

Seminarieuppsatser nr 211

# Agroforestry och dess påverkan på den biofysiska miljön i Afrika. En litteraturstudie om samspel mellan träd, mark och grödor.

---



*Irina Popova*

2011

Institutionen för Geo- och Ekosystemvetenskaper

Naturgeografi och Ekosystemanalys

Lunds Universitet

Sölvegatan 12

223 62 Lund





# Agroforestry och dess påverkan på den biofysiska miljön i Afrika.

---

**En litteraturstudie om samspel mellan träd, mark och grödor.**

Irina Popova

Kandidatuppsats i Naturgeografi och Ekosystemanalys, 15 hp

Vårterminen 2011

Handledare:

Lars Eklundh, Lunds universitet

Institutionen för Geo- och Ekosystemvetenskaper  
Naturgeografi och Ekosystemanalys  
Lunds universitet



## Förord

Idén till den här kandidatuppsatsen föddes efter att jag hade läst Göran Djurfeldts bok "*Mera mat. Att brödföda en växande befolkning*" som handlar om jordbruk och landsbygdsutveckling. Den väckte ett intresse för detta spännande ämne och lärde mig många samband mellan naturen och människor i olika delar av världen.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Lars Eklundh för vägledning inom ett oerhört brett ämne, och många konstruktiva synpunkter under arbetets gång. Jag vill även tacka vänner som visat intresse och hjälpt med korrekturläsning och gett mig inspiration till vissa förbättringar.

**Framsida:** Agroforestry i Burkina Faso med *Borassus akeassii* och *Faidherbia albida* träd samt majs (Schmidt, 2004).



Irina Popova

## **Abstract**

*Agroforestry and its influence on the biophysical environment in Africa.  
A literature review on interactions between trees, soils and crops.*

Agroforestry is an agricultural system where crop farming is combined with trees on the same land. The steadily decreasing soil fertility is considered to be the primary constraint to increased crop yields, and it is vital to replenish the nutrients lost by plant uptake or removal by erosion and leaching for a sustainable food production. Several African countries have for tens of years received food aid and the lack of provision reserves have, during periods of severe drought, resulted in famine. The old production models are no longer suitable if the food production is to be doubled by 2050. Planting trees has in many cases showed an increased productivity of agricultural systems, due to the subsequent positive effects on the biophysical environment. In this paper I try to investigate whether agroforestry can contribute to a better farming environment, by observing the impact on the individual factors and processes, and try to see parallels and discuss what knowledge is lacking. The biophysical factors that generally improve are among others: i) air and topsoil temperature, which decrease due to the shading created by trees, ii) nutrients accumulate beneath the tree canopy partly because of the redistribution from beyond the canopy by roots and partly due to biological nitrogen fixation of atmospheric N<sub>2</sub> by some leguminous species, iii) the loss of nutrients through erosion and leaching can be prohibited by the presence of trees. The factors that can be deteriorated are among others the crop productivity underneath the tree canopy due to shading. The positive effects of agroforestry systems on the environment and productivity must be weighed against the negative; if the competition between trees and crops for resources (light, water and nutrients) is larger than the abundance of these resources, no benefits can be attained, neither an increase in productivity of the system, nor an improvement of environmental conditions. A better understanding of interactions between trees, soils and crops is necessary before the real benefits of agroforestry can be exploited. In order to understand agroforestry on a bigger scale, it has to evolve from being multidisciplinary to become a new branch of science.

**Key words:** physical geography, agroforestry, soil improvement, biophysical interactions, nutrients, competition





Irina Popova

## Sammanfattning

*Agroforestry och dess påverkan på den biofysiska miljön i Afrika.  
En litteraturstudie om samspel mellan träd, mark och grödor.*

Agroforestry är ett jordbrukssystem där odling av grödor kombineras med träd på samma jordbruksytor. Då den stadigt minskande markbördigheten ses som den främsta begränsningen till ökade skördar, är det nödvändigt för en hållbar matproduktion att näringsämnen som tas upp av grödor från marken, eller försvinner på grund av erosion och urlakning, fylls på. Många länder i Afrika har i flera årtionden fått livsmedelsbistånd och bristen på ett livsmedelsförråd har, under perioder med svår torka, lett till svältkatastrofer. De gamla produktionsmodellerna är inte användbara om matframställningen ska fördubblas till 2050. Agroforestry har i många fall visat sig öka avkastningen på skörden på grund av biofysiska faktorer som förbättras tack vare träden. Arbetet undersöker om agroforestry kan bidra till en förbättrad odlingsmiljö, genom att iaktta de individuella faktorerna som påverkas samt försöka dra paralleller och diskutera vilken kunskap som fortfarande saknas. De biofysiska faktorer som generellt förbättras är bland annat: i) luft- och marktemperatur som sjunker på grund av trädens skuggning, ii) näringsämnen koncentreras under trädet dels genom att rötterna förflyttar de existerande näringsämnena, dels genom att vissa träd fixerar kväve från luften, iii) träd kan förhindra att näringsämnen försvinner från området genom erosion och urlakning. Faktorer som försämras är bland annat att mindre ljus når grödor, på grund av trädens skuggning, vilket kan försämra produktiviteten. Den positiva effekten av trädplantering i ett jordbruksland måste vägas mot de negativa; om konkurrensen mellan träd och grödor om resurser som ljus, vatten och näring blir för stor kan ingen förbättring av varken avkastning eller jordkvalité ske. En bättre förståelse av samspel mellan träd, mark och grödor krävs innan de verkliga fördelarna med agroforestry kan utnyttjas till fullo. Om agroforestry ska kunna förstås i ett större perspektiv måste agroforestry gå från ett tvärvetenskapligt ämne till en egen vetenskap.

**Nyckelord:** naturgeografi, agroforestry, markförbättring, biofysiska samspel, näringsämnen, konkurrens

# Innehållsförteckning

Förord.....	1
Abstract.....	3
Sammanfattning.....	5
Innehållsförteckning.....	6
1. Introduktion.....	7
2. Samspel mellan träd, mark och grödor.....	9
2.1 Markens fertilitet.....	11
2.1.1 Biomassa och förflyttning av befintliga näringsämnen.....	11
2.1.2 Kvävefixering.....	13
2.1.4 Skydd mot urlakning.....	15
2.1.5 Påverkan på grödor.....	15
2.2 Påverkan på mikroklimatet.....	16
2.2.1 Skugga.....	16
2.2.2 Vattentillgång.....	17
2.3 Erosion.....	17
2.4 Konkurrens.....	18
3. Klassificering av agroforestry-system.....	21
3.1 Agroforestry-bruk som är karaktäristiska för de stora ekologiska regionerna i Afrika.....	22
4. Diskussion.....	25
5. Källor.....	27
6. Appendix.....	30
Appendix I. Egenskaper i de största ekologiska regionerna som är av vikt för agroforestry. ..	30
Appendix II. Trädarter för förbättring av marken.....	31

# 1. Introduktion

Agroforestry, eller trädjordbruk, är ett traditionellt jordbrukssystem som har funnits i minst 1300 år (Brookfield and Padoch, 1994) och tillämpas av miljontals bönder över hela världen (Ilany et al., 2010). Det finns otaliga exempel på traditionella bruk, som varierar beroende på land och område, där träd och grödor har kombinerats på samma mark (Nair, 1993). Ett genom historien mycket tillämpat system är att bränna kalhyggen (svedjebbruk) och odla grödor på dessa områden och antingen före, under eller efter att man planterar grödor, plantera nya träd (Steppler and Nair, 1987). Detta system förekommer fortfarande i många delar av världen (Djurfeldt, 2001). I tropiska delar av världen har många samhällen under en lång tid simulerat skogens ekosystem i sina egna trädgårdar, ofta på väldigt små jordlotter där man planterat ett tiotal träd för att utnyttja de gynnsamma effekterna av den blandade tropiska skogen. Bonden kunde plantera träd som kokospalm eller papaya, följt av ett lägre lager av bananer, ett busklager av kaffe eller kakao, ettåriga grödor som majs och sist ett marklager av squash (Wilken, 1976).

Agroforestry kan definieras som ett dynamiskt, ekologiskt baserat skötselsystem av naturresurser som, genom integrering av träd på jordbruksland och betesmark, diversifierar och upprätthåller produktion för ökade sociala, ekonomiska och miljömässiga fördelar (Leakey, 1996). Det är en övergripande beskrivning av alla typer av markanvändning där man kombinerar fleråriga träd med låg vegetation (antingen jordbruksmark eller betesmark) med eller utan boskap (Ståhl, 2005) som i grunden indelas i *simultan agroforestry* där träd och grödor växer under samma tidsperiod, eller *sekventiell agroforestry* där de växer under olika perioder (Sanchez, 1995).

Agroforestry gick från att vara en lokal kunskap till att utgöra förgrunden av jordbruksforskningen på 70- och 80-talet, och spåddes vara en hållbar lösning för jordbruksproblematiken, som kombinerade jordbrukets och skogsbrukets bästa sidor (Sanchez, 1995). Då den stadigt minskande markbördigheten ses som den främsta begränsningen för ökade skördar är det nödvändigt för en hållbar matproduktion att näringsämnen som tas upp av grödor från marken, eller försvinner på grund av erosion och urlakning, fylls på (Ståhl, 2005). Då kostnaden för konstgödsel är för hög för många bönder och då tillgången kan vara begränsad, blir alternativa lösningar som agroforestry nödvändiga (Giller and Cadisch, 1995). Cannell et al. (1996) framhåller att den centrala hypotesen för all forskning inom agroforestry är att man kommer att få fördelar av att odla träd med grödor bara när träd kan ta till vara på resurser som vatten, ljus och näring som grödorna annars inte skulle kunna ta till vara på.

Uppfattningen om agroforestryns potential grundades i början dock på anekdotisk information som i efterhand visat sig komma från områden med hög potential, där vatten och näring inte var de största begränsande faktorerna. System som man hade störst förhoppningar för på 80-talet visade sig bara ge begränsade resultat. När träd och grödor växer i anslutning till varandra kan de interagera positivt (komplementärt) eller negativt (konkurrens). Grunden för att agroforestry ska

lyckas är att komma på hur man hanterar detta samspelet om ljus, näring och vatten mellan träd och grödor eller boskap på ett sätt som tjänar ens syfte. Den entusiasmen som man hade i början byggdes på antagandet att träd och grödor komplementerar snarare än tävlar mot varandra om de tillgängliga resurserna (Sanchez, 1995).

Afrika är världens fattigaste kontinent. Befolkningsmängden ökade med nära en tredjedel mellan 1998 och 2010 till 1,03 miljarder och med dagens tillväxttakt räknas folkmängden ha fördubblats till år 2050 (Population Reference Bureau, 2010). Den snabba befolkningsökningen sätter hård press på naturresurser och livsmedelsförråd. Över hälften av Afrikas befolkning är beroende av jordbruk för sitt levebröd och jordbruket är den huvudsakliga näringen i många länder. Många länder i Afrika har i flera årtionden fått livsmedelsbistånd och bristen på ett livsmedelsförråd har, under perioder med svår torka, lett till svältkatastrofer som i Etiopien på 80-talet eller i Somalia på 90-talet (Hudson, 2000). Försök att öka livsmedelsproduktionen genom att öka jordbruksarealen har lett till stora miljöproblem då man avskogade 50 miljoner hektar under 1980-talet. Brist på ved, virke och betesmarker blev de direkta konsekvenserna (Franzel and Scherr, 2002). Utarmningen av markens resurser som kväve, fosfor och kalium till följd av en ökad jorderosion, urlakning, borttagning av växtrester och brist på spillning blev de indirekta konsekvenserna (Teklay and Malmer, 2004). Det äldsta agroforestry-systemet, skiftesbruk, är hållbart om trädan är tillräckligt lång, vilket tillåter kvävehalterna i marken att återhämta sig och ge en större skörd nästa gång man sår. Men en ökad befolkning sätter större press på markanvändningen och bönderna blir tvungna att minska eller helt ta bort trädan (Ståhl et al., 2002).

Det finns en medvetenhet om att man måste förändra matframställningen och att man kan dra nytta av träden för det syftet. Om befolkningsökningen fortsätter i samma takt som idag, måste matproduktionen fördubblas till 2050. Då kan man inte fortsätta genom att göra mer av samma: fördubbla användningen av konstgödsel, användningen av bränsle, användningen av bekämpningsmedel och så vidare. De gamla produktionsmodellerna är inte användbara för dagens verklighet. Det behövs nya lösningar och agroforestry har bra förutsättningar att vara en av dem (Pye-Smith, 2010).

Därför är syftet med detta arbete att försöka förmedla en heltäckande bild av agroforestry-system i Afrika genom att grundläggande förklara teorin om de olika biofysiska faktorernas samspel, det vill säga de abiotiska och biotiska processerna som påverkar organismer, deras levnadsmiljö och överlevnad. Exempel kommer att ges från forskning om olika trädarter och grödor i termer som kvävefixering, konkurrens, påverkan på mikroklimat, markförhållanden med mera.

Frågor som ska besvaras i detta arbete är:

- ♣ Vilka biofysiska faktorer påverkas av agroforestry och på vilket sätt?
- ♣ Hur fungerar samspelet mellan träd, mark och grödor i ett agroforestry-jordbruk?
- ♣ Vad finns det för olika typer av agroforestry-jordbruk?

## 2. Samspel mellan träd, mark och grödor

Klimat, organismer, topografi samt modermaterial (bergarten som jorden har bildats från) och deras samspel i tiden är de styrande faktorerna för jordbildning och jordarnas egenskaper. Även träd påverkar markens egenskaper på flera sätt. De påverkar inflöden till marken genom att förbättra användningen av regnvatten, fånga upp vindburna partiklar och höja kvävehalten i marken genom kvävefixering. De påverkar markens morfologi och kemiska egenskaper när förna bryts ner. Kemiska och fysiska egenskaper av beståndsdelar som löv, barr, grenar och rötter påverkar nedbrytningen och näringstillgången. Extensiva rotsystem omfördelar näringsämnen och koncentrerar dessa under trädkronan (Rhoades, 1997).

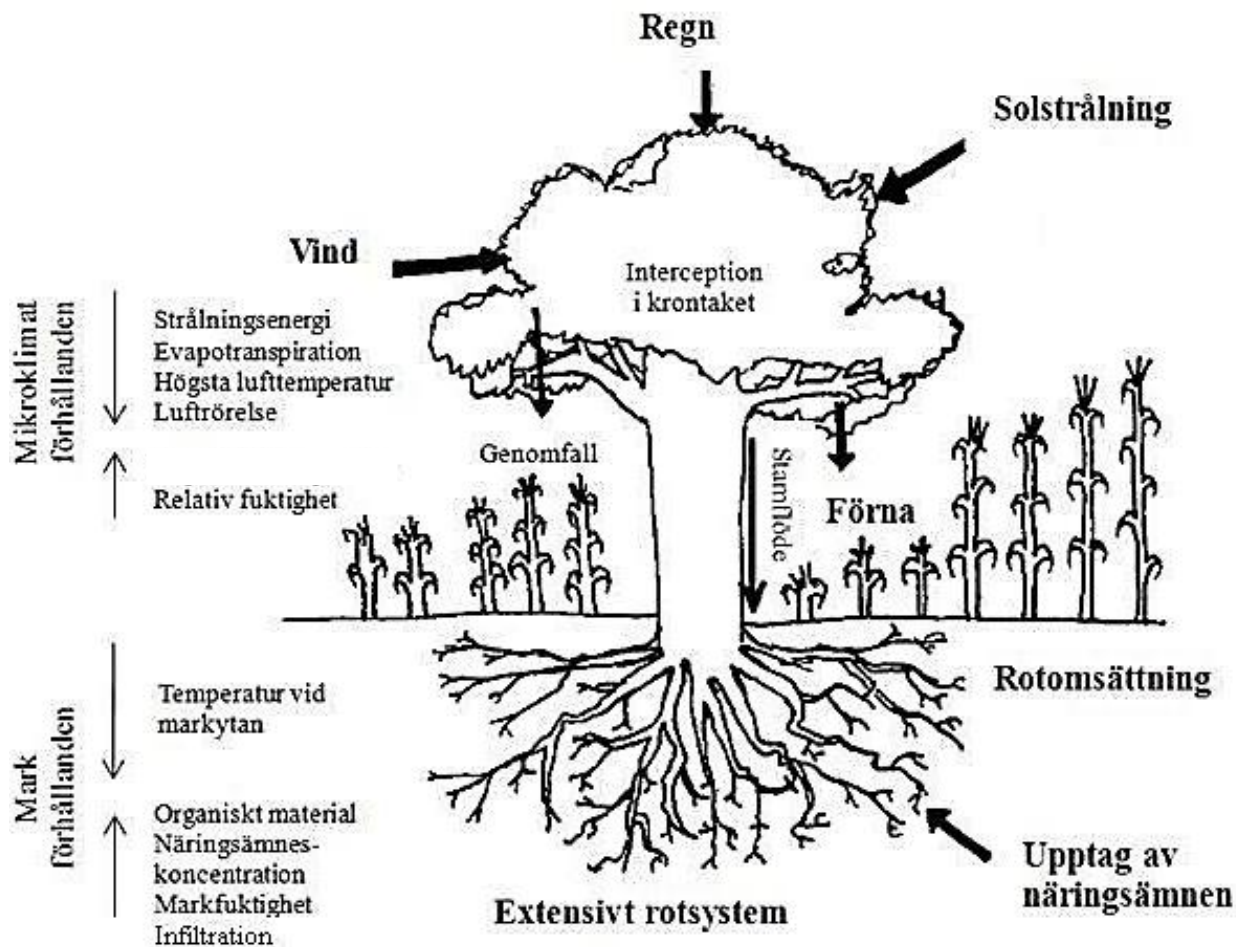
Att förstå skillnader i samspelet mellan träd och mark för olika arter är viktigt om man ska kunna se positiva effekter av agroforestry. Utmaningen är att avgöra vilka system med vilka arter och i vilken miljö som kommer att ge de önskvärda resultaten (Rhoades, 1997). Nair (1993) gjorde en sammanställning av trädens effekt på marken (Tabell 1). Forskningen som har gjorts är dock ofta utförd på forskningsstationer och inte på agroforestry-bruk som är skötta av bönder (Franzel and Scherr, 2002).

Tabell 1. Trädens effekter på marken (Nair, 1993).

<b>Positiva effekter</b>
<b>Tillförsel</b>
Produktion av biomassa (förna och rotnedbrytning) – förbättring eller bevarande av organiskt innehåll i marken
Kvävefixering
Påverkan på distribution av nederbörd– påverkar mängden näringstillförsel genom regn och stoft
<b>Reducerad förlust</b>
Skydd mot vatten- och vinderosion – minskar förlusten av jord och näringsämnen
Näringsåtervinning – upptag från djupare marklager och deposition vid markytan, bevarande av näringsämnen som annars hade urlakats
<b>Indirekta effekter</b>
Mikroklimatiska – mer optimal temperatur, mindre vattenförlust genom evapotranspiration
<b>Negativa effekter</b>
Konkurrens om vatten, ljus och näringsämnen
En förlust av näringsämnen genom borttagning av biomassa från systemet

Både i skogsbestånd och på individuell nivå påverkar träden markens kemiska, fysiska och biologiska egenskaper genom deras påverkan på energi- och näringsflöden till, från och inom ekosystemet. Inom agroforestry är antagandet att markförbättringen skapad av träd kan utnyttjas för produktionssystem, antingen simultana, till exempel allé-odling, eller sekventiella, till exempel roterande skiftesbruk (Rhoades, 1997). En bättre förståelse av de biofysiska processernas samspel i agroforestry är en förutsättning för att kunna förbättra både traditionella system och system som är under utveckling (Rao et al., 1997).

Samspel kan definieras som påverkan av en komponent i systemet på hur en annan komponent och/eller hela systemet uppträder (Nair, 1993). När man studerar samspel är det nödvändigt att undersöka en mängd komplexa processer (Tabell 1). Men dessa kan förenklas om man kategoriserar enligt de faktorer som påverkas mest (Akyeampong et al., 1995). Dessa relaterar till markens fertilitet, konkurrens, mikroklimat och markskydd (Rao et al., 1997). Skillnaden på simultana och sekventiella system är att man undviker det direkta samspelet mellan komponenter, med andra ord konkurrensen i ett sekventiellt system. Om man odlar på en liten yta försvinner dock avgränsningen mellan simultana och sekventiella system, det blir istället en mosaik av olika bruk. Det största problemet med simultana agroforestry bruk är hur man bevarar trädens positiva effekter på markens kemiska och fysiska egenskaper och samtidigt minskar konkurrensen om de begränsande resurserna (Odhiambo et al., 2001). Figur 1 sammanfattar trädens påverkan på biofysiska faktorer som beskrivs i detta kapitel.



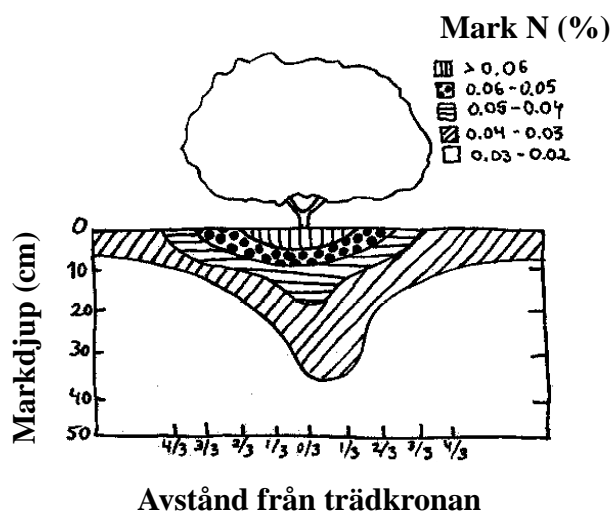
Figur 1. En sammanfattning av de biofysiska faktorer som påverkas i ett agroforestry-jordbruk. i) Trädens skuggning innebär mindre strålningsenergi som når grödorna och marken. ii) Luft- och marktemperaturen sjunker iii) En sänkning av temperaturen leder till lägre evapotranspiration och högre luft- och markfuktighet. iv) Träden skapar vindskydd. v) Krontaket omfördelar nederbörden vi) Rötterna gör marken mer porös vilket ökar infiltrationen. vii) Rötterna tar upp näringsämnen både från djupare marklager och från bortom krontaket, som sedan återvinns när förnan bryts ner, vilket innebär en omfördelning av befintliga näringsämnen viii) Förnan bidrar till ökat organiskt innehåll i marken, det vill säga en ökad näringsämneskoncentration genom att döda grenar, löv, rötter etc. bryts ner. Anpassad från Rhoades (1997).

## 2.1 Markens fertilitet

### 2.1.1 Biomassa och förflyttning av befintliga näringsämnen

I ett system med mark och växter, är näringsämnena i ett tillstånd av ständig förflyttning. Växterna använder näringsämnena från marken till metabolism och återför dem i form av döda löv och rötter under tiden de växer. Förnan, eller den döda biomassan, bryts ner av mikroorganismer i marken och ämnen som var bundna i plantan mineraliseras från organiskt

material till oorganiska beståndsdelar som CO<sub>2</sub>, mineralnäringsämnen och vatten och blir återigen tillgängliga att användas. Agroforestry och andra träd-baserade jordbrukssystem sägs ha större potential att förbättra markens fertilitet i och med att de förbättrar denna näringscykel. Detta på grund av deras, teoretiskt sett, mer extensiva och djupare rotsystem i jämförelse med grödor och därmed en högre potential att uppta och återanvända en större mängd näringsämnen. Träd producerar även mer förna än grödor vilket bidrar till en ökad humusmängd, det vill säga en ökad organisk halt i jordar kring träd (Nair, 1993). Förnans kemiska egenskaper som innehåll av kväve och fosfor påverkar näringsinnehållet i humusen, alltså påverkas markfertiliteten olika av olika träddarter. Förbättrade mark- och mikroklimatförhållanden skapar ”öar av bördighet” (Figur 2) som kan ge fördelar för vegetationen under krontaket (Rhoades, 1997).



Figur 2. Kväveisolinjer för ett isolerat träd. Anpassad från Rhoades (1997).

Den förbättrade näringshalten vid markytan kan bero på förflyttning av näringsämnen från djupare marklager om rötter finns där. Men även träd som är kända för att ha djupa rötter, som ärtväxterna *Faidherbia albida* och *Prosopis juliflora*, kommer inte att kunna penetrera marken djupt om denna är för kompakt eller om det inte finns tillräckligt med vatten. Om infiltrationen, det vill säga vattnets förflyttning ner genom marken, är dålig kommer fukten att vara koncentrerad vid markytan hela året och de finaste rötterna kommer att vara koncentrerade där. Rötternas horisontella ackumulering av näringsämnen kommer att leda till en högre koncentration under trädet på bekostnad av områden längre bort (Kessler and Breman, 1991). En reducerad vindhastighet under trädkronan får luftburna partiklar att falla till marken under trädet, vilket är ännu en form av omfördelning av organiska och oorganiska näringsämnen från hela landskapet till områden med träd.



### 2.1.2 Kvävefixering

Den biologiska kvävefixeringen är en bra möjlighet att utnyttja den atmosfäriska kvävereserven på ett billigt och miljövänligt sätt, och för att tillfredsställa behovet av kväve (N<sub>2</sub>) som kanske är den viktigaste beståndsdel för jordbruksproduktion.

Kvävefixering är den huvudsakliga naturliga vägen för kvävetillförsel till ett ekosystem på land. Trots att atmosfären innehåller 78 % N<sub>2</sub> är det oftast det som begränsar tillväxten av växter eftersom kvävet i atmosfären är otillgängligt för de flesta organismer. Endast kvävefixerande bakterier kan bryta trippelbindningarna i N<sub>2</sub> och fixera det till ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) som de sedan använder för sin egen metabolism. Dessa bakterier finns antingen fritt i mark och vatten, i lavar eller i så kallade noder som formas på rötter hos vissa kärlväxter. Kvävet blir tillgängligt för andra växter först när den döda biomassan har brutits ner (Chapin III et al., 2002). Dock är kvävefixering i tropikerna ofta begränsad av tillgången på andra näringsämnen, bland annat fosfor, då kvävefixerande bakterier behöver ATP (Adenosintrifosfat) och andra fosforföreningar som energikälla till kvävefixeringsprocessen. Andra element som kan begränsa kvävefixering är molybden, järn och svavel (Chapin III et al., 2002).

Kvävefixering är en vanlig egenskap hos de flesta ärtväxter. Ärtväxter (*Fabaceae*) är en stor familj med mer än 16000 arter i världen, som kan vara allt från örter och blommor till buskar och träd (Anderberg, 2008). Av dessa är ca 650 trädarter kända och flera tusen tros vara kvävefixerande (Brewbaker, 1987). Biologisk kvävefixering sker genom symbiotiska och icke symbiotiska processer. Symbiotisk fixering sker genom en association mellan trädets rötter med kvävefixerande mikroorganismer. Den icke symbiotiska kvävefixeringen är inte av vikt för agroforestry som kräver mycket större mängd kväve än vad som kan fixeras på ett icke symbiotiskt sätt (Nair, 1993).

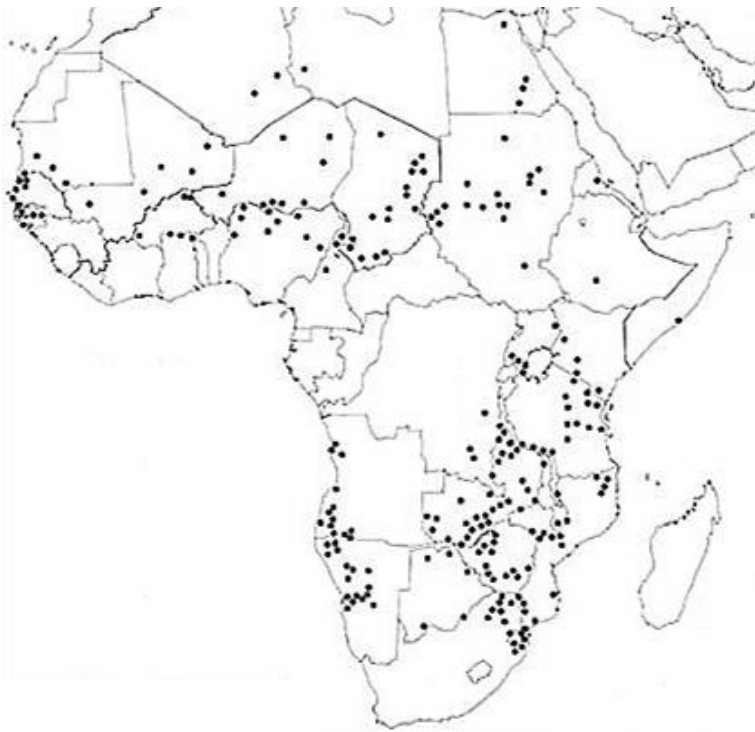
Trädens kvävefixerande egenskaper beskrivs av Nair (1993) i *Introduction to agroforestry*. Träden kan delas in två kategorier 1) Arter med hög kvävefixerande potential resp. låg kvävefixerande potential 2) Krävande/intoleranta arter som kräver mycket näring och icke-krävande/toleranta arter som växer även på sura marker med lite näring. En lista över trädarter som används för att förbättra marken i tropikerna hittas i Appendix II.

*Faidherbia albida* (Figur 3) är ett särskilt viktigt träd när det kommer till att förbättra markens fertilitet. Detta acaciaträd är redan ett naturligt inslag på jordbruksmarker i många delar av Afrika. *Faidherbia* har en omvänd fenologi, som är växternas livscykel i relation till årstid, vilket innebär att den tappar sina kväverika löv i början av regnperioden och förblir ”sovande” under grödornas hela växtperiod. Löven börjar växa igen i början av nästföljande torrperiod. Detta gör *Faidherbia* mycket lämplig att använda tillsammans med grödor då man eliminerar konkurrensen om ljus, näring och vatten (Pye-Smith, 2010).



Figur 3. *Faidherbia albida*. Zambia, Luangwa National Park. ©Mark W. Skinner (2011)

I både Zambia och Malawi har mer än 100 000 bönder utökat sitt jordbruk genom att odla grödor tillsammans med *Faidherbia albida*. Figur 4 nedan visar utbredningen av *Faidherbia albida* i Afrika. Majs som odlas nära träden är mycket mer produktiv än majs bortom träden, till följd av näringstillförseln och en bättre användning av markvatten. I Niger finns nu mer än 4.8 miljoner hektar med *Faidherbia* skogar, vilket signifikant ökar hirs- och durraproduktionen, och likaså böndernas inkomster (Pye-Smith, 2010).



Figur 4. Utbredning av agroforestry-system med *Faidherbia albida* träd i Afrika (Stigter, 1999)

#### **2.1.4 Skydd mot urlakning**

Urlakning är en fysisk process där mineraljoner och små vattenlösliga organiska beståndsdelar transporteras med vatten ner genom marken (Chapin III et al., 2002). Urlakning är en vanlig process i sub-humida och humida förhållanden. I arida och semiarida förhållanden är urlakningen begränsad till områden där vatten ansamlas, som dalar och vattendrag. Träd och buskar med relativt djupa rötter kan återuppta näringsämnen som har urlakats till djupare marklager (Kessler and Breman, 1991).

#### **2.1.5 Påverkan på grödor**

Många forskare har försökt fastställa hur förändrad markfertilitet för olika trädarter påverkar grödor som växer under trädet. Till exempel såg Verinumbe (1987) en högre biomassaproduktion hos majs och durra i en trädplantage i Sahel när han jämförde med produktionen på ett öppet område. Den höga skörden kom från grödor som växte under bland annat *Prosopis juliflora*, som Nair (1993) föreslog kunde användas för att förbättra marken. Biomassan hos hirs som växte under *Hyphaene thebaica* och *Faidherbia albida* i Niger var 63 procent högre än den som växte bortom träden (Stigter, 1999). I Malawi är majsskörden normalt 200-300 % större när man odlar under *Faidherbia albida* och i Etiopien var majs och durra skörden 56 % högre under

*Faidherbia*. I Senegal rapporterades att hirsskörden ökade med 250 % och durra med 100 % under *Faidherbia albida* (Poschen, 1986).

Men det är viktigt att komma ihåg att trädens påverkan på markens fertilitet och primärproduktionen varierar mycket med årlig nederbörd och marktyp. Trädens betydelse ökar avsevärt med ökad nederbörd. Träd kan inte bidra lika mycket om torra och brist på vatten är den faktor som begränsar produktion av biomassa, utan fungerar bäst under förhållanden då brist på näringsämnen begränsar tillväxten (Stigter, 1999). Experiment i en semi-arid del av Kenya där man odlade grödor i alléer med *Leucaena leucocephala* visade att en ökad markbördighet inte spelade någon roll i området då produktionen blev begränsad av en högre konkurrens om vatten (Ong et al., 2000).

Sanchez (1995) ställer frågan: kan agroforestry eliminera behovet av konstgödsel genom kvävefixering och upptag av näringsämnen från djupare marklager? Svaret blir att det beror på vilken skörd man förväntar sig att få. En typisk bonde på en liten afrikansk gård får en majsskörd av ett ton per hektar och kräver en kvävetillförsel på 40 kg per hektar. En skörd på fyra ton per hektar kräver 80 kg N per hektar och en skörd på sju ton per hektar kräver 200 kg N per hektar. En mineralisering av kväve i översta markskiktet ger ungefär 30 kg N per hektar vilket ungefär motsvarar vad en skörd på ett ton skulle kräva. Ärtväxternas kvävefixering skulle ge ungefär 60 till 150 kg N per hektar efter mineraliseringen (Sanchez, 1995). *Sesbania sesban* gav 128 kg N per hektar i Zambia, vilket skulle tillfredsställa kvävebehovet för en fyra tons skörd. För att få en skörd på sju ton är det sannolikt att den naturliga kvävetillförseln inte kommer att räcka och då måste det kompenseras med konstgödsel.

## 2.2 Påverkan på mikroklimatet

### 2.2.1 Skugga

Träd påverkar mikroklimatet bland annat genom att skapa skugga. Den maximala temperaturen minskar på grund av trädens högre albedo jämfört med bar mark samt genom att evapotranspiration, som är förlusten av vatten från ekosystemet genom transpiration och avdunstning från marken, minskar (Chapin III et al., 2002). I områden med hög instrålning och höga temperaturer kan växtens vävnader uppnå temperaturer som är mycket högre än de optimala, speciellt under torrperioderna om det inte finns skugga. En delvis skuggning skulle förbättra förhållandena genom att minimera temperaturen till en optimal nivå (Ong et al., 2000). En minskad temperatur- och vattenstress kan resultera i ökad biomassa av arter som finns under trädet (Amundson et al., 1995). På savannen i Kenya sjönk marktemperaturen med 5-12°C under trädkronan hos *Acacia tortilis* och *Adansonia digitata* (baobab) och den maximala marktemperaturen sjönk med 3.4°C under *Faidherbia albida* i Senegal (Dancette and Poulain,

1969). Marktemperaturer kan på flera områden i Afrika uppnå 50-60°C och hindra etablering av grödor som hirs. En marktemperaturminskning på 10°C skulle förbättra etableringen av hirsbestånd avsevärt (Rao et al., 1997). Dock hindrar skugga fotosyntes om grödan är ljuskrävande, vilket ger en minskad skörd. För att minska förlusten kan man använda sig av skuggtoleranta grödor, alternativt se till att trädkronans densitet är optimal med tillräckligt ljusinsläpp och samtidigt tillräcklig avkylning av markytan.

Temperaturen har även indirekta effekter. En av dessa är nedbrytning av förna, som går långsammare i torra marker. Om evapotranspirationen minskar och markfukten höjs, leder detta också till en snabbare nedbrytning av död biomassa, vilket leder till att näringsämnen snabbare blir tillgängliga att användas för produktion av ny biomassa (Chapin III et al., 2002). En annan indirekt effekt är påverkan på överlevnaden av kvävefixerande bakterier och den symbiotiska processen mellan dessa och träden. Den biologiska kvävefixeringen påverkas negativt om temperaturen är hög och marken torr (Sangakkara et al., 1995).

### **2.2.2 Vattentillgång**

Vattentillgången för grödor under träd kan vara högre än i öppet fält, men observationer som pekar på motsatsen finns också (Kessler and Breman, 1991). Följande processer påverkar vattentillgången för grödorna i agroforestry system i jämförelse med öppna fält: interception, evapotranspiration (se avsnitt 2.2.1) och infiltration.

Regn av låg intensitet hindras ofta av löv och grenar (interception) och når aldrig marken. I områden där regnen är kraftigare, når en stor del av regnet marken genom stamflöde och genomflöde. Mängden regn som når marken beror på regnintensitet och vattenhållningsförmågan i trädkronan (Kessler and Breman, 1991). Data från Senegal visade att *Faidherbia albida* reducerade vattentillgången för grödor som växte under dem med 5 % vid lätt regn, och höjde med 20 % vid kraftigt regn, jämfört med öppen mark (Dancette and Poulain, 1969). Markens fysiska egenskaper som porositet, textur och partiklarnas aggregation förbättras där det finns trädrötter och marklevande organismer. Rötter skapar sprickor i marken, vilket bidrar till en bättre vatteninfiltration.

### **2.3 Erosion**

I semi-arida områden är jorderosion på jordbruksland 5-50 gånger högre än i landskap med naturlig vegetation (Kessler and Breman, 1991). Stabiliteten som finns i områden med naturlig vegetation uppnås genom kombinerade effekter av trädskikt, buskskikt och undervegetation som finns precis vid marken. Vegetationsskiktets påverkan på egenskaper som exempelvis vindhastighet, markens erodibilitet det vill säga markens känslighet mot erosion, förändring av

hur nederbörden når marken (regnerosivitet), avrinning och marktäcknet kan bidra till minskad erosion (Nair, 1993).

Att kontrollera erosion är avgörande för bevarande av markens bördighet. Då sedimenttransport står för en stor del av den negativa kväve och fosforbalansen, är det viktigt att minska både erosion i form av ytavrinning och vinderosion, för att kunna bevara en eventuell höjning i näringsämneskoncentrationen under träd (Sanchez, 1995).

Det är ett vanligt antagande att agroforestry-system kan reducera regnerositeten, som förenklat innebär energin med vilken nederbörden träffar marken, då löven agerar barriär för fallande regndroppar (interception). Detta stämmer dock inte i alla situationer. Den kinetiska energin av fallande droppar kan förstärkas av träd som är höga och har breda löv. Regndropparna förenas till större droppar som kan orsaka väsentlig dropperosion när de faller från omkring 30 meters höjd med hög hastighet (Nair, 1993). Regndroppserosion uppstår när fallande vattendroppar slår mot berg och markytor; vattendroppen komprimeras och sprids ut i sidled vilket skapar en kraft som kan lossa små partiklar och förflytta dessa (Huggett, 2007). Denna process verkar negativt på infiltrationen då markytan delvis förseglas av små silt och lerpartiklar (Schultz, 2002). Flerskiktsträdgårdar med krontak på olika nivåer kan minska hastigheten av fallande droppar och deras påverkan. Det är troligt att ett lågt och tätt krontak skulle minska erosiviteten, men fältmätningarna som undersöker detta är få (Nair, 1993).

Hortonian overland flow innebär en form av ytavrinning då regn som faller inte hinner infiltreras, utan istället rinner ovanpå markytan. Denna typ av ytavrinning är vanlig på bergshällar och i ökenlandskap där jordar ofta inte är djupa, ibland täckta med hård skorpa i form av duricrusts och hardpans, med knapp vegetation och hög nederbördsintensitet (Huggett, 2007). Då vattnet rinner över land transporteras lösa partiklar bort och detta kan vara förödande för jordar på sluttningar. I områden utan skyddande vegetation kan stora mängder löst liggande material eroderas bort. Om träd planteras som barriärer med exempelvis rader av skyddande gräsarter minskar ytavrinningen och erosionen. En större bidragande faktor till minskad erosion, kanske den största, är marktäcknet. Det kan bestå av levande eller död materia som fleråriga täckande grödor, växtrester, förna och avklippta grenar som effektivt minskar effekten av vattendropparnas och ytavrinningens erosion (Nair, 1993). Agroforestry kan bidra till dessa gynnsamma faktorer, till skillnad från traditionellt jordbruk som ofta kan lämna markytan kal under en period mellan växtsäsongerna.

## **2.4 Konkurrens**

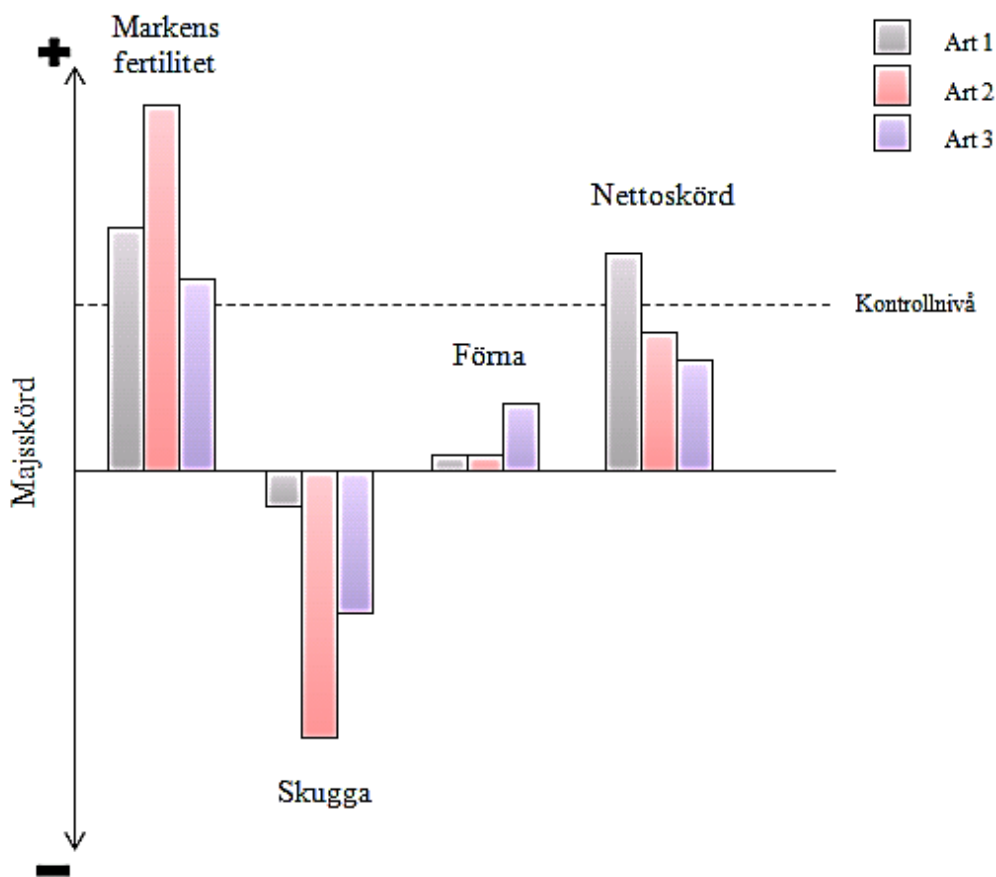
En generell uppfattning är att två levande organismer med identiska eller väldigt liknande ekologiska krav endast kan samexistera om få individuella plantor är utbredda över ett stort område så att resurserna kan delas gemensamt utan att utarmas. Konkurrensen börjar om en eller

flera nödvändiga faktorer, essentiella för överlevnaden, endast är tillgängliga i en begränsad mängd och att bristen på dessa resurser leder till en negativ effekt på överlevnad, tillväxt eller fortplantning. Flera typer av konkurrens kan särskiljas. Över markytan är det först och främst en konkurrens om ljus, koldioxid och gynnsam temperatur, medan under markytan är konkurrensen om vatten och näring. Förutom att växter anskaffar resurser från miljön där de växer, påverkar de själva miljön. De kan antingen förbättra förhållandena till sin fördel, eller försämra dem för de andra arterna för att kunna utkonkurrera dem (Schulze et al., 2002). Aarsen (1989) beskrev de viktigaste attributen som bidrar till växternas konkurrenskraft:

<u>Primärattribut:</u>	<u>Sekundärattribut:</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bättre vattenanvändning</li> <li>– Bättre användning av näringsämnen (N, P, K)</li> </ul>	<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>Högre rotdensitet</li> <li>Bredare utspridning av rötterna</li> <li>Snabbare upptag i rötterna</li> </ul> </div>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bättre ljusanvändning</li> </ul>	<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>Högre växtformer</li> <li>Större lövyta (leaf area index)</li> <li>Större expansion av växten</li> <li>Mer effektiv lövuppställning</li> </ul> </div>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bättre hämning av de konkurrerande växterna</li> </ul>	<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mer skuggning</li> </ul> </div>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ökad tolerans för de konkurrerande växternas vatten, ljus och näringsanvändning</li> <li>– Ökad användning av resurser som inte används av den konkurrerande växten</li> </ul>	

Konkurrensen i systemet varierar beroende på vilket biom man odlar i. Detta beror på att faktorer som exempelvis klimat och jordarnas egenskaper varierar, vilket avgör vilka resurser det är som kommer att begränsa tillväxten. Även typ av bruk och vilka trädarter och grödor som odlas kommer att påverka konkurrensen (Rao et al., 1997). I humida och sub-humida områden, med mycket nederbörd som stimulerar snabb tillväxt, kommer växter att konkurrera om ljus vilket kommer att leda till en negativ effekt på grödorna till följd av trädens skuggning (Lawson and Kang, 1990). Dock kan detta undvikas genom att träden beskärs (Rao et al., 1997). I semi-arida

klimat är det troligt att växterna kommer att konkurrera om vatten. Det kan leda till att både träd och grödor blir underutvecklade (Ong et al., 2000). Trädens positiva effekter på produktion av grödor är med andra ord begränsade till områden där en anrikning av resurser är större än konkurrensen om dessa (Rhoades, 1997). Om nettoeffekten av träden är negativ ska man istället ha ett sekventiellt system där konkurrens elimineras helt och hållet då träd och grödor aldrig har sin tillväxt under samma period (Cannell et al., 1996). Figur 5 visar ett teoretiskt exempel på hur samspel mellan majs och tre olika trädarter kan se ut.



Figur 5. Ett teoretiskt exempel på hur samspel mellan majs och tre olika trädarter kan se ut. Y-axeln förklarar om effekten är positiv eller negativ på majsskörd. Bara en av trädarterna (Art 1) bidrar till en positiv effekt på nettoskörd (skörden ligger över kontrollnivån). Nettoskörd kan självklart aldrig bli negativ.



### 3. Klassificering av agroforestry-system

Att klassificera agroforestry-system är nödvändig för att man ska kunna kartlägga dessa globalt, utvärdera och utveckla en plan för deras förbättring (Nair, 1985). Systemen kan beskrivas baserat på olika kriterier. Dessa kan bland annat vara strukturella, funktionella, socioekonomiska och ekologiska, men första steget i klassificeringen är alltid en indelning som är baserad på agroforestryns struktur (Nair, 1987). De strukturella kriterierna syftar till att beskriva den rumsliga, vertikala och den tidsmässiga sammansättningen av komponenterna, som i detta arbete har varit grödor och träd. De tre grundtyperna av agroforestry-system som finns är:

- ♣ Agrisilviculture – grödor + träd
- ♣ Silvopastural – betesmark/djur + träd
- ♣ Agrosilvopastural – grödor + betesmark/djur + träd

Dessa är grundläggande då det bara är de tre komponenterna träd, grödor och djur som är skötta av människan. Indelningen i simultan och sekventiell agroforestry som nämndes i introduktionen är lika grundläggande. Dessa grundtyper kan man sedan kombinera med andra klassificeringar för att ange sammansättningen och beståndsdelarna i ett specifikt system (Nair, 1985).

De andra kriterierna som klassificeringen byggs på är:

- Funktionella – refererar till den största funktionen eller rollen som systemet har, oftast åsyftas träden. Det kan vara produktion av mat, foder, ved eller virke som är syftet med systemet, eller så är systemets syfte att skydda, till exempel vindskydd, markskydd, förbättrad bördighet etc.
- Socioekonomiska – refererar till mängden insatser som behövs för underhåll (låg-insats, hög-insats) eller intensitet eller skala av skötseln.
- Ekologiska – refererar till miljöns tillstånd och ekologisk lämplighet i systemet, med antagandet att vissa agroforestry-system är mer passande i vissa ekologiska förhållanden, det vill säga det kan finnas ett antal agroforestry-system för arida och semiarida områden, höglandsområden, humida låglandsområden och andra agroekologiska zoner.

Dessa indelningar är inte självständiga och utesluter inte varandra. Enligt Nair (1985) är det tydligt att kategorierna måste hanteras tillsammans då de strukturella och funktionella komponenterna behandlar trädens organisering i systemet, medan de socioekonomiska och ekologiska komponenterna behandlar systemets organisering i förhållande med omvärldsfaktorer. I varje definierad socioekonomisk eller ekologisk situation måste systemet ha en specifik struktur och funktion. Nair väljer att se de strukturella och funktionella komponenter som primära, med hjälp av vilka man ska klassificera systemen, och socioekonomiska och ekologiska komponenter

istället som en grund för att gruppera system. Tabell 2 sammanfattar klassificeringen av agroforestry-system.

Tabell 2. Klassificering av agroforestry-system (Nair, 1985)

Klassificering av system baserat på deras struktur och funktion		Gruppering av system Baserat på deras spridning och skötsel			
Struktur Karaktären och arrangemanget av komponenter, särskilt träd		Funktion Komponenternas syfte och/eller produktion	Agroekologisk/ miljöbetingad	Socioekonomisk/ grad av skötsel	
Komponenternas karaktär	Komponenternas arrangemang				
Agrisilviculture (grödor och träd)	Rumsligt	Produktion	Humida låglandsområden	Baserat på grad teknologisk insats	
	Blandat tätt (t.ex. trädgård)	Mat	Humida höglandsområden (altitud > 1200 m, t.ex. Anderna, områden i Indien och Malaysia)	Låg insats	
		Foder		Medel insats	
	Blandat glest (t.ex. de flesta system med träd på betesmark)	Ved	Andra produkter	Sub-humida låglandsområden (t.ex. savanner i Afrika, Cerrado i Sydamerika)	Hög insats
					Skydd
	I remsor (remsans bredd mer än ett träd)	I kanter (träd i utkanter av fält)	Vindskydd	Sub-humida höglandsområden (t.ex. i Kenya och Etiopien)	Baserat på förhållandet kostnad/vinst
			Markskydd		Kommersiell (Hög vinst)
		Vattenbevarande	Arida/semiarida områden	Intermediate (Medelhög vinst)	
		Förbättring av markbördighet		Husbehov (Låg vinst)	
	Tidsmässigt	Skugga (för grödor, djur och människor)			
	Simultant(samtidigt)				
	Åtföljande				
	Överlappande				
	Sekventiellt(separat)				

### 3.1 Agroforestry-bruk som är karaktäristiska för de stora ekologiska regionerna i Afrika

Till skillnad från ett agroforestry-system som är ett lokalt exempel på ett bruk, som karaktäriseras av miljön, arter som odlas, deras arrangemang, skötsel och socioekonomiska funktion, är ett agroforestry-bruk en definition av hur komponenterna är organiserade i systemet i tid och rum (Nair, 1993). I Afrika finns ungefär 20 olika distinkta agroforestry-bruk. De vanligaste presenteras nedan indelat efter de stora ekologiska regionerna (Nair, 1987). De stora

ekologiska regionerna beskrivs i Appendix I. I tabell 3 finns definitioner av de vanliga agroforestry-bruken.

Humida/sub-humida låglandsområden

- Hemträdgårdar
- Skiftesbruk (förbättrad träda)
- Kombinationer av grödor
- Flerskiktsträdgårdar
- Allé-odling och andra samodlingssystem
- MPTs (Multipurpose trees) på jordbruksland
- Häckar

Semiarida/arida områden

- Träd på betesmark
- Vindskydd/Häckar
- MPTs för ved/foder
- MPTs på jordbrukslands

Höglandsområden

- Markskyddshäckar
- Kombination av grödor
- MPTs på jordbruksland

Tabell 3. Definitioner av några vanliga agroforestry-bruk i Afrika (Nair, 1993).

<b><i>Agroforestry-bruk</i></b>	<b><i>Beskrivning</i></b>
<b>Hemträdgårdar</b>	En kombination av olika träd och grödor i flera skikt kring gården
<b>Skiftesbruk</b>	Planterade träd lämnas att växa under en trädesperiod
<b>Kombinationer av grödor</b>	1) integrerad plantering av grödor i täta eller glesa skikt 2) blandning av grödor, antingen skiftande eller andra regelbundna arrangemang 3) spridda skuggträd
<b>Flerskiktsträdgårdar</b>	En tät sammansättning av olika träd och grödor i flera skikt utan ett organiserat arrangemang
<b>Allé-odling, andra samodlingssystem</b>	Träd i rader, grödor i alléer emellan
<b>MPTs (Multipurpose trees) på jordbruksland</b>	Slumpmässigt eller regelbundet strödda träd på terrasser eller i fältgränserna
<b>MPTs för ved/foder</b>	Plantering av träd för bränsle eller foder på eller kring jordbruksland
<b>Vindskydd/Häckar</b>	Träd kring jordbruksland
<b>Träd på betesmark</b>	Träd (t.ex. kokospalm) spridda oregelbundet eller arrangerat i ett mönster med betesdjur under

Dock är det svårt att säga om dessa system är vanliga eller inte, då det för det mesta är små arealer av land som bönder använder (Franzel and Scherr, 2002), och det är svårt att kartlägga utbredningen i hela Afrika. Beskrivningar av effekter av dessa bruk är ofta gjorda från en by eller ett begränsat geografiskt område. World Agroforestry Centre (Pye-Smith, 2010) uppskattar i sin årliga rapport att ungefär 100 miljoner hektar används till agroforestry i världen idag.

## 4. Diskussion och slutsats

Växter har levt kvar och utvecklats genom evolution i deras respektive nischer, eftersom de framgångsrikt konkurrerar om utrymme, ljus och markresurser med andra arter i deras omgivning. Därför ska man inte förvänta sig att varken träd eller grödor ska vara altruistiska. Dock kan man dra slutsatsen att samspel varierar mellan konkurrens och komplementaritet; även där konkurrens om en viss resurs uppstår behöver det inte vara negativt för hela systemet då det kan leda till en positiv nettoeffekt på förhållandena i övrigt, då andra resurser har påverkats positivt (Figur 5).

Samspelet mellan biofysiska faktorer som bestämmer produktiviteten och hållbarheten för agroforestry-system är väldigt invecklade. Där tillväxten av grödor som planterats med träd hämmas är det viktigt att förstå vilken eller vilka av ovanstående faktorer som är orsaken och till vilken grad, eller om det är andra faktorer som har en inverkan. Det är svårt att veta hur mycket konkurrens grödorna kan utstå innan de missgynnas mer än gynnas av de komplementära effekterna. Forskningen visar inte vilka mekanismer som har störst påverkan på grödor, och hur det samspelet ser ut under olika förhållanden. Flera processer sker samtidigt, som antingen sker i ett positivt samspel eller motverkar varandra. Grödor som växer under träd kan påverkas positivt av förändringar i temperaturen och evapotranspirationen, samtidigt som de påverkas negativt av en minskad instrålning till följd av trädskuggning. I fallet med *Faidherbia albida* visar experiment att skörden generellt sett ökar, medan påverkan på grödor av andra trädarter med vanlig fenologi är mindre tillförlitlig. Denna kunskap är dock mycket viktig för att kunna utforma och sköta ett agroforestry-system. Man måste noga fundera på vilka egenskaper hos träd som kan tjäna vilket syfte, var och under vilka omständigheter för att åstadkomma ett lyckat trädjordbruk.

Hittills har forskningen belyst de individuella biofysiska mekanismerna i samspelet mellan träd, mark och grödor. Det finns en del forskning som säger att om träd används korrekt i ett område förbättrar de markförhållandena, bland annat bördigheten, och ökar produktiviteten. Dock är de hydrologiska och biologiska faktorerna som avgör om agroforestry-system kommer att lyckas eller misslyckas i ett visst område fortfarande dåligt utforskade. Dessutom saknas diskussioner om felkällor i de flesta rapporter, vilket gör felmarginalerna i deras resultat svåra att urskilja.

Att ha kunskap om förhållandet i biomet där jordbruket är belagt är en mycket viktig utgångspunkt för att kunna applicera ett agroforestry-bruk; vilka är de främsta naturliga begränsningarna, vilka miljöproblem finns och hur har de skapats. Agroforestry måste alltså i högsta grad vara anpassat till de naturliga förhållandena i området: altitud, nederbörd, instrålning, jordart, topografi och vegetation. Det är dessa faktorer som borde vävas in i den pågående forskningen. Alla biotiska och abiotiska faktorer ska studeras i samspel med varandra, och inte i relation till en eller två faktorer, vilket vore en miljö som inte speglar verkligheten. En

bättre förståelse av samspel mellan träd och grödor krävs innan de verkliga fördelarna med agroforestry kan utnyttjas till fullo. I framtiden bör forskningen om biofysiska samspel fokusera på vilka skillnader som finns mellan olika trädarter och hur dessa kan utnyttjas i olika miljöer, bestämma hur spelen varierar på olika rumsmässiga (gård, landskap) och tidsmässiga skalor, fastställa agroforestryns potential att förbättra existerande miljöproblem och bestämma hur agroforestry-komponenter ska skötas för att utöka de möjliga miljömässiga fördelarna. Studierna bör jämföra hur skörden av grödor i ett agroforestry-system påverkas under längre perioder och med varierande nederbörd, istället för att undersöka de kortvariga effekterna.

Man kan fråga sig om agroforestry kan bidra till att återställa de faktorer, exempelvis markbördigheten, som av någon anledning har försämrats under tiden man bedrivit ett vanligt jordbruk. Mineralnäringsämnen är de minst motståndskraftiga komponenterna i ett jordbrukssystem och för att bedriva ett jordbruk som är hållbart måste man därför återföra näringsämnen som försvinner från systemet genom skörd, avrinning, erosion, urlakning och andra processer. Klimatförändringar är också en orsak till förändrade förhållanden i många ekosystem. Om man kommer fram till vilka faktorer i miljön som påverkas, kan man även undersöka hur trädplantering skulle kunna bidra. Förändrad markanvändning är självklart en viktig källa till utsläpp av växthusgaser, och att återplantera träd som antingen får stå kvar, eller användas som virke exempelvis till hus eller möbler, istället för att brännas upp skulle binda koldioxid från atmosfären och ersätta det med syre.

En heltäckande bild av agroforestry är svår att få om man läser igenom det breda spektrum av forskning som finns. Forskningen är gjord inom olika discipliner dock med många ämnesöverlappningar som i många fall kan verka motsägelsefulla. Om agroforestry ska kunna förstås i ett större perspektiv, som helhet i världen eller på ekosystemnivå, måste agroforestry gå från ett otroligt tvärvetenskapligt ämne till en egen vetenskap.

Sammanfattningsvis så kan inte ett agroforestry-system göra allt! Man får väga de positiva och negativa effekterna som jordbruket får på omgivning, och försöka avgöra vad nettoeffekten blir. Agroforestry löser inte alla problem samtidigt, men om det anpassas rätt till miljön och vilka behov man har, kan det mycket väl lösa några.

## 5. Källor

- AARSSSEN, L. W. 1989. Competitive Ability and Species Coexistence: A 'Plant's-Eye' View. *Oikos*, 56, 386-401.
- AKYEAMPONG, E., DUGUMA, B., HEINEMAN, A. M., KAMARA, C. S., KIEPE, P., KWESIGA, F., ONG, C. K., OTIENO, H. J. & RAO, M. R. 1995. *A synthesis of ICRAF's research on alley cropping.*, Ibadan, Nigeria, AFNETA.
- AMUNDSON, R. G., ALI, A. R. & BELSKY, A. J. 1995. Stomatal responsiveness to changing light intensity increases rain-use efficiency of below-crown vegetation in tropical savannas. *Journal of Arid Environments*, 29, 139-153.
- ANDERBERG, A. 2008. *Den virtuella floran* [Online].  
<http://linnaeus.nrm.se/flora/di/faba/welcome.html>. [Accessed 16 Maj 2011].
- BREWBAKER, J. L. 1987. Significant nitrogen fixing trees in agroforestry systems. *In:* GHOLZ, H. L. (ed.) *Agroforestry: Realities, Possibilities and Potentials*. Springer.
- BROOKFIELD, H. & PADOCH, C. 1994. Appreciating agrodiversity. (Cover story). *Environment*, 36, 6.
- CANNELL, M., VAN NOORDWIJK, M. & ONG, C. 1996. The central agroforestry hypothesis: the trees must acquire resources that the crop would not otherwise acquire. *Agroforestry Systems*, 34, 27-31.
- CHAPIN III, F. S., MATSON, A. P. & HAROLD, M. A. 2002. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*, Springer.
- DANCETTE, C. & POULAIN, J. F. 1969. Influence of *Acacia albida* on pedoclimatic factors and crop yields. *African Soils*, 14, (1-2) :, 182-184.
- DJURFELDT, G. 2001. *Mera mat : att brödföda en växande befolkning*, Arkiv förlag/A-Z förlag.
- FRANZEL, S. & SCHERR, S. J. 2002. *Trees on the farm: assessing the adoption potential of agroforestry practices in Africa*, Wallingford, CABI Publishing.
- GILLER, K. E. & CADISCH, G. 1995. Future benefits from biological nitrogen fixation: An ecological approach to agriculture. *Plant and Soil*, 174, 255-277.
- HUDSON, R. 2000. *Geographica. Atlas och uppslagsverk över världens folk och länder*, Replik AB.
- HUGGETT, R. J. 2007. *Fundamentals of geomorphology*, Routledge.
- ILANY, T., ASHTON, M., MONTAGNINI, F. & MARTINEZ, C. 2010. Using Agroforestry to Improve Soil Fertility: Effects of Intercropping on *Ilex paraguariensis* (yerba mate) Plantations With *Araucaria angustifolia*. *Agroforestry Systems*, 80, 399-409.
- KESSLER, J. J. & BREMAN, H. 1991. The potential of agroforestry to increase primary production in the Sahelian and Sudanian zones of West Africa. *Agroforestry Systems*, 13, 41-62.
- LAWSON, T. L. & KANG, B. T. 1990. Yield of maize and cowpea in an alley cropping system in relation to available light. *Agricultural and Forest Meteorology*, 52, 347-350.
- LEAKEY, R. R. B. 1996. Definition of agroforestry revisited. *Agroforestry Today* v. 8(1) p. 5-7.

- NAIR, P. K. R. 1985. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 3, 97-128.
- NAIR, P. K. R. 1987. *Agroforestry systems in major ecological zones of the tropics and subtropics*, Nairobi, International Council for Research in Agroforestry.
- NAIR, P. K. R. 1993. *An introduction to agroforestry*, Kluwer Academic Publishers.
- ODHIAMBO, H. O., ONG, C. K., DEANS, J. D., WILSON, J., KHAN, A. A. H. & SPRENT, J. I. 2001. Roots, soil water and crop yield: tree crop interactions in a semi-arid agroforestry system in Kenya. *Plant and Soil*, 235, 221-233.
- ONG, C. K., BLACK, C. R., WALLACE, J. S., KHAN, A. A. H., LOTT, J. E., JACKSON, N. A., HOWARD, S. B. & SMITH, D. M. 2000. Productivity, microclimate and water use in *Grevillea robusta*-based agroforestry systems on hillslopes in semi-arid Kenya. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 80, 121-141.
- POPULATION REFERENCE BUREAU 2010. World population data sheet. [Online] [http://www.prb.org/pdf10/10wpds\\_eng.pdf](http://www.prb.org/pdf10/10wpds_eng.pdf). [Accessed 15 Juni 2011]
- POSCHEN, P. 1986. An Evaluation of The *Acacia albida*-based Agroforestry Practices in The Hararge Highlands of Eastern Ethiopia. *Agroforestry Systems*, 4, 129-143.
- PYE-SMITH, C. 2010. Annual Report 2009-2010: Going Evergreen for a Climate-SMART Agriculture. Nairobi, Kenya: World Agroforestry Centre.
- RAO, M., NAIR, P. & ONG, C. 1997. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 38, 3-50.
- RHOADES, C. 1997. Single-tree influences on soil properties in agroforestry: lessons from natural forest and savanna ecosystems. *Agroforestry Systems*, 35, 71-94.
- SANCHEZ, P. A. 1995. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems*, 30, 5-55.
- SANGAKKARA, U. R., HARTWIG, U. A. & NORSBERGER, J. 1995. Growth and nitrogen fixation of *Phaseolus vulgaris* as affected by temperature, soil moisture and potassium. *Nuclear techniques in soil-plant studies for sustainable agriculture and environmental preservation*. [Online].
- SCHMIDT, M. 2004. *Agroforestry in Burkina Faso with *Borassus akeassii* and *Faidherbia albida** [Online]. [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Faidherbia\\_albida.JPG#filehistory](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Faidherbia_albida.JPG#filehistory). [Accessed 26 Maj 2011].
- SCHULTZ, J. 2002. *The ecozones of the world. The ecological divisions of the geosphere*, Springer.
- SCHULZE, E.-D., BECK, E. & MÜLLER-HOHENSTEIN, K. 2002. *Plant ecology*, Springer.
- SKINNER, M. W. 2011. *The PLANTS Database* [Online]. National Plant Data Center, Baton Rouge, LA 70874-4490 USA: <http://plants.usda.gov>. [Accessed 19 May 2011].
- STÅHL, L. 2005. *Planted Tree Fallows and Their Influence on Soil Fertility and Maize Production in East Africa. Nitrogen Fixation and Soil Nitrogen Dynamics*. Doctoral thesis, Sveriges Lantbruksuniversitet.



- STÅHL, L., NYBERG, G., HÖGBERG, P. & BURESH, R. J. 2002. Effects of planted tree fallows on soil nitrogen dynamics, above-ground and root biomass, N<sub>2</sub>-fixation and subsequent maize crop productivity in Kenya. *Plant and Soil*, 243, 103-117.
- STEPPLER, H. A. & NAIR, P. K. R. 1987. *Agroforestry: a decade of development*.
- STIGTER, K. 1999. Agroforestry Parklands in Sub-Saharan Africa;. J.-M. Boffa. FAO Conservation Guide 34, . *Agroforestry Systems*, 50, 169-170.
- TEKLAY, T. & MALMER, A. 2004. Decomposition of leaves from two indigenous trees of contrasting qualities under shaded-coffee and agricultural land-uses during the dry season at Wondo Genet, Ethiopia. *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 777-786.
- VERINUMBE, I. 1987. Crop production on soil under some forest plantations in the Sahel. *Agroforestry Systems*, 5, 185-188.
- WILKEN, G. C. 1976. Integrating forest and small-scale farm systems in Middle America. *Forest Ecology and Management*, 1, 223-234.

## 6. Appendix

### Appendix I. Egenskaper i de största ekologiska regionerna som är av vikt för agroforestry.

De huvudsakliga egenskaperna för de största ekologiska regionerna som är av vikt för agroforestry i tropiska områden (Nair, 1993).

Egenskaper	Humida / sub-humida låglandsområden	Arida/ semiarida områden	Höglandsområden
Klimat	Varmt, fuktigt hela eller nästan hela året, nederbörd > 1000 mm; ibland en eller flera torrperioder under året; Köppen Af, Am och även Aw, särskilt Aw <sup>7</sup>	Varmt, en eller två regnsäsonger och minst en lång torrperiod; nederbörd 1000 mm; Köppen Aw <sup>7</sup> (många), Aw <sup>7</sup> och B klimat	Svalt, fuktigt (torra höglandsområden har lågt potential för agroforestry); altitud över 1000 m; Köppen Ca, Cw (växtperiod inom jordbruket >120 dagar)
Vegetation och jordar	Städsegrön eller semi-städsegrön vegetation; Ultisols (Acrisols) och Oxisols (Ferrasols) och andra sura jordar med låg bashalt	Savanner med låga eller medelhöga träd och buskar (Aw); tornbuskar och stäppmarker (BS), Vertisols, Alfisols (Luvisols, Nitosols) och Entisols	Städsegrön till semi-städsegrön vegetation beroende på nederbörd. Oxisols (humusartade Ferrasols) och Ultisols (humusartade Acrisols) Andosols (vulkaniska jordar)
Geografisk utbredning (områden av vikt för agroforestry)	Alla tropiska områden, särskilt Sydost och Södra Asien, Västafrika och Central och Sydamerika; ca 35 % av tropisk landareal	Savanner och subsahariska områden i Afrika, Cerrado i Sydamerika, semi-arida och arida delar av Indiska subkontinenten, ca 45 % av tropisk landareal	Asien (Områden kring Himalaya, några områden i södra Indien och Sydost Asien), höglandsområden i östra och centrala Afrika, Anderna; ca 20 % av tropisk landareal
Huvudsaklig markanvändning	Kommersiellt skogsbruk, trädplantering inom jordbruk, risfält (särskilt Asien), ranch (Sydamerika), skiftesbruk	Jordbruk, extensivt boskapsskötsel eller nomadisk pastoralism, jordbruk med fleråriga grödor mot mer fuktiga områden, skogsbruk	Jordbruk, skogsbruk, ranching (i Syd- och Centralamerika), skiftesbruk
Huvudsakliga ekologiska och markanvändnings problem	Omåttlig avskogning (och följande förkortning av trädan), överbete, markförsurning och medföljande problem, låg markbördighet, hög regn erosivitet)	Torka (i områden med mindre nederbörd), en nedgång i markbördighet orsakad av överbruk, överbete, degradation av lövskog, brist på ved/foder	Markerosion; förkortning av trädan; överbete, avskogning och ekosystemens degradation; brist på ved/foder
Agroforestryns största funktion	Förbättrad träda, en förbättring och skydd av markbördigheten, matproduktion	Produktion av ved/foder, förbättring av markbördigheten, vindskydd, matproduktion	Marksydd, produktion av ved/foder, skydd av avrinningsområde, stabilisering av ekosystem och skydd av viktiga arter

## Appendix II. Trädarter för förbättring av marken.

Nair (1993) sammanställde en lista över trädarter som kan användas för förbättring av marken i tropikerna:

<i>Acacia auriculiformis</i>	<i>Inga dulce</i>
<i>Acacia mangium</i>	<i>Inga vera</i>
<i>Acacia senegal</i>	<i>Lespedeza bicolor</i>
<i>Acacia tortilis</i>	<i>Leucaena diversiflora</i>
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	<i>Leucaena leucocephala</i>
<i>Alchornea cardifolia</i>	<i>Paraserianthes falcataria</i>
<i>Albizia lebbek</i>	<i>Parkia africana</i>
<i>Alnus nepalensis</i>	<i>Parkia biglobosa</i>
<i>Alnus acuminata</i>	<i>Parkia clappertonia</i>
<i>Cajanus cajan</i>	<i>Parkia roxburghii</i>
<i>Calliandra calothyrsus</i>	<i>Parkinsonia aculeata</i>
<i>Cassia siamea</i>	<i>Pithecellobium dulce</i>
<i>Casuarina equisetifolia</i>	<i>Pithecellobium saman</i>
<i>Cordia alliodora</i>	<i>Prosopis cineraria</i>
<i>Dactyladenia berteri</i>	<i>Prosopis grandulosa</i>
<i>Erythrina poeppigiana</i>	<i>Prosopis juliflora</i>
<i>Erythrina fusca</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>
<i>Faidherbia albida</i>	<i>Sesbania bipinosa</i>
<i>Flemingia macrophylla</i>	<i>Sesbania grandiflora</i>
<i>Gliricidia sepium</i>	<i>Sesbania rostrata</i>
<i>Inga edulis</i>	<i>Sesbania sesban</i>
<i>Inga jinicuil</i>	

Lunds Universitets Naturgeografiska institution. Seminarieuppsatser. Uppsatserna finns tillgängliga på Naturgeografiska institutionens bibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND. Serien startade 1985. Hela listan och uppsatserna i elektroniskt format är tillgängliga på <http://www.geobib.lu.se/>

The reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography, University of Lund, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sweden.

Report series started 1985. The complete list and electronic versions are available at <http://www.geobib.lu.se/>

- 161 Carl Bergman (2009): En undersökning av samband mellan förändringar i fenologi och temperatur 1982-2005 med hjälp av GIMMS datasetet och klimatdata från SMHI.
- 162 Per Ola Olsson (2009): Digitala höjdm modeller och höjdsystem. Insamling av höjddata med fokus på flygburen laserskanning.
- 163 Johanna Engström (2009): Landskapets påverkan på vinden -sett ur ett vindkraftperspektiv.
- 164 Andrea Johansson (2009): Olika våtmarkstypers påverkan på CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O och CO<sub>2</sub> utsläpp, och upptag av N<sub>2</sub>.
- 165 Linn Elmlund (2009): The Threat of Climate Change to Coral Reefs
- 166 Hanna Forssman (2009): Avsmältningen av isen på Arktis - mätmetoder, orsaker och effekter.
- 167 Julia Olsson (2009): Alpina trädgränsens förändring i Jämtlands- och Dalarnas län över 100 år.
- 168 Helen Thorstensson (2009): Relating soil properties to biomass consumption and land management in semiarid Sudan – A Minor Field Study in North Kordofan
- 169 Nina Cerić och Sanna Elgh Dalgren (2009): Kustöversvämningar och GIS - en studie om Skånska kustnära kommuners arbete samt interpolationsmetodens betydelse av höjddata vid översvämningssimulering.
- 170 Mats Carlsson (2009): Aerosolers påverkan på klimatet.
- 171 Elise Palm (2009): Övervakning av gåsbete av vass – en metodutveckling
- 172 Sophie Rychlik (2009): Relating interannual variability of atmospheric CH<sub>4</sub> growth rate to large-scale CH<sub>4</sub> emissions from northern wetlands
- 173 Per-Olof Seiron and Hanna Friman (2009): The Effects of Climate Induced Sea Level Rise on the Coastal Areas in the Hambantota District, Sri Lanka - A geographical study of Hambantota and an identification of vulnerable ecosystems and land use along the coast.
- 174 Norbert Pirk (2009): Methane Emission Peaks from Permafrost Environments: Using Ultra-Wideband Spectroscopy, Sub-Surface Pressure Sensing and Finite Element Solving as Means of their Exploration
- 175 Hongxiao Jin (2010): Drivers of Global Wildfires — Statistical analyses
- 176 Emma Cederlund (2010): Dalby Söderskog – Den historiska utvecklingen
- 177 Lina Glad (2010): En förändringsstudie av Ivösjöns strandlinje
- 178 Erika Filppa (2010): Utsläpp till luft från ballastproduktionen år 2008
- 179 Karolina Jacobsson (2010): Havsisens avsmältning i Arktis och dess effekter

- 180 Mattias Spångmyr (2010): Global of effects of albedo change due to urbanization
- 181 Emmelie Johansson & Towe Andersson (2010): Ekologiskt jordbruk - ett sätt att minska övergödningen och bevara den biologiska mångfalden?
- 182 Åsa Cornander (2010): Stigande havsnivåer och dess effect på känsligt belägna bosättningar
- 183 Linda Adamsson (2010): Landskapsekologisk undersökning av ädellövskogen i Östra Vätterbranterna
- 184 Ylva Persson (2010): Markfuktighetens påverkan på granens tillväxt i Guvarp
- 185 Boel Hedgren (2010): Den arktiska permafrostens degradering och metangasutsläpp
- 186 Joakim Lindblad & Johan Lindenbaum (2010): GIS-baserad kartläggning av sambandet mellan pesticidförekomster i grundvatten och markegenskaper
- 187 Oscar Dagerskog (2010): Baösbergsgrottan – Historiska tillbakablickar och en lokalklimatologisk undersökning
- 188 Mikael Månsson (2010): Webbaserad GIS-klient för hantering av geologisk information
- 189 Lina Eklund (2010): Accessibility to health services in the West Bank, occupied Palestinian Territory.
- 190 Edvin Eriksson (2010): Kvalitet och osäkerhet i geografisk analys - En studie om kvalitetsaspekter med fokus på osäkerhetsanalys av rumslig prognosmodell för trafikolyckor
- 191 Elsa Tessaire (2010): Impacts of stressful weather events on forest ecosystems in south Sweden.
- 192 Xuejing Lei (2010): Assessment of Climate Change Impacts on Cork Oak in Western Mediterranean Regions: A Comparative Analysis of Extreme Indices
- 193 Radoslaw Guzinski (2010): Comparison of vegetation indices to determine their accuracy in predicting spring phenology of Swedish ecosystems
- 194 Yasar Arfat (2010): Land Use / Land Cover Change Detection and Quantification — A Case study in Eastern Sudan
- 195 Ling Bai (2010): Comparison and Validation of Five Global Land Cover Products Over African Continent
- 196 Raunaq Jahan (2010): Vegetation indices, FAPAR and spatial seasonality analysis of crops in southern Sweden
- 197 Masoumeh Ghadiri (2010): Potential of Hyperion imagery for simulation of MODIS NDVI and AVHRR-consistent NDVI time series in a semi-arid region
- 198 Maoela A. Malebajoa (2010): Climate change impacts on crop yields and adaptive measures for agricultural sector in the lowlands of Lesotho
- 199 Herbert Mbufong Njuabe (2011): Subarctic Peatlands in a Changing Climate: Greenhouse gas response to experimentally increased snow cover
- 200 Naemi Gunlycke & Anja Tuomaala (2011): Detecting forest degradation in Marakwet district, Kenya, using remote sensing and GIS
- 201 Nzung Seraphine Ebang (2011): How was the carbon balance of Europe affected by the summer 2003 heat wave? A study based on the use of a Dynamic Global Vegetation Model; LPJ-GUESS
- 202 Per-Ola Olsson (2011): Cartography in Internet-based view services – methods

- to improve cartography when geographic data from several sources are combined
- 203 Kristoffer Mattisson (2011): Modelling noise exposure from roads – a case study in Burlövs municipality
- 204 Erik Ahlberg (2011): BVOC emissions from a subarctic Mountain birch: Analysis of short-term chamber measurements.
- 205 Wilbert Timiza (2011): Climate variability and satellite – observed vegetation responses in Tanzania.
- 206 Louise Svensson (2011): The ethanol industry - impact on land use and biodiversity. A case study of São Paulo State in Brazil.
- 207 Fredrik Fredén (2011): Impacts of dams on lowland agriculture in the Mekong river catchment.
- 208 Johanna Hjärpe (2011): Kartläggning av kväve i vatten i LKAB:s verksamhet i Malmberget år 2011 och kvävet betydelse i akvatiska ekosystem ur ett lokalt och ett globalt perspektiv.
- 209 Oskar Löfgren (2011): Increase of tree abundance between 1960 and 2009 in the treeline of Luongastunturi in the northern Swedish Scandes
- 210 Izabella Rosengren (2011): Land degradation in the Ovitoto region of Namibia: what are the local causes and consequences and how do we avoid them?
- 211 Irina Popova (2011): Agroforestry och dess påverkan på den biofysiska miljön i Afrika. En litteraturstudie om samspel mellan träd, mark och grödor.