

<https://helda.helsinki.fi>

Sikiövauriot vaarana, elohoepa on ongelma Etelä-Amerikassa

Leino, T.

Suomen Lääkäriliitto
1994

Leino, T., and Lodenius, M. 1994. Sikiövauriot vaarana, Elohoepa on ongelma Etelä-Amerikassa. Suomen Lääkärilehti 7/1994: 709-714.

<http://hdl.handle.net/1975/309>

Downloaded from Helda, University of Helsinki institutional repository.

This is an electronic reprint of the original article.

This reprint may differ from the original in pagination and typographic detail.

Please cite the original version.

Sikiövauriot vaarana Elohopea on ongelma Etelä-Amerikassa

TUIJA LEINO • MARTIN LODENIUS

Brasilian Amazoniassa käytetään kullanhuhdonnassa elohopeaa, ja sitä on levinnyt ympäristöön. Tässä artikkelissa esittelemme Tucuruín tekoaltaan elohopeasaastumista selvittävään suomalaistutkimuksen tuloksia ja niiden merkitystä. Selvityksessä tutkittiin 147 paikallisen ihmisen hiusten elohopeapitoisuudet, ja niiden todettiin korreloivan kalansyönnin kanssa. Kalastajien keskimääräinen hiusten elohopeapitoisuus aineistossa oli 65 µg/g, ja 80 % tuloksista ylitti WHO:n turvarajan 6 µg/g. Puolella tutkituista pitoisuus ylitti pitoisuuden 20 µg/g. Tämän pitoisuuden on aiemmin todettu aiheuttavan lieviä sikiövaurioita.

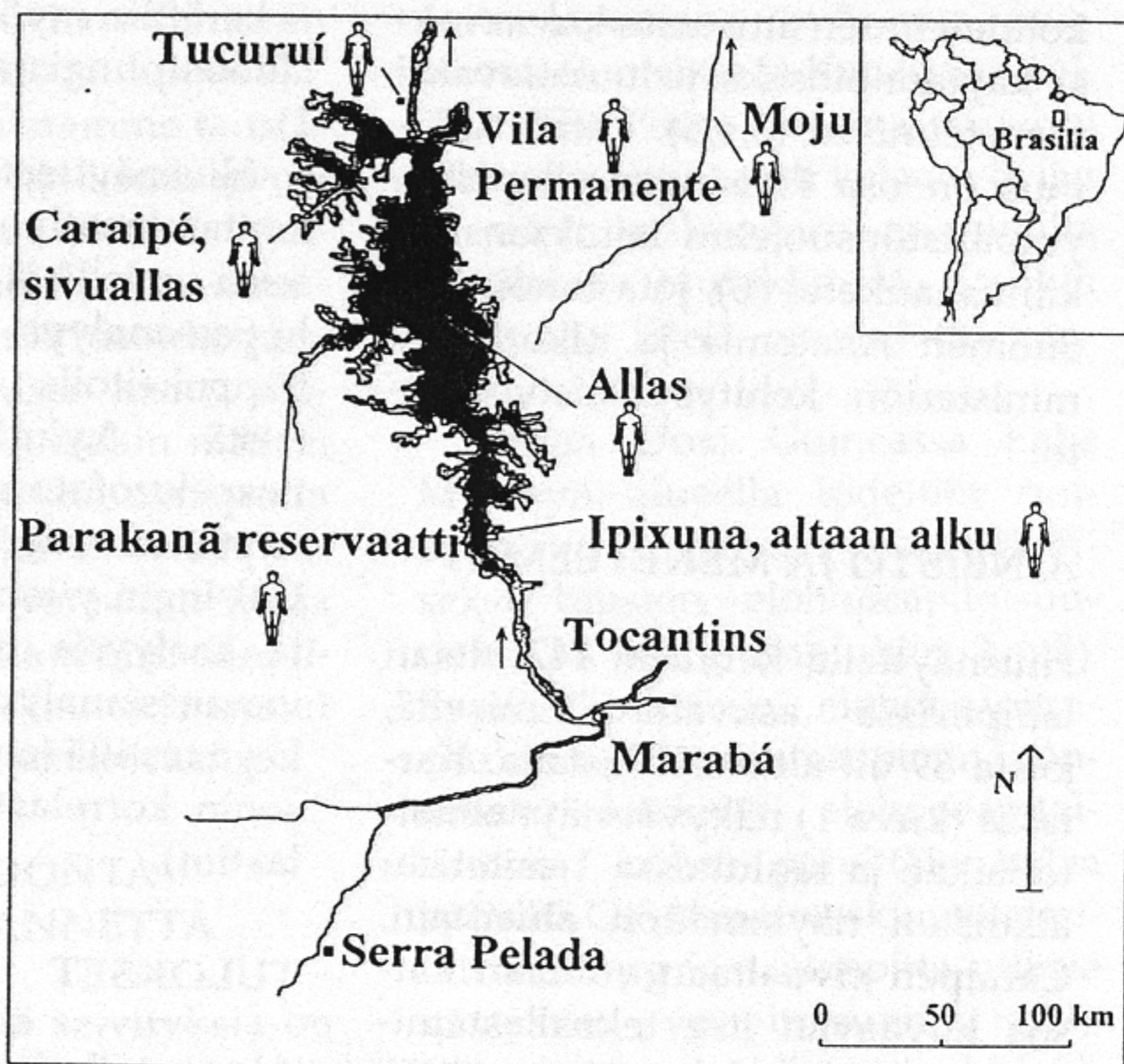
Brasilian on arvioitu olevan kolmanneksi suurin kullantuottaja maailmassa (1). Pääosa kullasta on viime vuosina tullut Amazonian alueelta, jossa kultaryntäys alkoi 1980-luvun alussa. Kullanhuhdonnassa käytetään runsaasti elohopeaa, koska jokeen kaadettu metallinen elohopea muodostaa kullan kanssa amalgaamia. Se taas on painavaa ja helpompi kerätä jokesta, kuin kulta yksinään (1). Ylimääräinen elohopea huuhtoutuu veden mukana jokea alaspäin, ja se voi muuttua metyylielohopeaksi ja rikastua muun muassa kaloihin. Virallisesti elohopean käyttäminen on kielletty.

Yksi Brasilian kuuluisimmista kultakentistä on Serra Peladan alue Parán osavaltiossa noin 300 kilometriä Amazon-joen suulta lounaaseen. Alueella oli parhaimmillaan 1980-luvulla jopa 100 000 kullanhuuhtojaa. Ympäristöön on

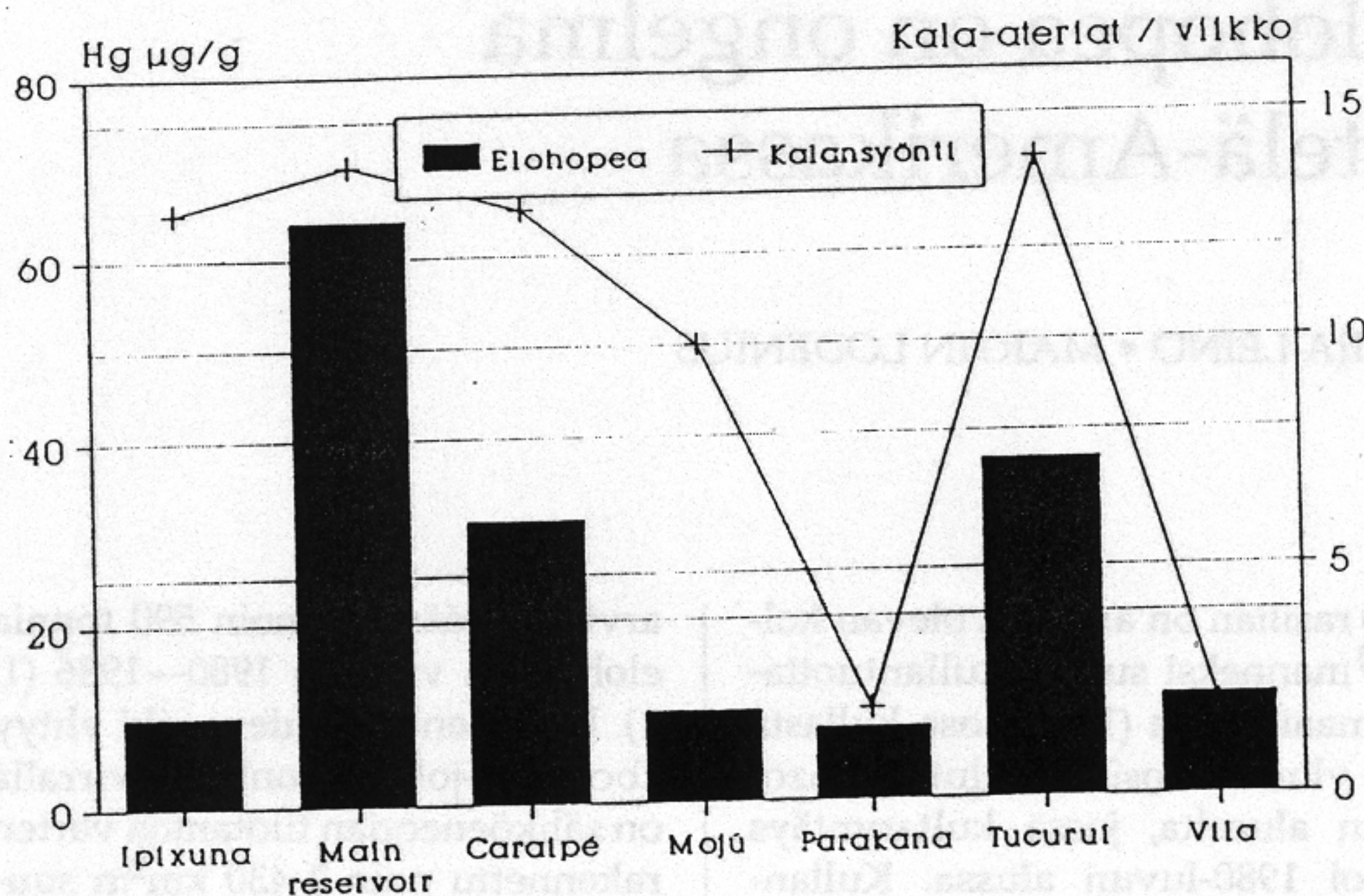
arvioitu päässeen noin 590 tonnia elohopeaa vuosina 1980—1986 (1, 2). Kultakentältä tuleva joki yhtyy Tocantins-jokeen, jonka alavirralla on sähköenergian tuotantoa varten rakennettu noin 2 430 km²:n suuruinen Tucuruín tekoallas (kuva 1). Allas valmistui 1984. Nousevan veden alle jääneestä sademetsästä ei saatu hakattua kuin murto-osa, ja siksi alueella on tuhansia hehtaareja vedenalaista metsää. Altaassa on runsas kalasto, jota paikallinen väestö hyödyntää. Tekoaltaan kalaa myydään Amazon-joen suiston pääsatamassa Belémmissä asti.

Tekojärvien kaloissa on eri puolilla maailmaa todettu kohonneita elohopeapitoisuuksia. Elohopea irtoaa veden alle jääneestä maasta, jossa se on ollut sitoutuneena. Mikrobit muuttavat elohopean eliöihin herkästi kertyvään muotoon metyylielohopeaksi. Pohjois-

Kuva 1.
Tutkimusalue.



TERVEYDENHUOLTO



Kuvio 1. Hiusten keskimääräiset elohopeapitoisuudet ja viikoittaisten kala-aterioiden lukumäärä eri alueilla.

Brasiliaan on suunnitteilla kymmeniä tekoaltaita vesivoiman valjastamiseksi.

Tucuruín tekoaltaalla on siis kaksi elohopeaongelmaa aiheuttavaa tekijää: yläjuoksun kullanhuuhtoa ja patoaltaassa itsessään tapahtuva elohopean irtoaminen maaperästä. Tässä artikkelissa kerromme suomalaistutkimuksesta, jossa selvitettiin Tucuruín tekoaltaan elohopeasaastumisen määrää mittaamalla alueen ihmisten hiusten elohopeapitoisuuksia. Metyylielohopealle altistumisen kuvaamisessa hiuspitoisuuksien mittaaminen on osoittautunut hyvin kohde-elinten altistusta kuvaavaksi, käytännölliseksi ja luotettavaksi menetelmäksi (3,4,5). Tämä tutkimus on osa Helsingin yliopiston ympäristönsuojelun laitoksen tutkimushanketta (6), jota rahoittivat Suomen Akatemia ja ulkoasiainministeriön kehitys yhteistyöosasto.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Hiusnäytteitä kerättiin 147 altaan lähipiirissä asualta ihmiseltä, joista 89 oli altaan kalastajia. Kartassa (kuva 1) näkyvät näytteenotopaikat, ja taulukossa 1 esitetään aikuisten näytemäärät alueittain. Caraipén sivualtaan voidaan katsoa kuvaavan itse tekoallastamisesta tulevan elohopean määrää tutkimusalueella, sillä vesi tulee sivualtaaseen lukuisista pikkujoista

eikä kultakenttiin yhteydessä olevasta Tocantins-joesta. Läheisestä Parakanan intiaanireservaatista kerättyjen näytteiden katsottiin edustavan taustapitoisuuksia, sillä intiaanireservaatin alueelle on pääsy kielletty ympäristön muilta asukkailta eivätkä intiaanit kertomansa mukaan kalastaneet itse altaalla. Myös itäpuolella sijaitsevalta Mojú-joen väestöltä kerättyjen näytteiden ajateltiin kuvaavan taustapitoisuuksia, kunnes hiusnäytteitä kerätettäessä myös Mojújoelta tavoitettiin laittomia kullanhuuhtoja. Vila Permanentessa asuvilta voimayhtiön työntekijöiltä kerättiin myös näytteitä, samoin lähikaupungista Tucuruísta (kuva 1).

Hiusnäytteet pestiin ulkoisen kontaminaation ja lian poistamiseksi vedellä ja asetonilla (7). Elohopea-analyysi tehtiin Tucuruissa happokeitolla hajotetuista näytteistä kylmähöyryatomiabsorptiospektrofotometrisesti (8). Osa näytteistä interkalibroitiin Rion ja Helsingin yliopistoissa. Tilastollista analyysia tehtäessä käytettiin varianssianalyysia jatkettuna Tukeyn testillä (aluevertailut) ja Pearsonin korrelaatiokerrointa (korrelaatiot).

TULOKSET

Altaan aikuisen kalastajaväestön keskimääräinen hiusten elohopeapitoisuus oli 65 µg/g (vaihteluväli

6–240). He söivät viikoittain keskimäärin 14 kala-ateriaa. Parakana-intiaanit, samoin kuin Vilassa asuvat voimayhtiön työntekijät, söivät kalaa selkeästi vähemmän, ja hiusten keskimääräiset elohopeapitoisuudet olivat heillä myös huomattavasti matalammat. Parakana-intiaanien pitoisuudet olivat keskimäärin 8,5 µg/g (vaihteluväli 3,3–12 µg/g) ja voimayhtiön työntekijöiden 11 µg/g (0,9–37 µg/g). Caraipén sivualtaalla kalastavilla samoin kuin altaan yläjuoksulla Ipixunassa kalastavilla hiusten keskimääräiset elohopeapitoisuudet olivat alhaisemmat kuin pääaltaan kalastajilla (taulukko 1).

Altaalla kalastavilla petokalaa syöville miehillä elohopeapitoisuus korreloi tilastollisesti merkitsevästi kala-aterioiden lukumäärän kanssa (korrelaatiokerroin 0,7, $p < 0,01$, kuvio 1). Kasvissyöjäläisiä oli aineistossa vähän. Heillä hiusten elohopeapitoisuudet olivat kuitenkin merkittävästi alhaisemmat (keskiarvo 10,0 µg/g).

Naisia ja lapsia tutkimusaineistossa on vähän, koska kalastajaväestö on miesvaltaista. Perheen sisäisiä eroja kuitenkin havaittiin; naisilla ja lapsilla oli vähemmän elohopeaa hiuksissa kuin miehillä.

Alueellisessa vertailussa Ipixuna, Caraipé, pääallas ja läheinen kaupunki Tucuruí eivät tässä tutkimusaineistossa eronneet toisistaan merkittävästi henkilöiden kalansyönnin tai iän suhteen. Ipixunan alueen keskimääräiset hiusten elohopeapitoisuudet olivat tilastollisesti merkitsevästi matalampia kuin muiden alueiden pitoisuudet ($p < 0,05$).

KALANSYÖNTI SELITTÄÄ KORKEAT PITOISUUDET

Kalaravintoa pidetään metyylielohopean pääreitteinä ihmiseen, ja siksi voidaankin laskea, paljonko kalaa on syötävä, jotta hiusten elohopeapitoisuus nousee tietylle tasolle. Yli 700 ihmistä käsittäneen tutkimuksen valossa japanilaiset ovat esittäneet, että 60 kg painava mies tarvitsisi 0,3 mg elohopeaa päivässä saadakseen hiuksiinsa 50 µg/g elohopeaa (10). Vastaavia tu-

loksia ovat saaneet myös ruotsalaistutkijat (11). Tucuruín altaan yleisimmin syödyissä kaloissa elohopeaa oli noin 1 µg/g (9), joten kalaa tulisi syödä noin 330 grammaa päivässä. Tämä vaikuttaa mahdolliselta määrältä, syövähän tutkitut henkilöt useita kala-aterioita päivässä. Kalan syöminen näyttäisi siis varsin vakuuttavasti selittävän mitatut hiuspitoisuudet.

Alueellisessa vertailussa altaan alun eli IPIXUNAN todettiin eroavan tilastollisesti muista alueista hiusten elohopeapitoisuuksien suhteen; pitoisuudet olivat selvästi matalampia. Ainakin osan erosta selittänee se, että IPIXUNASSA syödään kasvissyöjäkalaa, jossa elohopeapitoisuus oli tutkimusaikana luokkaa 0,07—0,25 µg/g. Muilla alueilla yleisimmin syödyssä petokalassa pitoisuus oli 1,1—1,2 µg/g (9). IPIXUNAN kalastajat kuitenkin kertoivat syövänsä petokalaa, koska kasvissyöjäkalalla oli tutkimusaikana pyyntikielto. Lisäksi ihmiset liikkuvat altaalla paikasta toiseen jonkin verran, mikä pienentää alueiden välisiä eroja.

VERTAILUA MUIHIN TEKOALLASTUTKIMUKSIIN

Kun verrataan tämän tutkimuksen tuloksia muualla maailmassa sijaitsevilla tekoaltailla tehtyihin elohopeatutkimuksiin, voidaan todeta, että hiusten keskimääräiset elohopeapitoisuudet ovat tässä tutkimuksessa hieman korkeammat. Tähän päädytään, jos katsotaan CARAIPÉN sivualtaan kuvaavan pelkän altaan rakentamisen aiheuttamaa elohopeakuormaa ja verrataan kirjallisuusarvoja siihen. ASIAA on tutkittu myös Suomessa. LOKAN tekoaltaan kalaa syöneillä hiusten keskimääräinen pitoisuus oli 4,4 µg/g (0,02—27 µg/g) ja PORTTIPAHDAN kalaa syöneillä 5,9 µg/g (0,37—35 µg/g). Mittaukset tehtiin runsaat kymmenen vuotta altaiden täyttymisen jälkeen (12). KANADASSA tutkittiin tekoaltaalla kalastavien intiaanien hiusnäytteitä yhteensä lähes 5 000 ihmiseltä, ja paikoittain 25—35 prosentilla väestöstä hiusten elohopeapitoisuudet ylittivät tason 6 µg/g eli WHO:n asettaman turvarajan (13).

Korkeimmat pitoisuudet olivat luokkaa 40—50 µg/g (14). Trooppisilta altailta tietoja ihmisten hiusten elohopeapitoisuuksista ei ole saatavissa.

ETELÄ-AMERIKAN TILANNE

Amazonin alueen kalaa syövän väestön elohopeapitoisuuksien voidaan olettaa olevan luontaisesti korkeahkot, koska joki muuttaa jatkuvasti uomaansa ja veden alle joutuu luonnontilassakin uutta maaperää, josta elohopeaa voi irtautua. Lisäksi on esitetty, että hiusten ns. luontaiset elohopeapitoisuudet olisivat korkeammat 40. pohjoisen ja 40. eteläisen leveyspiirin välillä, koska korkeampi lämpötila edistää elohopean irtautumista maaperästä (15). Amazonin alueen taustapitoisuuksista ei kirjallisuudessa ole juuri tietoa, mutta taulukossa 2 on tuloksia eräistä tutkimuksista. YAMOMAMI-intiaaneilla tehdyssä tutkimuksessa arvot ovat tämän tutkimuksen arvoja selkeästi matalammat (16). Bolivian Amazonilla ja Etelä-Brasiliassa asuneet japanilaiset siirtolaiset söivät tämän tutkimuksen väestöön verrattuna selkeästi vähemmän kalaa (17). Myös Venezuelassa on tutkittu runsaasti kalaa syövien ihmisten hiusten elohopeapitoisuuksia, mutta kala oli lähinnä merikalaa (18). Perussa tutkittiin vähän kalaa syövien ihmisten hiuspitoisuuksia (19, taulukko 2).

Omassa aineistossamme taustapitoisuudet ovat kirjallisuusarvoja korkeampia (kts. taulukko 1, Parakana-intiaanit). Valittua taustaryhmää voidaan tosin kritisoida, koska ilmakulkeutumisen kautta elohopeaa on voinut jossakin määrin levitä myös intiaanireservaatin alueelle. Amazonilta on vaikea tällä hetkellä löytää runsaasti kalaa syövää väestöä, joka ei olisi edes ilmakulkeutumisen kautta joutunut elohopean kanssa kosketuksiin.

KULLANHUUHDONTA PAHENTAA TILANNETTA

Joitakin pienehköjä selvityksiä on Amazonin kullanhuuhdonta-alueellakin jo tehty (taulukko 2). Rion

yliopistossa tehdyssä tutkimuksessa tutkittiin hiusten elohopeapitoisuus yhdeksältä Madeira-joen kultakentällä työskentelevältä huuhtojalta, jotka syövät selkeästi enemmän lihaa kuin tämän tutkimuksen kalastajat (20). Samat tutkijat keräsivät kuusi näytettä myös Tapajo-joella asuvilta Mururunkuintiaaneilta, jotka syövät lähinnä kalaravintoa (taulukko 2).

Pohjoisbrasilialaisen tutkimusryhmän tulokset Länsi-Amazoniassa sijaitsevilta Cachoeiron ja Cumarún kultakentiltä kertovat kullanhuuhtojien elohopea-altistumisesta (21, taulukko 2), samoin Carajásin kulta-alueella tehty selvitys (22). Kullanhuuhtojat altistuvat myös suoraan metalliselle elohopealle, eivät vain sen metyyli-muodolle ruuan välityksellä. Hengityksen, ihokontaktin ja ruuan kontaminoitumisen kautta saatu metallinen elohopea aiheuttaa yleisimmin palautuvan oirekuvan, joka eroaa metyylielohopean aiheuttamasta yleensä palautumattomasta vauriosta. Tosin kummasakin oirekuvassa pääoireet ovat neurologisia (23). Hiuspitoisuus kuvaa kokonaiselohopea-altistusta.

ELOHOPEA MAAILMANLAAJUISESTI

Elohopeaongelmasta kirjoitettiin varsin runsaasti 60—70-luvuilla paitsi Japanissa, myös mm. Suomessa, Ruotsissa ja Kanadassa (24, 25, 26, 27). Viime vuosina on tehty selvityksiä runsaasti kalaa syövien väestöjen keskuudessa eri puolilla maailmaa (taulukko 3). Etenkin odottavia äitejä on tutkittu runsaasti.

Papua Uusi Guineassa Lake Murrayn alueella todettiin runsaasti kalaa syövien keskimääräiseksi hiusten elohopeapitoisuudeksi 18 µg/g (taulukko 3, 28). Syynä korkeisiin elohopeapitoisuuksiin pidettiin maaperän luontaisesti korkeita elohopeapitoisuuksia. Lähes päivittäin kalaa syövilta Grönlannin eskimoilta mitattiin 15 µg/g:n hiuspitoisuuksia vastaavat veripitoisuudet (29). Muunnettaessa käytettiin kirjallisuudessa mainittua veren ja hius-

TERVEYDENHUOLTO

TAULUKKO 1. Hiusten keskimääräiset elohopeapitoisuudet ja viikoittaisten kala-aterioiden määrä eri alueilla.

Paikka	n	Ateriaa/vko	Hg, µg/g	Vaihteluväli
Allas	45	14	65	6,1-240
Tucuruí	16	14	37	11-64
Caraipé	11	13	31	14-74
Yläjuoksu	18	13	10	1,2-34
Vila	15	1	11	0,9-37
Mojú	8	10	10	2,3-19
Parakantá	12	2	8,5	3,3-12

TAULUKKO 2. Etelä-Amerikassa tehtyjä elohopeatutkimuksia.

Paikka	n	Keskiarvo Hg, µg/g	Vaihteluväli	Viite
Bolivia	33	6,2	0,2-40	Tsugane 1987
Brasilia	20	2,2	0,4-9,2	
Yamomamit	24	1,0	0,3-1,4	Hecker 1977
Venezuela	135	2,0	0,4-6,1	Shestra 1987
Peru	128	0,8	0,1-3,5	Turner 1980
Amazonia:				
Madeira	9	9,2	0,2-40	Malm 1989
Mururunku	6	19	10-32	
Carajás	29	2,9	0,3-16	Fernandes 1989
Cumarú	16	5,2	2-14	Couto 1988
Cachoeiro	11	12	2-69	

TAULUKKO 3. Uusimpia elohopeatutkimuksia.

Paikka	n	Keskiarvo Hg, µg/g	Vaihteluväli	Viite
P.U. Guinea	114	18	4,2-58	Kyle 1982
Singapore	225	6	1,0-28	Foo 1988
Grönlanti	178	15		Hansen 1988
Fär-saaret (n)	1025	4,5		Grandjean 1992
Seychellit (m)	40	26	5,5-68	Matthews 1983
(n)	36	12	4,2-33	
(l)	36	15	2,1-47	
Sevilla (n)	50	2,9	0,15-20	Soria 1992

m = miehet

n = naiset

l = lapset

ten kokonaiselohopean suhdetta 1:250 (23).

Färsaarilla tutkittiin hiljattain synnyttäneitä äitejä, joiden pääasiallisena elohopean lähteenä tutkijat pitivät valaan lihaa (30). Seychelleillä tutkittiin kalastajia, juuri synnyttäneitä äitejä ja vastasyntyneitä lapsia. Heillä keskimääräinen arvo oli 15 µg/g (31). Myös Espanjan Sevillassa tutkittiin juuri synnyttäneiden äitien hiuspitoisuuksia (32, taulukko 3).

MITEN TÄMÄN TUTKIMUKSEN PITOISUUDET VAIKUTTAVAT?

Elohopeaa lähinnä allergeeninä käsittelevä kirjoitus julkaistiin tässä lehdessä runsas vuosi sitten (33). Pienten elohopeapitoisuuksien on todettu vaikuttavan immuunijärjestelmään. Viime aikoina on tutkittu etenkin metyylielohopean genotoksisuutta esimerkiksi bakteerisoluille koeolosuhteissa

(34) ja ihmisten lymfosyyteissä (35).

Metyylielohopean aiheuttamia vaurioita on etsitty eräissä tutkimuksissa hyvinkin matalilla hiuspitoisuuksilla (19,36). Lähinnä ruotsalaistutkijoiden tulosten perusteella pidettiin yli 6 µg/g:n hiuspitoisuutta alkavan myrkytyksen merkinä (13). Nykykäsityksen mukaan metyylielohopea aiheuttaa erittäin monipuolisia hermostollisia oireita. Aikaisem-

min etsittyjen selkeiden Minamata-tauti kriteerien otaksutaan muotoutuneen lähinnä vakuutusoidellista syistä; sadat japanilaiset odottavat vieläkin korvauksia Minamatan elohopeasaastumisen seurauksista (Harada M, henkilökohtainen tiedonanto).

WHO:n selonteon mukaan hiusten 50 µg/g:n elohopeapitoisuuden (joka vastaa 0,2 mg:n päivittäistä elohopea-annosta) voidaan olettaa aiheuttavan aikuisilla neurologisten häiriöiden riskin (23). Metyylielohopea vaurioittaa etenkin kehityksessä olevia aivoja, ja sikiön tiedetäänkin olevan aikuisia herkempi vaurioille (23,37,38). Syntyvän lapsen psykomotorista jälkeensä jääneisyyttä on voitu joissakin tutkimuksissa todeta jo äidin hiusten elohopeapitoisuuden ollessa raskausaikana keskimäärin 20 µg/g (23). Uudessa Seelannissa tehdyssä tutkimuksessa nelivuotiailla lapsilla todettiin hidastunutta kehitystä, kun äidin raskaudenaikainen hiuspitoisuus oli välillä 6–86 µg/g (toiseksi suurin arvo oli 20 µg/g, 39). Tutkijat totesivat, että 13–15 µg/g:n keskimääräisellä raskaudenaikaisella äidin hiusten elohopeapitoisuudella voi olla yhteys lapsen heikkoon testitulokseen Denver-testissä (40). Huippupitoisuudet olivat tutkimuksessa noin 25 µg/g. Kanadan Cree-intiaaneja tutkittaessa runsaan kahdensadan äidin hiuspitoisuuksien keskiarvo oli 6 µg/g, ja vain 6 prosenttia äideistä ylitti arvon 20 µg/g. Poikalapsilla todettiin silti lievää refleksiä ja lihastuonuksen epänormaaliutta, jonka aiheuttajasta tutkijat olivat kuitenkin epävarmoja (41).

Kuvaamassamme Tucuruín altaan elohopeatutkimuksessa 86 prosentilla aikuisista hiusten elohopeapitoisuus ylitti mainitun WHO:n turvarajan 6 µg/g (n = 147). 56 näytettä ylitti arvon 20 µg/g, 31 arvon 50 µg/g ja 7 arvon 100 µg/g. Sikiövaurioiden riski näillä pitoisuuksilla on varteenotettavan suuri.

LOPUKSI

Taloudellisen ahdingon ja suuromistajille painottuvan maanomis-

tuksen vuoksi Brasiliassa on runsaasti köyhää väestöä, joka kulkeutuu kaupunkien laidolle, huuhtoo kultaa tai yrittää saada elantonsa laittomina pientilallisina. Näiden vaihtoehtojen rinnalla elämä trooppisella saarella kalaravinnon turvin on houkuttelevaa. Tämän vaihtoehdon valinneiden on vaikeaa ymmärtää näkymättömänä vaaniva elohopean uhka. Valistuksella, joka tähtää petokalojen käytön vähentämiseen, voidaan tilannetta Tucuruissa jonkin verran parantaa. Toimia elohopeasaastumisen vähentämiseksi tulisi kuitenkin ehdottomasti tehostaa. Sähkövoima ja kullat tuomat dollarit asettunevat tosin lievien sikiövaurioiden selvittämisen edelle; suuri osa Brasilian tieteseen ja tutkimukseen suuntaamista varoista menee kuluvanakin vuonna avaruusohjelmaan (42).

KIRJALLISUUTTA

- 1 Cleary D. Anatomy of the Amazon Gold rush. St. Anthony's College, The Macmillan Press LTD, Oxford 1990.
- 2 Pfeiffer WC, Lacerda LD. Mercury inputs into the Amazon region, Brazil. *Environmental Technology Letters* 1988;9:325–330.
- 3 Hopps HC. The biologic bases for using hair and nail for analyses of trace elements. *Sci Total Environ* 1977;7:71–89.
- 4 Phelps RW, Clarkson TW, Kershaw TG, Wheatley B. Interrelationships of blood and hair mercury concentrations in a North American population exposed to methylmercury. *Arch Environ Health* 1980;35:161–168.
- 5 Katz SA, Katz RB. Use of hair analysis for evaluating mercury intoxication of the human body: a review. *J Appl Toxicol* 1992;12:79–84.
- 6 Aula I, Braunchweiler H, Leino T ym. Levels of mercury in the Tucuruí reservoir and its surrounding area in Pará, Brazil. Trace substances in the Environment 1993, painossa.
- 7 Kosta L, Horvat M, Byrne AR, Stegnar P. Determination of methylmercury, total mercury and selenium in human hair by gas liquid chromatography and cold vapour atomic absorption spectrophotometry. Paper presented at the joint — WHO/FAO/UNEP meeting "Mediterranean Health Related Environmental Quality Criteria", Bled, 12–16 September, 1989.
- 8 Nuorteva P, Autio S, Lehtonen J ym. Levels of iron, aluminium, zinc, cadmium and mercury in plants growing in the surroundings of an acidified and a non-acidified lake in Espoo, Finland. *Ann Bot Fennici* 1986;23:333–340.
- 9 Porvari P. Elohopean kertyminen kaloihin Tucuruín tekoaltaassa, Brasilian Amazoniassa. Pro gradu-tutkielma, Helsingin yliopisto, limnologian ja ympäristönsuojelun laitos 1992.
- 10 Kojima K and Araka T. Normal mercury levels in food in Japan (Data of the polluted area are excluded) 1972. Stencils, Tokio, 1, 1972.
- 11 Swedish expert group. Methylmercury in fish. A toxicological-epidemiological evaluation of risks. *Nord Hyg Tidskr* 1971;4(suppl):19–364.
- 12 Lodenius M, Seppänen A, Herranen M. Accumulation of mercury in fish and man from reservoirs in Northern Finland. *Water Air Soil Pollut* 1983;19:237–246.
- 13 WHO. Environmental Health Criteria 1: mercury. Geneva 1976.
- 14 Canada-Manitoba Agreement on the study and monitoring of mercury in the Churchill River Diversion, Technical Appendices to the Summary Report. 1987:vol 4.
- 15 Airey D. Total mercury concentrations in human hair from 13 countries in relation to fish consumption and location. *Sci Total Environ* 1983;31:157–180.
- 16 Hecker LH, Allen HE, Dinman BD, Neel JV. Heavy metal levels in acculturated and unacculturated populations. *Arch Environ Health* 1974;29:181–185.
- 17 Tsugane S, Kondo H. The mercury content of hair of Japanese immigrants in various locations in South America. *Sci Total Environ* 1987;63:69–76.
- 18 Shrestha KP, Fornerino I. Hair mercury content among residents of Cumana, Venezuela. *Sci Total Environ* 1977;63:77–81.
- 19 Turner MD, Marsh DO, Crispin Smith J ym. Methylmercury in populations eating large quantities of marine fish. *Arch Environ Health* 1980;35:367–378.
- 20 Malm O, Pfeiffer W C, Souza C M M, Reuther R. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira River Basin, Brazil. *Ambio* 1990;19:11–14.
- 21 Couto RC, Camara VM, Sabroza PC. Intoxicacao mercurial: resultados preliminares em duas areas garimpeiras no Estado do Pará. *Pará Desenvolvimento* 1988;23 Jan/jun:63–67.
- 22 Fernandes RS, Guimares AD, Bidone ED, Lacerda LD, Pfeiffer WC. Monitoramento do Mercurio na Area do Projeto Carajas da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), Estado do Pará, Brasil. Paper presented in the international conference "Control of pollution by mercury in the Amazon: New technologies and environmental education". Belém, Brazil 4.–6.12.1989. Companhia Vale do Rio Doce. Rio de Janeiro 1989.
- 23 WHO. Environmental Health Criteria 101, International Programme on Chemical safety. Geneva. 1990.
- 24 Nuorteva P, Soveri J. Elohopeasade. Tammi, Helsinki 1979.
- 25 Birke G, Johnels AG, Plantin L, Sjöstrand B, Westermark T. Metyylkvicksilfverförgiftning genom förtäring av fisk? *Läkartidning* 1967;37:3628–3637.
- 26 Birke G, Johnels AG, Plantin L, Sjöstrand B, Westermark T. Studies on humans exposed to methyl mercury through fish consumption. *Arch Environ Health* 1972;25:77–91.
- 27 Harada M, Fujino T, Agagi T, Nishigaki S. Mercury contamination in human hair at Indian reserves in Canada. *Kumamoto Med J* 1977;30:57–64.
- 28 Kyle JH, Ghani N. Methylmercury in Human Hair: A study of Papua New Guinean population exposed to methylmercury through fish consumption. *Arch Environ Health* 1982;37:266–270.
- 29 Hansen JC, Wulf HC, Kormann N, Alog K. Human exposure to heavy metals in East Greenland. I. Mercury. *Sci Total Environ* 1983;26:233–243.
- 30 Grandjean P, Weihe P, Jorgensen PJ, Clarkson T, Cernichiari E, Videro T. Impact of maternal seafood diet on fetal exposure to mercury, selenium, and lead. *Arch Environ Health* 1992;47:3:185–195.
- 31 Matthews AD. Mercury content of commercially

TERVEYDENHUOLTO

- important fish of the Seychelles, and hair mercury levels of a selected part of the population. *Environ Res* 1983;30:305—312.
- 32 Soria ML, Sanz P, Martinez D ym. Total mercury and methylmercury in hair, maternal and umbilical blood, and placenta from women in the Sevilla area. *Bull Environ Contam Toxicol* 1992;48:494—501.
- 33 Komulainen M, Kanerva L, Tuomiranta M, Estlander T, Jolanki R, Förström L. Elohopea allergeenina ja ympäristömyrkkynä. *Suom Lääkäril* 1992;47:156—162.
- 34 Panda KK, Lenka M, Panda BB. Monitoring and assessment of mercury pollution in the vicinity of the chloralkali plant. III. Concentration and genotoxicity of mercury in the industrial effluent and contaminated water of Rushikulya Estuary. *Mutat Res* 1992;280:149—160.
- 35 Betti C, Davini T, Barale R. Genotoxic activity of methyl mercury chloride and dimethyl mercury in human lymphocytes. *Mutat Res* 1992;281:255—260.
- 36 Valciukas JA, Levin SM, Nicholson WJ, Selicoff IJ. Neurobehavioral assessment of Mohawk Indians for subclinical indications of methyl mercury neurotoxicity. *Arch Environ Health* 1986;41:269—272.
- 37 Marsh DO, Myers GJ, Clarkson TW ym. Dose-response relationship for human fetal exposure to methylmercury. *Clinical toxicology*. 1981;18(11):1311—1318.
- 38 Cox C, Clarkson TW, Marsh DO, Amin-Zaki, Tikriti S, Myers G. Dose response analysis of infants prenatally exposed to methyl mercury: an application of single compartment model to single-strand hair analysis. *Environ Res* 1989;49:318—332.
- 39 Kjellström T, Kennedy P, Wallis S, Mantell C. Physical and mental development of children with prenatal exposure to mercury from fish. Stage 1. Preliminary tests at age 4, Solna, National Swedish Environmental Board Report No 3080, 1986.
- 40 Kjellström T, Kennedy P, Wallis S ym. Physical and mental development of children with prenatal exposure to mercury from fish. Stage 2. Interviews and psychological tests at age 6, Solna, National Swedish Environmental Board Report No 3642, 1989.
- 41 McKeown-Eyssen GE, Ruedy J, Neims A. Methyl mercury exposure in Northern Quebec II. Neurologic findings in children. *Am J Epidemiol* 1983;118(4):470—479.
- 42 Brazilian science budget looks good on paper. *Nature* 1993;363:106.

Kirjoittajat

Tuija Leino

LL

Helsingin yliopisto, limnologian ja
ympäristönsuojelun laitos ja
kansanterveyslaitos

Martin Lodenius

vt. professori

Helsingin yliopisto, limnologian ja
ympäristönsuojelun laitos