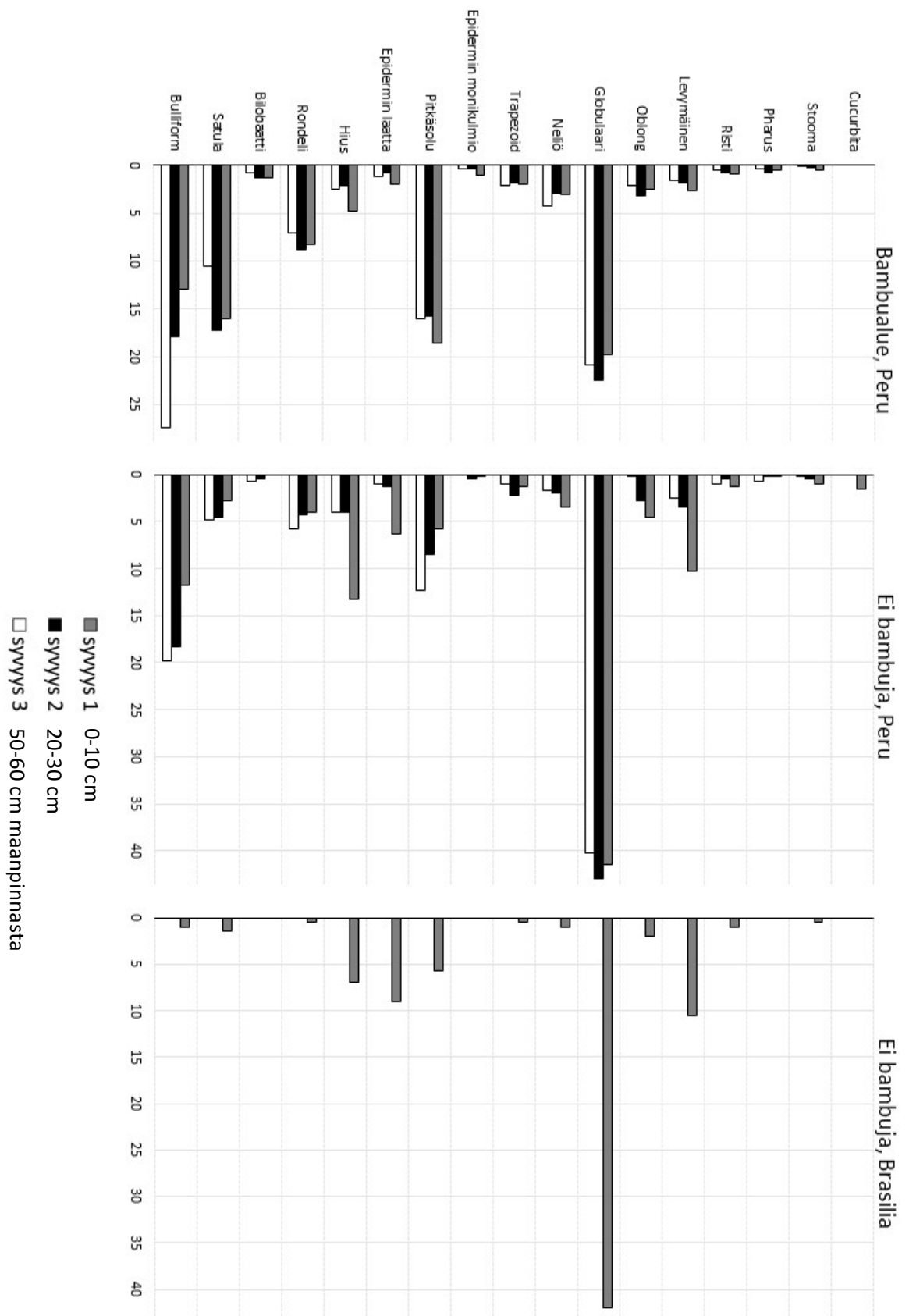
Globulaarien lisäksi Perun näytealueilla bulliformit ovat yleisiä. Ensimmäistä syvyyttä lukuun ottamatta bulliformien määrä on yli 15 prosenttia kaikista fytoliiteista ja ne vaikuttavat rikastuvan syvemmälle mentäessä. Bulliformien määrä onkin korkeimmillaan kolmannessa, eli noin metrin syvyydeltä kerätyssä luokassa. Brasilian näytealueilla bulliformit ovat vähäisiä ja niiden määrä jää alle viiteen prosenttiin kaikista fytoliiteista.

Satulafytoliitit, jotka ovat diagnostisia bambuille, ovat odotusten mukaisesti bambualueella yleisempiä kuin kahdella muulla alueella. Perun bambualueella satulafytoliitteja esiintyy eniten toisessa syvyydessä (20-30 cm maanpinnasta), jossa niiden osuus on 17 prosenttia kaikista näytepisteen fytoliiteista. Perun bambuttomalla alueella satulafytoliitteja oli kaikissa syvyyksissä alle 5 prosenttia ja Brasilian alueella satulafytoliittien määrä jäi vain 1,5 prosenttiin.

Brasilian alueen fytoliittijakauma oli poikkeava Perun alueisiin verrattuna. Satuloiden vähäisen esiintymisen lisäksi muitakin Perussa yleisesti esiintyviä fytoliittityyppejä esiintyy Brasiliassa vain vähän. Globulaarien (42 %) lisäksi vain levymäisten fytoliittien (engl. sheet element) prosentuaalinen määrä nousee yli 10 prosenttiin. Levymäisten fytoliittien määrä on kytkettävissä metsätyyppin muutokseen, sillä Perunkin bambuttomalla alueella niiden määrä oli kolminkertainen verrattuna bambualueeseen. Perun bambualueella levymäisten fytoliittien määrä oli alle 3 prosenttia, ja Perun sekä Brasilian bambuttomalla alueella vastaava luku nousi yli 10 prosenttiin.

Kuvan 14 diagrammista on jätetty pois kaikkein harvinaisimmat ja tunnistamattomat fytoliitit. Perun näytteistä kuvaajan ulkopuolelle on jäänyt vain 5 prosenttia kaikista kuvatuista fytoliiteista, mutta Brasilian kohdalla luku nousi 15 prosenttiin. Näistä Brasilian näytteistä fytoliittien tunnistaminen on vaikeampaa ja kuluneita/rikkoutuneita fytoliitteja on runsaammin kuin Perusta tulleissa näytteissä, mikä johti tämän luokan fytoliittien kolminkertaiseen määrään Peruun verrattuna. Stoomafytoliittien määrä jää kaikilla alueilla vähäiseksi, mikä oli myös odotettua aikaisempien tutkimusten perusteella, koska stoomafytoliitit ovat herkempiä eroosiolle.

Perun bambutomalla alueella mielenkiintoiseksi osoittautuu satulafytoliittien määrän pieni nousu syvemmillä kerätyissä näytteissä. Tämä voi olla merkki siitä, että alueella on aikaisemmin esiintynyt bambumetsää tai että bambualueilta kulkeutuvat satulafytoliitit ovat ajan kuluessa rikastuneet syvemmälle maaperään. Bambumetsille on tyypillistä nopea leviäminen ja massakuolemat, joten alueella vallinnut kasvillisuustyyppi on voinut muuttua ja näin ollen satulafytoliittien esiintyminen syvemmällä maaperässä voisi olla tällaisen ympäristönmuutoksen seurausta. Samalla nykyisen bambualueen satulafytoliittien määrä laskee syvemmälle mentäessä, mikä taas voi viitata siihen, että bambut ovat vallanneet alueen vasta myöhemmin. Tätä teoriaa tukee myös globulaarien määrän nousu syvemmillä otetuissa näytteissä, jolloin on mahdollista, että alueella on esiintynyt puuvartista kasvillisuutta ennen kuin bambut ovat vallanneet alueen itselleen. Myös heinäkasveihin viittaavat pitkät fytoliitit muuttuvat satulafytoliittien kanssa samassa suhteessa bambu- ja bambutomilla alueilla. Bambualueilla näitä fytoliitteja esiintyy runsaiten ensimmäisessä näytesyvyydessä ja niiden määrä laskee kahdessa alemmassa kerroksessa. Vastaavasti taas bambutomalla alueella satulafytoliittien määrä on maanpintaa lähimpänä alhainen ja nousee syvemmillä otetuissa näytteissä.



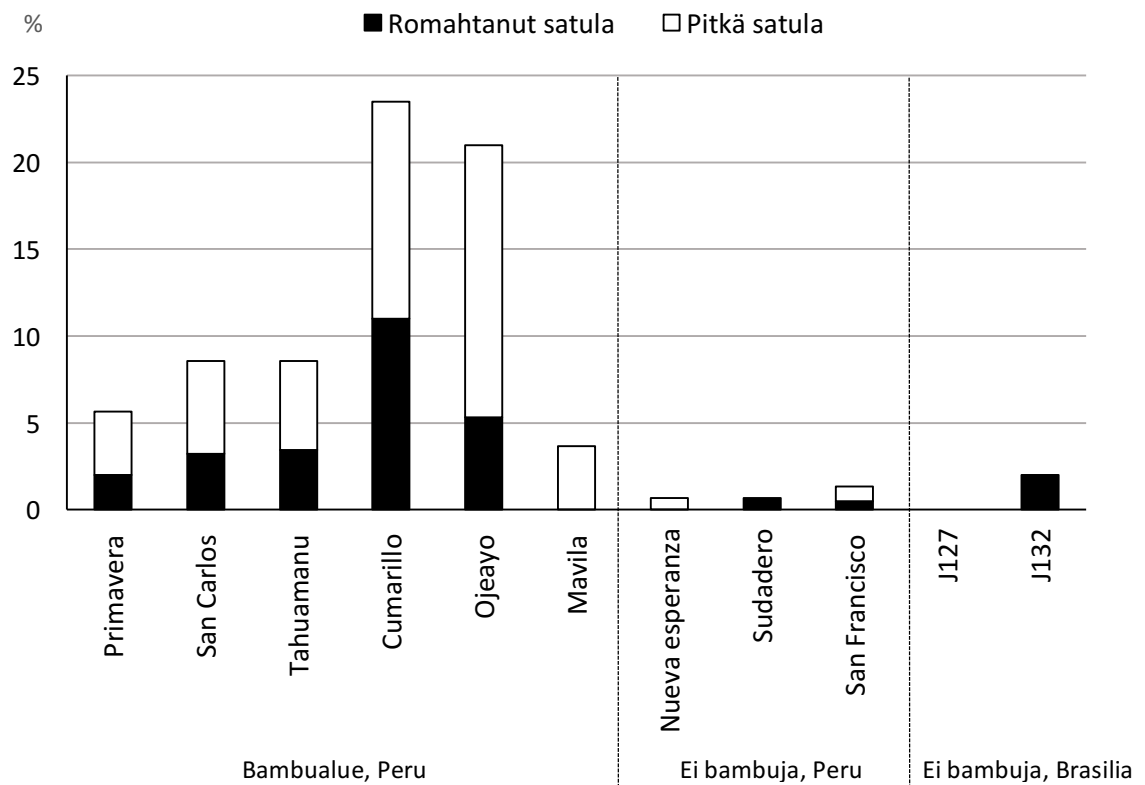
Kuva 14. Fytoliittityyppien jakautuminen syvyyksittäin kolmella eri näytealueella

5.2.3 *Guadua*-bambuihin viittaavat fytoliitit

Maaperästä löytyvien bambufytoliittien avulla voidaan määrittää, esiintyykö tai onko alueella mahdollisesti esiintynyt bambuja. Tätä varten tarkastelen maaperästä löytyviä romahtaneita ja suurikokoisia satulafytoliitteja tarkemmin. Romahtaneet ja suuret satulat ovat yleisiä *Guadua*-suvun bambuilla ja ne esiintyivät runsaina lehtinäytteissäni. Tämän takia oletuksena on, että niitä löytyisi myös bambualueen maaperästä.

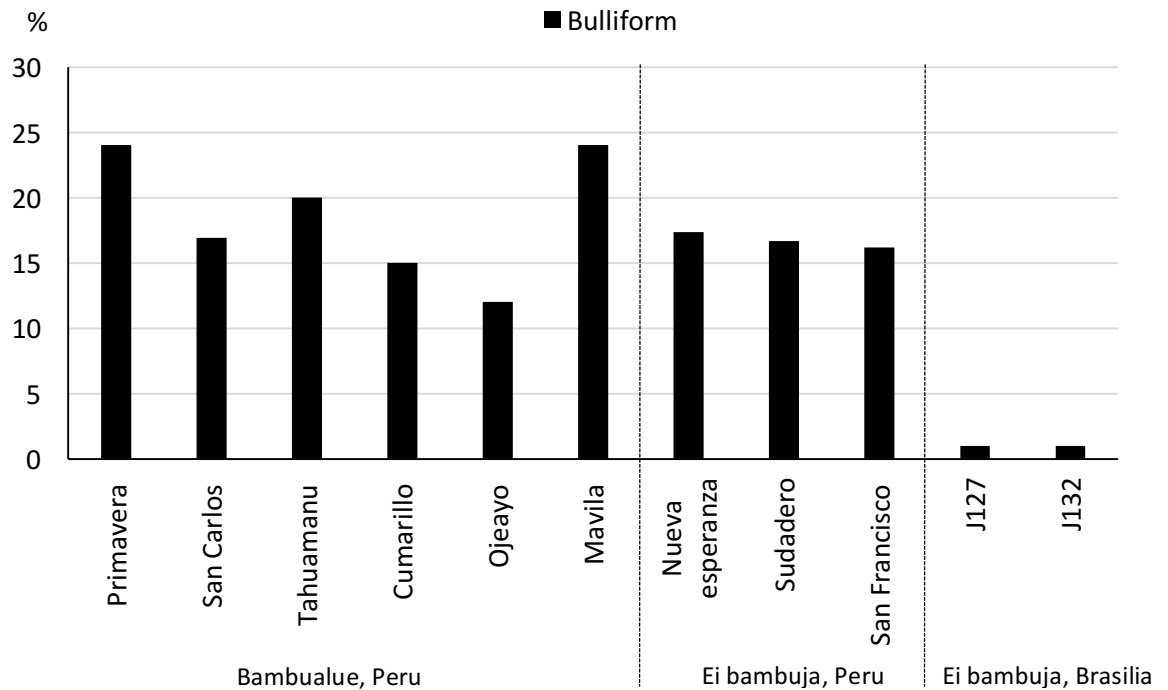
Kuvassa 15 olevassa diagrammissa näkyy sortuneiden ja suurien satulafytoliittien yhteenlaskettu prosenttimäärä kaikista alueen fytoliiteista kaikki kolme syvyyttä mukaan lukien ja saman linjan näytteet yhdistettynä yhdeksi alueeksi. Kaikilla bambualueilla näiden satuloiden määrä ylittää 5 prosenttia paitsi Mavilassa. Mavilan vähäisemmät satulat selittyvät sillä, että alueen nykyisessä kasvillisuudessa esiintyy vain vähän bambuja. Mavilan satulafytoliittien vähäisempi määrä vastaakin näin ollen oletusta, että bambujen määrän laskiessa myös niihin viittaavien fytoliittien määrä laskee. Alueista Ojeayo ja Cumarillo nousevat esille muita alueita yli kaksi kertaa suuremmilla satulafytoliittimäärillä.

Perun puolella sijaitsevilla bambuatomilla alueilla satulafytoliitteja esiintyy vähän, mutta kuitenkin niitä on läsnä tuloksissa. Nueva Esperanzassa ja Sudaderossa satulafytoliitteja on 0,6 prosenttia kakista fytoliiteista ja San Franciscossa 1,3 prosenttia. Brasilian puolella olevilla J127 ja J132 näytealueilla satulafytoliitit ovat myös vähäisiä. J127:stä ei löytynyt yhtäkään bambuihin viittaavaa satulafytoliittia ja J132:ssa näiden fytoliittien määrä on vain 2 prosenttia. Tämä 2 prosenttia muodostuu pelkistä romahtaneista satuloista.



Kuva 15. Bambuihin viittaavien satulafytoliittien prosentuaalinen määrä kaikista näytepisteen fytoliiteista.

Satuloiden lisäksi bulliformfytoliitit ovat yleinen ja diagnostinen fytoliittityyppi bambuille. Kuvasta 16 näkyy bulliformien prosentuaalinen määrä kaikista näytealueen fytoliiteista. Bulliformien määrässä ei kuitenkaan ole havaittavissa samanlaista trendiä kuin satuloissa, joissa fytoliittien määrä väheni bambualueille siirryttäessä. Bulliformien määrä Perun näytealueilla vaihtelee 12-24 prosentin välillä eikä bambualueiden ja bambualueiden välillä ole suurta eroa. Tämä voi johtua siitä, että bambujen lisäksi myös muut heinäkasvit tuottavat bulliformeja, jolloin niitä on havaittavissa myös bambualueen ulkopuolella. Brasilian näytealueilla bulliformien määrä oli kuitenkin erittäin vähäinen ja kummastakin näytepisteestä oli löydettävissä vain yksi tunnistettava bulliformfytoliitti.

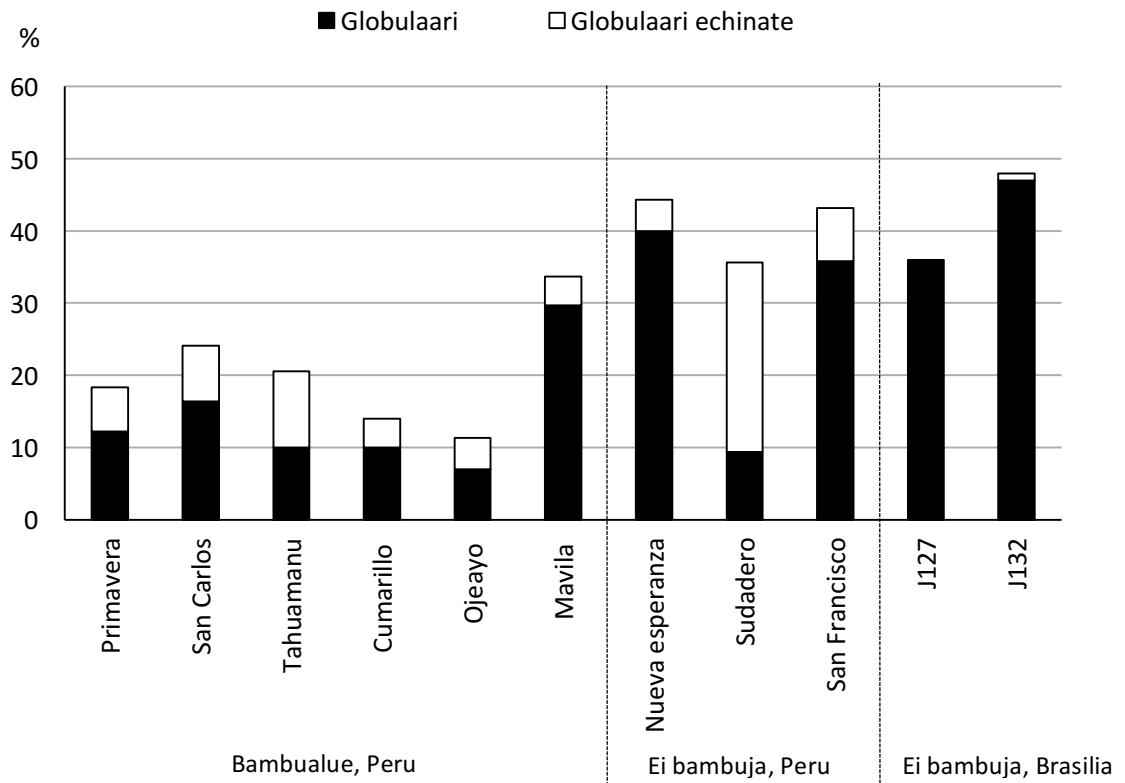


Kuva 16. Bulliformfytoliittien prosentuaalinen määrä kaikista näytepisteen fytoliiteista.

5.2.4 Globulaarien esiintyminen

Globulaarit fytoliitit ovat tyypillisiä palmuille sekä muille puuvartisille kasveille ja ne toimivat hyvin tukevana aineistona bambufytoliiteille. Oletuksena on, että jos bambut eivät ole alueen vallitseva kasvillisuus ovat puuvartiset lajit alueella yleisempiä. Globulaarit fytoliitit ovat vähäisimpiä Ojeayossa ja Cumarillossa, joissa satulafytoliitit ovat kaikkein yleisimpiä (kuva 17). Vastaavasti globulaarien määrä nousee siirryttäessä bambuttomille alueille ja Mavilaan, joka oli kasvillisuudeltaan vähän bambuja sisältävä.

Globulaarit jakautuvat kahteen luokkaan: globulaari granulate ja globulaari echinate. Echinate on yleisesti palmuihin liitetty fytoliittityyppi, joten Sudaderon alueen voisi fytoliittien perusteella tulkita palmujen hallitsemaksi alueeksi. Muilla alueilla granulate tyyppin globulaarit ovat yleisempiä ja ne ovat yleisimmin yhdistetty *eudicot* -kladin kasveihin.

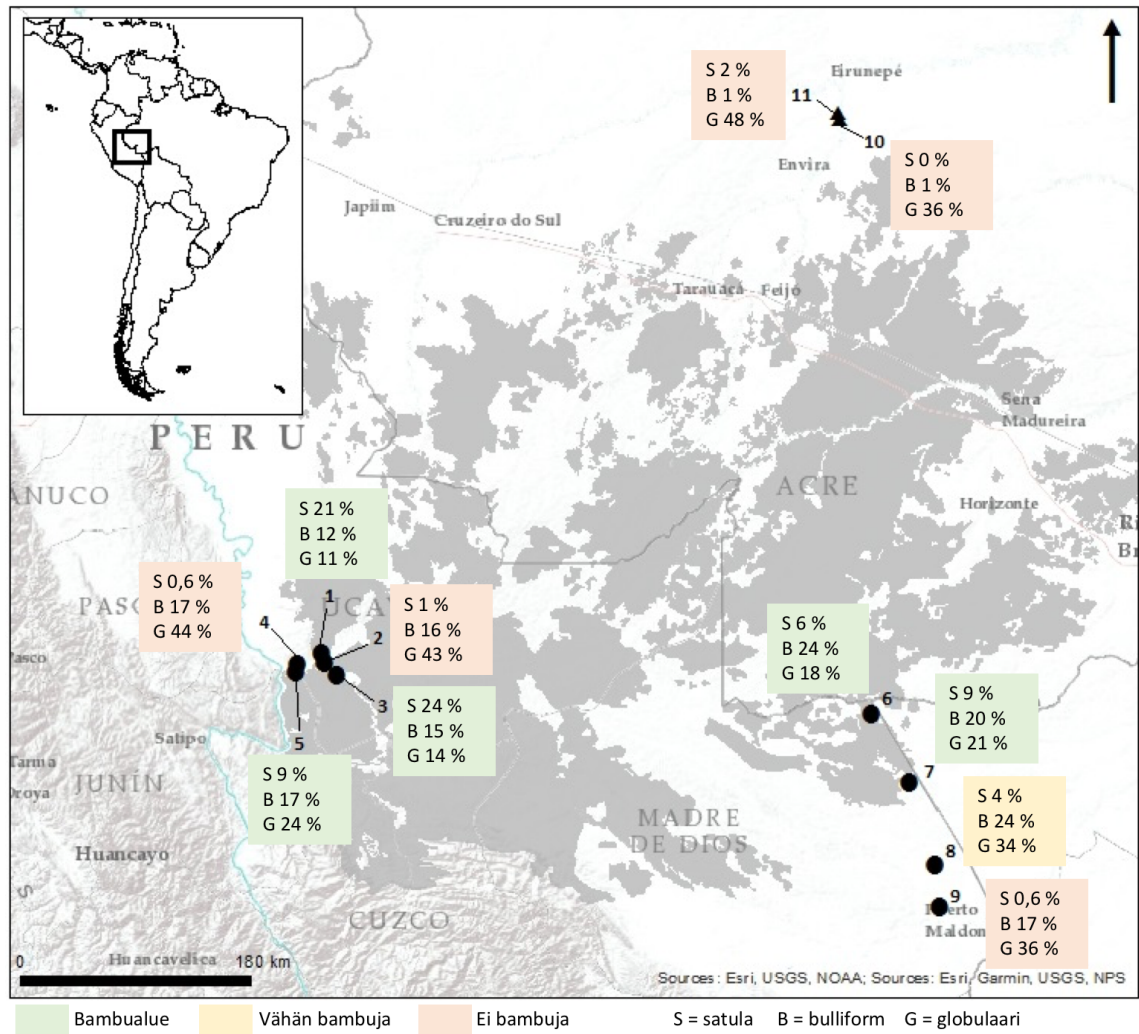


Kuva 17. Globulaarifytoliittien prosentuaalinen määrä kaikista näytepisteen fytoliiteista

5.2.5 Diagnostisten fytoliittityyppien yhteenveto

Kartassa 18 on esitetty kolmen diagnostisen fytoliittityypin prosentuaalinen jakautuminen eri näytepisteiden välillä. Kuvasta näkyy, kuinka harmaan bambumetsäalueen ulkopuolisilla näytepisteillä satulafytoliittien määrä laskee ja globulaarifytoliittien määrä lisääntyy. San Francisco (kartassa nro 2) ja Nueva Esperanza (kartassa nro 4) sijaitsevat kartassa lähellä bambualueen rajaa, mutta alueilla ei kuitenkaan ole havaittavissa bambuja. Mavila (kartassa nro 8), joka on kartassa esitetty keltaisella pohjalla, on alueista bambujen ja puuvartisten kasvien sekoitus. Tämän alueen bambuihin viittaavien satuloiden ja bulliformien määrä olikin korkeampi kuin punaisella esitettyjen täysin bambuttomien näytepisteiden. Bambualueilta otetuista näytteistä San Carloksella (kartassa nro 5) ja Tahuamanulla (kartassa nro 7) on korkeimmat globulaarifytoliittipitoisuudet. Nämä alueet sijaitsivat lähimpänä bambumetsäalueen rajaa, jossa kasvillisuus vaihtuu puuvartisiin. Tämä voi selittää suurempia globulaariprosentteja. Brasilian näytteet (kartassa nro 10 ja 11) omasivat muihin

näytteisiin verraten poikkeavimmat prosentuaaliset olot, mitä selittää niiden sijainti muista alueista kauempana.



Kuva 18. Satula, bulliform ja globulaarifytoliittien prosentuaalinen osuus kaikista näytepisteen fytoliiteista ja kaikista syvyyksistä. 1. Ojeayo, 2. San Francisco 3. Cumarillo, 4. Nueva Esperanza, 5. San Carlos, 6. Primavera, 7. Tahuamanu, 8. Mavila, 9. Sudadero, 10. J132, 11. J127. Kuvan harmaa alue kertoo bambumetsien sijainnin.

6. Pohdinta

6.1 *Guadua*-bambujen fytoliittikoostumus

Tutkimukseni yksi tavoite oli ymmärtää paremmin *Guadua*-bambujen fytoliittikoostumusta. Kävin läpi 148 lehtinäytettä, mikä auttoi muodostamaan kuvan kasville tyypillisistä fytoliiteista ja kuinka ne sijoittuvat lehden rakenteissa. Yleisimmiksi fytoliittityypeiksi nousivat eri tyyppiset satulafytoliitit, joita oli löydettävissä kaikista

lehtinäytteistä. Tämä oli lukemani kirjallisuuden perusteella oletettavissa yhdessä runsaiden bulliformfytoliittien kanssa.

Bulliformien kanssa suurimmaksi haasteeksi nousi niiden kolmiulotteisen tarkastelun puute tuhkatuissa näytteissä. Bulliformeja voi esiintyä bambun lehdissä kahta eri tyyppiä: bulliform flabellate ja bulliform parallepipedal -fytoliitteja. Tuhkatuissa näytteissä kuitenkin suurin osa bulliformeista näkyy vain ylhäältä päin, jolloin niiden tunnistaminen kahden eri tyyppin väliltä on haastavaa. Bulliformien todellinen muoto tulee esille vain sivunäkökulmasta ja näin ollen on mahdollista, että osa laatikkomallin parallepipedaleista saattoikin todellisuudessa olla viuhkamaisia flabellate bulliformeja. Tämän takia päädyin yhdistämään tutkimusaineistossani nämä kaksi tyyppiä yhteen bulliformluokkaan, erittelemättä niitä muodon perusteella.

Mielenkiintoista bambunlehtinäytteiden fytoliittikoostumuksessa oli näytteiden jakautuminen kahteen eri tyyppiin: vaaleisiin satulatyypin näytteisiin ja tummiin bulliformpitoisiin näytteisiin. Tälle ilmiölle ei löytynyt alueellista selitystä eikä linjojen välillä ollut eroja. Bulliformit kuitenkin syntyvät lehden bulliformsoluihin, jotka muodostavat lehdelle ikään kuin tukirankoja, jotka säätelevät lehden altistumista valolle ja kuivuudelle (Wang 2017). Säätelemällä lehden pinta-alaa joko levittäen tai rullaten, voi kasvi vaikuttaa fotosynteesin ja transpiraation määrään vallitsevien ympäristöolojen vaihtuessa. Yhdeksi syyksi tälle näytteissä esiintyneelle bulliformfytoliittien määrän vaihtelulle voisi nostaa suuria bulliformeja sisältäneiden lehtien olleen kerätty kosteammasta kohdasta, jolloin kasvi olisi levittänyt bulliformsolunsa täyteen kokoonsa ja näin mahdollistaneen suurten bulliformfytoliittien synnyn. Kuitenkin Bonomo ym. (2009) esittävät myös teorian, jonka mukaan bulliform fytoliittien runsaus on yhdistettävissä kuivuuteen. Ympäristöolojen ollessa kuivemmat kasvi varastoi bulliformsoluihinsa enemmän piitä, jotta solut pitäisivät paremmin täyden muotonsa ja estäisivät liian käpristymisen. Tällöin bulliformfytoliittien runsasta määrää voitaisiin selittää näytealueiden kuivuudella ja näytteenoton ajoittumisella kuivakaudelle.

Tummemmissa näytteissä satulafytoliitit jäivät usein bulliformien varjoon, mutta satuloita oli kuitenkin mahdollista erottaa kaikista näytteistä runsaasti. Vaaleammassa

näytteissä satulat erottuivat selkeästi ja muodostivat näytteelle verkkomaisen ulkomuodon. Satuloille on tyypillistä, että ne näyttäytyvät lehtinäytteessä bulliformien tavoin vain yhdestä kuvakulmasta ja niiden tyyppi on mahdollista tunnistaa vasta irrotettaessa lehdestä, jolloin niiden tarkempi muoto selviää (Piperno 1998). Näihin satuloiden muotoihin kuuluu mm. romahtaneet, terävät ja röpelöiset satulafytoliitit. Lehtinäytteistä selvisi, että suuret satulafytoliitit jotka ovat diagnostisia bambuille sijoittuivat lehdessä usein lehden suonien muodostamille kaistoille.

Jotta *Guadua*-bambujen fytoliittikoostumuksesta saisi yhä tarkemman kuvan, olisi aiheessa mahdollisuutta jatkotutkimukselle, jossa tuhkausmenetelmän lisäksi lehtinäytteistä tehtäisiin märkäuutetut versiot. Näin lehdistä saataisiin esille kaikki fytoliitit eikä osa jäisi kuvattaessa peittoon, kuten osassa tutkimukseni tuhkatuista näytteistä kävi. Yhdistämällä nämä kaksi tekniikkaa saataisiin tarkkaa kvantitatiivista aineistoa lehden sisältämien fytoliittien määrästä sekä tieto niiden sijoittumisesta kasvin rakenteisiin.

6.2 Fytoliittityyppien alueellinen vaihtelu

Tutkimuksessa löytyi ennako-oletusten mukaista alueellista vaihtelua. Hypoteesinani oli, että bambualueilla satulafytoliittien ja bulliformien määrä olisi suurempi, kuin niiden ulkopuolelta kerätyissä näytteissä.

Vaikka tuloksista näkyi bambualueiden runsaammat suurten satulafytoliittien määrät, ei tulosten pohjalta voi vielä tehdä täysin varmoja johtopäätöksiä alueen kasvillisuudesta. Piperno ja Pearsall (1988) määrittävät tutkimuksessaan, että bambualueen suurten satulafytoliittien määrän tulisi olla 80 prosenttia kaikista löytyneistä satuloista. Tämän luvun ylityttyä voitaisiin todeta alueen kasvillisuuden olevan bambujen hallitsema. Tutkimuksessani vastaava prosenttiluku jäi 66 prosenttia, joka kuitenkin kertoo alueen runsaasta bambumäärästä.

Mielenkiintoiseksi tutkimuksessa nousi Brasilian näytteistä löytyneet satula- ja bulliformfytoliitit, jotka voivat olla merkkejä alueella aikaisemmin esiintyneistä

bambuista. Tutkimuksessani Brasilian näytteiden osuus kaikista näytteistä jäi kuitenkin pieneksi, koska niitä oli kerätty kahdelta alueelta ja vain yhdestä syvyydestä. Brasilian bambualueilta olisi mielenkiintoista tehdä eri syvyyksistä kerättyjen näytteiden vertailu ja selvittää onko alueella tapahtunut fytoliittikantojen muutosta.

Brasilian näytteissä esiintyi myös paljon rikkoutuneita ja tunnistamattomia fytoliitteja. Tästä huolimatta koen näiden näytteiden tuoneen hyvää vertailuainesta bambunäytteilleni, ja erityisesti alueen runsaat globulaarifytoliittien määrät tukivat oletusta, että alueen fytoliittikanta olisi erilainen kuin bambualueilla. Rikkoutuneet ja kuluneet fytoliitit ovat yleisiä maaperänäytteitä tutkittaessa ja ovat riippuvaisia maaperän kemiallisesta koostumuksesta. Solomonova ym. (2017) artikkelista selviää, että fytoliiteissa esiintyvät kuopat ja pinnan epätasaisuus johtuvat piin liukenemisestä ja tämä fytoliittien eroosio on voimakkaampaa suurikokoisissa fytoliiteissa. Näyteaineistossani huomasin suurikokoisten fytoliittien pintaan muodostuneita kuoppia ja tunnistamattomat palaset vaikuttivat usein irronneen suurikokoisista fytoliiteista. Brasilian näytteissä bulliformien määrä oli erittäin vähäinen. Tämä oli oletettavissa, koska alueella ei esiinny bambuja ja jos alueella mahdollisesti olisi aikaisemmin kasvanut bambuja, olisivat niiden bulliformit suuren kokonsa takia oletettavasti osittain erodoituneet.

6.3 Fytoliittien soveltaminen biogeografisessa tutkimuksessa

Fytoliittitutkimuksen kehitys on tuonut lisää mahdollisuuksia alueiden biogeografiseen tutkimukseen. Sen avulla alueiden välinen vertailu on mahdollista yhä yksityiskohtaisemmin, ja esimerkiksi siitepölyanalyysien heikkoutena oleva kaukokulkeutumisen vaikutus laskee fytoliittitutkimuksessa erittäin pieneksi. Alueellisen vertailun lisäksi fytoliittitutkimus antaa mahdollisuuden historiallisen aspektin mukaan ottamiseen, joka auttaa meitä ymmärtämään nykyisten alueiden syntyä yhä yksityiskohtaisemmin. Kuitenkin fytoliittitutkimuksessakin on omat heikkoutensa ja metodologiset puutteensa. Fytoliittien kohdalla suurin osa dispersaalista syntyy jokien, deltojen ja muiden vesistöjen seurauksena. Tämän takia tutkimuksessa tuleekin huomioida alueen sijainti ja mahdolliset ympäristötekijät. Ihmisten aiheuttama

fytoliittien kulkeutuminen on kuitenkin antanut fytoliittitutkimukselle oman lisänsä, sillä esimerkiksi ravintokasvien tutkiminen vanhojen astioiden avulla on mahdollista, vaikkei esineiden löytöpaikalla enää kyseistä kasvia esiintyisi.

Fytoliitit mahdollistavat kasvillisuushistorian tutkimuksen myös alueilla, joissa maaperäolot ovat muille mikrofossiileille haastavat. Esimerkiksi Korean niemimaan maaperäolot eivät ole suotuisat orgaanisten kasvijäännösten säilymiseen, jolloin aluetta tutkittaessa fytoliitit mahdollistavat paleoympäristön mallinnuksen (Eksambekar 2009). Aasiassa erityisesti riisin tutkimuksessa on saatu paljon tuloksia fytoliittien avulla ja riisin kultivoinnin ajankohtaa on pystytty määrittämään eri tutkimusalueilla.

Geologiasta tuttu ohuthiemenetelmä on lisääntynyt myös fytoliitteja tutkittaessa. Ohuthiemenetelmässä maaperästä leikataan horisontaalisesti näytepala ja hiotaan alle 30 µm paksuiseksi. Näin maaperästä saadaan valmistettua näyte, jossa kaikki aines pysyy alkuperäisessä järjestyksessä ja on tarpeeksi ohut mikroskoopilla tarkasteltavaksi. Ohuthiemenetelmän avulla fytoliitit eivät sekoitu keskenään maaperänäytettä valmistettaessa, vaan niiden sijoittuminen suhteessa maaperän muuhun ainekseen on yhä havaittavissa. Näin saamme selville ovatko näytteen fytoliitit esimerkiksi kasvin sisällä, koprolitissa tai maa-ainekseen kumuloituneena (Wouters ym. 2018).

Tutkimuksessani fytoliittitutkimuksen suurimmaksi heikkoudeksi nousi sen luotettavuus ja erityisesti aiheeseen vasta tutustuessani, tuntui fytoliittien tunnistus haastavalta. Fytoliitit syntyvät kasvin soluihin, jonka takia erilaisia mahdollisia muotoja on melkein loputtomasti. Fytoliittitutkimuksessa kasvien fysiologian tunteminen nouseekin erittäin tärkeäksi, ja voidaksemme tehdä luotettavaa alueellista vertailua tulisi meidän tunnistaa erityyppisten kasvien fytoliitteja. Tutkimuksessani keskityin *Guadua*-bambujen tuottamiin fytoliitteihin ja erityisesti lehtinäytteiden perusteella muodostamani käsitys bambujen tuottamista fytoliittimuodoista osoittautui hyödyllisimmäksi tunnistamiskeinoksi maaperänäytteiden analyysiin siirryttäessä. Fytoliittien yhtenäisen nimeämisen ja parempien vertailuaineistojen kokoaminen voi tulevaisuudessa mahdollistaa yhä parempia fytoliittianalyyseja, jolloin niiden soveltaminen biogeografisessa tutkimuksessa voisi lisääntyä. Tällä hetkellä useat tutkijat puhuvat yhä

samoista fytoliiteista eri nimillä ja fytoliittitietokannat ovat usein käytettävyydeltään heikkoja ja vasta kehitysvaiheessa. Keskittymällä näiden ongelmien parantamiseen voidaan fytoliittitutkimuksen luotettavuutta ja käytettävyyttä lisätä.

Bambututkimuksen kannalta fytoliitit ovat toimiva menetelmä bambumetsien nopean kehityksen takia. Bambualueissa tapahtuu suuria muutoksia vain satojen vuosien sisällä, joten saadaksemme tietoa alueellisesta kehityksestä ei meidän tarvitse tutkia fytoliitteja kuin muutaman kymmenen sentin syvyydestä. Bambut toimivat hyvänä fytoliittitutkimuksen kohteena myös niiden omaleimaisten fytoliittikannan takia. Bambujen tuottamat fytoliitit ovat myös helposti tunnistettavissa ja lajina bambu on yksi maailman runsaimmin fytoliitteja tuottavista. Vähäfytoliittisiä kasveja tutkittaessa tulisi näytemäärien olla huomattavasti runsaampia, kun taas bambujen kanssa pienistäkin määristä maaperänäytettä on mahdollista löytää tuhansia fytoliitteja.

Tutkimukseni pääpaino oli maaperänäytteistä löytyneissä fytoliiteissa, mutta menetelmänä fytoliittitutkimusta voisi soveltaa hyvin myös nykykasvien fytoliittituotannon vaihteluiden tutkimiseen. Biogeografisesti olisi mielenkiintoista selvittää eri kasvuolojen vaikutus saman lajin tuottamiin fytoliitteihin ja kuinka esimerkiksi maaperän saastuminen tai ravinnepitoisuus voivat vaikuttaa kasvin tuottamiin fytoliittipitoisuuksiin.

7. Johtopäätökset

Guadua-bambuilla esiintyy runsaasti fytoliitteja ja ne ovat tunnistettavissa maaperänäytteistä. Tutkimukseni lehtinäytteiden mukaan satula ja bulliformfytoliitit ovat *Guadua*-bambuille omaleimaisempia fytoliittityyppejä ja tätä tukee niiden löytyminen bambualueen maaperänäytteistä. Lehtinäytteet jakautuivat kahteen eri tyyppiin, vaaleampiin satulafytoliittien peittämiin ja tummempiin bulliformfytoliittien peittämiin näytteisiin. Tälle ilmiölle ei löytynyt tutkimuksessa selitystä. Lehden suonet ohjaavat fytoliittien sijoittumista ja kokoa.

Fytoliitteja löytyi kaikista kolmesta näytesyvyydestä ja niiden avulla oli mahdollista tehdä päätelmiä kasvillisuuden muutoksesta. Mielenkiintoista oli, että Perun bambuttomalla alueella *Guadua*-fytoliittien määrä nousi syvemmältä otetuissa näytteissä. Tämä voi olla merkki alueella aikaisemmin esiintyneistä bambuista ja tätä väitettä tukee puuvartisten kasvien tuottamien globulaarifytoliittien määrän pieni lasku syvimmältä otetussa näytteessä. Alueella on siis voinut aikaisemmin esiintyä bambumetsää, mikä on myöhemmin korvaantunut puuvartisella sademetsällä. Brasilian näytealueet toivat tutkimukseen hyvän lisän vahvistamalla fytoliittityyppien eroja eri kasvillisuusalueiden välillä. Brasilian näytteissä globulaarifytoliitit olivat selkeästi yleisin fyliittityyppi, ja bambuihin viittaavia esiintyi erittäin vähän.

Tutkimukseni tulokset tukivat asettamaani hypoteesia, jonka mukaan fytoliittien avulla voidaan tehdä päätelmiä bambumetsien esiintymisestä. Tutkimuksessani keskityin bambuihin, mutta sama metodiikka on sovellettavissa myös muiden lajien biogeografiseen tutkimukseen. Fytoliittitutkimus on kuitenkin alana yhä melko pieni ja osa metodiikasta on yhä puutteellista ja erityisesti referenssikokoelmien vähyyts tuovat mukanaan tutkijoille haasteita. Kuitenkin fytoliittitutkimus on korvaamaton menetelmä paleoympäristöjen mallinnuksia tehtäessä ja yhdistämällä sen muihin arkeobotaniikan menetelmiin voimme saada luotettavia tuloksia alueiden historiasta.

Kiitokset:

Haluaisin kiittää ohjaajaani Risto Kalliola, Ari Linnaa ja Kalle Ruokolaista lehti- ja maaperänäytteiden keräämisestä ja opastuksesta laboratoriotöihin.

Lähteet

- Albert, R., J. Ruíz & A. Sans (2016). PhytCore ODB: A new tool to improve efficiency in the management and exchange of information on phytoliths. *Journal of Archaeological Science* 68, 98-105
- Alvares, C., J. Stape, P. Sentelhas & J. Gonçalves (2013). Modeling monthly mean air temperature for Brazil. *Theor Appl Climatol* 113, 407-427
- Baker, G (1959). Opal phytoliths in some Victorian soils and "red rain" residues. *Australian Journal of Botany* 7, 64-87.
- Baldeck C., G. Asner, R. Martin, C. Anderson, D. Knapp & J. Kellner (2015). Operational Tree Species Mapping in a Diverse Tropical Forest with Airborne Imaging Spectroscopy. *PLoS ONE* 10(7), 1-21
- Balee, W. & C. Erickson (2006). *Time Complexity, and historical ecology: studies in the neotropical lowlands*. 417s. Columbia University Press, New York
- Blouet, B. & O. Blouet (2006). *Latin America and the Caribbean: a systematic and regional survey*. 533 s. John Wiley & Sons INC.
- Bonomo, M., A. Zucol, B. Teñe, A. Coradeghini & M. Vigna (2009). Late holocene palaeoenvironments of the nutria mansa 1 archaeological site, argentina. *Journal of paleolimnology* 41, 273–296
- Bozarth, S. (1993). Biosilicate assemblages of boreal forests and aspen parklands. Teoksessa Pearsall, D. & D. Piperno(toim.): *Current research in phytolith analysis: applications in archeology and paleoecology*. 95-107. MASCA, Michigan.
- Carnelli, A., M. Madella, J. Theurillat & B. Ammann (2002). Aluminum in the opal silica reticule of phytoliths: A new tool in palaeoecological studies. *American Journal Of Botany* 89:2, 346-351
- Carvalho, A., B. Nelson, M. Bianchini, D. Plagnol, T. Kuplich (2013). Bamboo-dominated forests of the southwest Amazon: detection, spatial extent, life cycle length and flowering waves. *PLoS ONE* 8:1, 1-13
- Corbineau, R., P. Reyerson, A. Alexandre & G. Santos (2013). Towards producing pure phytolith concentrates from plants that are suitable for carbon isotopic analysis. *Review of Palaeobotany and Palynology* 197, 179
- Davidson, E., A. de Araújo, P. Artaxo, J. Balch, I. Foster Brown, M. Bustamante, M. Coe, R. DeFries, M. Keller, M. Longo, J. Munger, W. Schroeder, B. Soares-Filho, C. Souza & S. Wofsy (2012). The amazon basin transition. *Nature* 481, 321–328.
- Dimbleby, G. (1978). *Plants and Archaeology*. Humanities Press, New Jersey.
- Erickson, C. (2008). Amazonia: the historical ecology of a domesticated landscape. Teoksessa Silverman, H. & W. Isbell (toim.): *The handbook of South American archeology*. 157–183. Springer, New York.
- Eksambekar, S. (2009). Review of Phytolith Research : Scope and Applications. *The Korean Journal of quaternary research* 23:2, 1-12
- Fishkis, O., J. Ingwersen, M. Lamers, D. Denysenk & T. Streck (2010). Phytolith transport in soil: A field study using fluorescent labelling. *Geoderma* 157, 27–36
- Griscom, B., D. Daly & M. Ashton (2003). Bamboo control of forest succession *Guadua sarcocarpa* in southeastern Peru. *Forest Ecology and Management* 175, 445-454

- Griscom, B., D. Daly & M. Ashton (2007). Floristics of bamboo-dominated stands in lowland terra-firma forests of southwestern Amazonia. *The Journal of the Torrey Botanical Society* 134:1, 108-125
- Huan, X., L. Houyuan, C. Wang, X. Tang, X. Zuo, Y. Ge & K. He (2015). Bulliform Phytolith Research in Wild and Domesticated Rice Paddy Soil in South China. *PLoS ONE* 10:10, 1-12
- Hunt, J., A. Dean, R. Webster, G. Johnson & A. Ennos (2008). A novel mechanism by which silica defends grasses against herbivory. *Annals of Botany* 102, 653-656
- Janis, C. & M. Fortelius 1988. On the means whereby mammals achieve increased functional durability of their dentitions, with special reference to limiting factors. *Biological Reviews* 63, 197–230
- Jones, J. & M. Vaugh (1992). Phytolith taxonomy in selected species of Texas cacti. *Teoksessa* Mulholland, S. & G. Rapp Jr. (toim.): *Phytolith systematics: emerging issues*. 215–238. Springer, New York.
- Kealhofer, L. & D. Penny (1998). A combined pollen and phytolith record for fourteen thousand years of vegetation change in northeastern Thailand. *Review of Palaeobotany and Palynology* 103, 83-93
- Liu, L., D. Jie, H. Hongyan, G. Gao, N. Li, J. Guo & Z. Qiao (2016). An orthogonal Experimental study of phytolith size of phragmites aommunis in northeast China. *Boreas* 45:1, 122-132
- Ma, Y., Miyake & E. Takahashi (1990). The possibility of silicon as an essential element for higher plants. *Comments on Agricultural and Food Chemistry* 2:2, 99-102
- Ma, Y., Miyake & E. Takahashi (2001). Silicon as a beneficial element for crop plants. *Teoksessa*: Datnoff, L., G. Snyder & G. Korndörfer (toim.): *Silicon in Agriculture*. Elsevier Science
- Madella, M., A. Alexandre & T. Ball (2005) International code for phytolith nomenclature 1.0. *Annals of Botany* 96, 253-260
- Madella, M., C. Lancelotti & M. Savard (2014). *Ancient plants and people: Contemporary trends in archaeobotany*. 344 s. University of Arizona Press, Arizona
- Massey, F., A. Ennos & S. Hartley (2006). Silica in grasses as a defence against insect herbivores: contrasting effects on folivores and a phloem feeder. *Journal of Animal Ecology* 75, 595-603
- Massey, F., A. Ennos & S. Hartley (2007). Grasses and the resource availability hypothesis: The importance of silica-based defences. *Journal of Ecology* 95:3, 414-424
- Melia, M. (1984). The distribution and relationships between palynomorphs in aerosols and deep sea sediments off the coast of northwest Africa. *Marine Geology* 58, 345-371
- Nelson, B. (1994). Natural forest disturbance and change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing Rev.* 10, 105-125
- Nelson, B., A. Oliveira, G. Batista, D. Vidalenc & M. Silveira (2001). Modeling biomass of forests in the southwest Amazon by polar ordination of Landsat TM. Konferenssipaperi
- Ohrnberger D. 1999. *The bamboos of the world: annotated nomenclature and literature of the species and the higher and lower taxa*. 596 s. Elsevier Science, Amsterdam
- Orme, A., T. Veblen & K. Young (2007). *The physical geography of south America*. 361 s. Oxford university press, New York

- Parr, J & L. Sullivan (2005). Soil carbon sequestration in phytoliths. *Soil Biology & Biochemistry* 37, 117-124
- Piperno, D. (1988). *Phytolith analysis: an archaeological and geological perspective*. s. Academic Press inc., California
- Piperno, D. & D. Pearsall (1998). The silica bodies of tropical American grasses: Morphology, taxonomy, and implications for grass systematics and fossil phytolith identification. 44 s. Smithsonian institution press, Washington D.C.
- Piperno, D. (2006) *Phytoliths: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists*. 238 s. AltaMira Press
- Piperno, D., C. McMichele & M. Bush (2015). Amazonia and the anthropocene: What was the spatial extent and intensity of human landscape modification in the Amazon Basin at the end of prehistory? *The Holocene* 25:10, 1588-1597
- Powers A (2013). Great expectations: a short historical review of European phytolith systematics. Teoksessa Mullholland S. & G. Rapp (2013). *Phytolith Systematics*
- Qiu, Z., H. Jiang, J. Ding, Y. Hu, X. Shang (2014). Pollen and phytolith evidence for rice cultivation and vegetation change during the mid-late holocene at the Jiangli site, Suzhou, East China. *PLoS ONE* 9:1, 1-12
- Rapp, G. & S. Mulholland (1992). *Phytolith Systematics*. Springer, New York
- Reyerson, P., A. Alexandre, A. Harutyunyan, R. Corbineau, H. Martinez De La Torre, F. Badeck, L. Cattivelli & G. Santos (2016). Unambiguous evidence of old soil carbon in grass biosilica particles. *Biogeosciences* 13, 1269-1286
- Santos, G. & A. Alexandre (2017). The phytolith carbon sequestration concept: Fact or fiction? A comment on "Occurrence, turnover and carbon sequestration potential of phytoliths in terrestrial ecosystems by Song et al". *Earth-Science Reviews* 164, 251-255
- Silva, W. (2018). Climatological and hydrological patterns and verified trends in precipitation and streamflow in the basins of Brazilian hydroelectric plants. *Theoretical and Applied Climatology* 1-19
- Smith, M. & B. Nelson (2010). Fire favours expansion of bamboo-dominated forests in the south west Amazon. *Journal of Tropical Ecology* 27, 59-64
- Solomonova, M., S. Yu, M. Speranskaya & N. Yu (2017). Phytolith research in the South of Western Siberia. *Ukrainian Journal of Ecology* 7:2, 110-119
- Song, Z., J. Parr & F. Guo (2013). Potential of global cropland phytolith carbon sink from optimization of cropping system and fertilization. *PLoS One* 8:9, 1-8
- Song, Z., H. Liu, C. Strömberg, X. Yang & X. Zhang (2017). Phytolith carbon sequestration in global terrestrial biomes. *Science of the Total Environment* 603-604, 502-509
- Struyf, E., W. Opdekamp, H. Backx, S. Jacobs, D. Conley & P. Meire (2009). Vegetation and proximity to the river control amorphous silica storage in a riparian wetland (Biebrza National Park, Poland). *Biogeoscience* 6, 623-631
- Tollefson, J. (2015). Stopping deforestation: Battle for the Amazon. *Nature* 520, 20-23
- Twiss, P., E. Suess & R. Smith (1969). Morphological Classification of Grass Phytoliths 1. *Soil Science Society of America Journal* 33:1, 109
- Umemura, M. & C. Takenaka (2014). Biological cycle of silicon in moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forests in central Japan. *Ecological Research* 29:3, 501-510
- Vuorela, I. (1994) 1600-luvulla hylätty kaivo. Teoksessa: Kallio P., I. Savolainen & S. Vainio

- (1994). *Narinkka*. Gummerus, Jyväskylä
- Vuorela, I. T. Grönlund & T. Lempiäinen (1996). Paleoekologisia tutkimuksia Rettingin tontilta Turusta. *Geologian tutkimuskeskus*, Espoo
- Vuorela, I. (1999). Mikrofossiilit asutushistorian indikaattoreina. *Geologi* 51:8, 127-132
- Wang YJ, Lu HY, Lu HB, Tan DR, Huang L (1992) Phytolith and its importance in casting molds and braised soil from ancient China. *Chin Sci Bull*: 37: 342–345
- Wang, S. (2017). Bamboo sheath—A modified branch based on the anatomical observations. *Scientific Reports* 7:1, 16132-16132
- Watling, J., J. Iriarte, B.S. Whitney, E. Consuelo, F. Mayle, W. Castro, D. Schaan & T.R. Feldpausch (2016). Differentiation of neotropical ecosystems by modern soil phytolith assemblages and its implications for palaeoenvironmental and archaeological reconstructions II: Southwestern Amazonian forests. *Review of Palaeobotany and Palynology* 226, 30–43.
- Wilding LP, Brown RE, Holowaychuk N (1967). Accessibility and properties of occluded carbon in biogenetic opal. *Soil Sci* 103: 56–61. 11.
- Wilding, L. & L. Drees (1973). Scanning electron microscopy of opaque opaline forms isolated from forest soils in Ohio. *Soil Sci* 37, 647–650
- Wouters, B., Y. Devos, L. Vrydaghs, T. Ball, N. De Winter & P. Reygel (2018). An integrated micromorphological and phytolith study of urban soils and sediments from the Gallo-Roman town Atuatuca Tungrorum. *Geoarchaeology*, 1-19

Liitteet

Käyttämäni nimet	Englanninkielinen nimi
Satula	Saddle
Bulliformi	Bulliform
Hius	Hair, Lanceolate
Rondeli	Rondel
Pitkäsolu	Long Cell
Globulaari	Globular
Stooma	Stomata
Risti	Cross
Cucurbita	Cucurbita
Oblong	Oblong
Trapezoid	Trapezoid
Bilobaatti	Bilobate
Epidermin laatta	Epidermal Plate
Epidermin monikulmio	Epidermal polygonal
Neliö	Rectangle
Sortunut satula	Collapsed Saddle
Terävä sipulimainen	Acute bulbosus
Levymäinen fytoliitti	Sheet Element