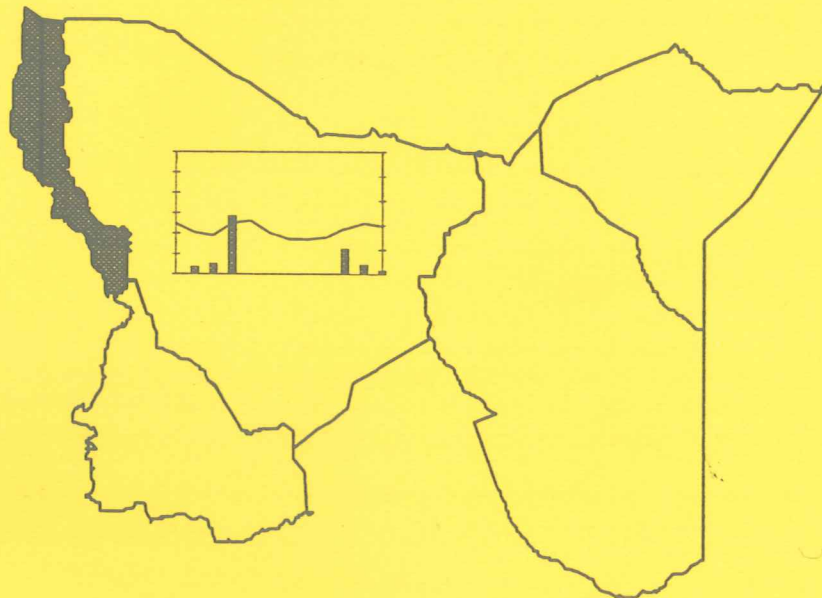


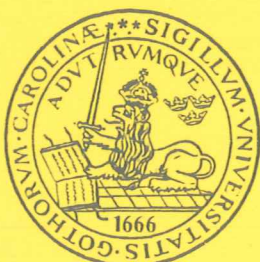
Lunds Universitets Naturgeografiska Institution

Seminarieuppsatser Nr. 48

MULTITEMPORALA VEGETATIONSSTUDIER  
I  
NORDÖSTRA KENYA  
MED  
AVHRR NDVI



CAMILLA JÖNSSON



Department of Physical Geography  
Lund University  
Sölvegatan 13, S-222 22  
Sweden

1998

TILLHÖR REFERENSBIOTEKET  
UTLÄNAS EJ



LUNDS UNIVERSITET  
GEOBIBLIOTEKET

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

ABSTRACT.....	2
<b>1. INTRODUKTION.....</b>	<b>3</b>
1.1 BAKGRUND .....	3
1.2 SYFTE OCH AVGRÄNSNINGAR .....	3
1.3 STUDIEOMRÅDE .....	4
1.3.1 <i>Klimat</i> .....	5
1.3.2 <i>Topografi, geologi och jordar</i> .....	5
1.3.3 <i>Vegetation</i> .....	6
1.3.3.1 <i>Vegetationstyper</i> .....	7
1.3.3.2 <i>Mandera och Wajir</i> .....	7
1.3.3.3 <i>Marsabit</i> .....	8
1.3.3.4 <i>Samburu</i> .....	9
1.3.4 <i>Markanvändning</i> .....	9
1.4 DATA OCH MJUKVARA.....	9
1.4.1 <i>Kartor</i> .....	9
1.4.2 <i>AVHRR data</i> .....	10
1.4.3 <i>Nederbördsdata</i> .....	10
1.4.4 <i>Mjukvara</i> .....	10
1.5 NOAA AVHRR.....	11
1.6 NDVI.....	12
1.6.1 <i>Fenologi</i> .....	13
<b>2. METOD .....</b>	<b>14</b>
2.1 TRÄNINGSYTOR.....	14
2.2 SATELLITDATA.....	14
2.3 KLASSUPPDELNING.....	16
2.4 ANALYS AV DATA.....	16
2.4.1 <i>Tukey's test</i> .....	16
2.4.2 <i>Klasseparabilitet</i> .....	17
2.5 NEDERBÖRD OCH NDVI .....	17
2.6 FOURIERANALYS .....	18
<b>3. RESULTAT.....</b>	<b>20</b>
3.1 NDVI OCH FENOLOGI.....	20
3.1.1 <i>Fenologi</i> .....	20
3.1.2 <i>Separabilitet</i> .....	21
3.2 SAMBAND MELLAN NEDERBÖRD OCH NDVI.....	24
3.3 FOURIERANALYS .....	26
<b>4. DISKUSSION .....</b>	<b>28</b>
4.1 NDVI OCH FENOLOGI.....	28
4.2 NDVI OCH NEDERBÖRD.....	29
4.3 FOURIERANALYS .....	30
4.4 FELKÄLLOR.....	30
<b>5. SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER.....</b>	<b>32</b>
TACK.....	33
REFERENSER.....	34
BILAGOR	

## **ABSTRACT**

In this paper coarse spatial resolution, high temporal frequency satellite data from the NOAA/AVHRR system are presented and analysed to demonstrate their utility for monitoring vegetation in a semiarid environment and for describing its seasonal dynamics. The study area consists of four districts in the North East of Kenya, namely Marsabit, Samburu, Mandera and Wajir. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data have been derived and analysed for the major vegetation types from two years, 1984 (a unusually dry period) and 1990 (normal precipitation). The best vegetation class separability was found in the 1984 data, where the woody vegetation retained its spectral properties during the dry period. Within a single year the greatest separability is found during the rainy seasons. Rainfall data was used to derive a relationship between NDVI and precipitation in the semiarid areas. The study shows that events with rainfall mainly control the phenology in the area.

## 1. INTRODUKTION

### 1.1 Bakgrund

Naturen i nordöstra Kenya är till största delen naturlig, semiarid, på gränsen till öken inom vissa områden. Studier av denna naturliga vegetationstyp är av betydelse då det gäller att förstå ekologin i regionen och för att kunna utvärdera markens lämplighet för bevaring gentemot utveckling i framtiden (Justice *et al.* 1986b). Stora delar av vegetationen inom studieområdet står idag under högt tryck, och med tanke på befolkningsutvecklingen i Kenya finns inga prognoser över att tillståndet kommer att förbättras. Området har hittills varit relativt glesbefolkat, men risken finns att detta kommer att förändras i framtiden, då även idag orörda marker kan komma att tas i bruk. Att ha så stor kunskap som möjligt om vegetationen och kunna planera för en hållbar utveckling, samt att med låg kostnad kunna följa upp vegetationens utveckling, är av stor betydelse för landet ur både ekologisk och ekonomisk synvinkel.

Studier med satellitdata (exempelvis Landsat TM och Landsat MSS) har tidigare utförts inom området. Dock leder behovet av multitemporala satellitbilder, för kartläggning av vegetationens uppträdande under en hel växtsäsong, till höga kostnader och stora datamängder. Tillgången på data från relativt högupplösande satellitdata, som exempelvis Landsat MSS, är också betydligt mer begränsad än den från *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)*. Potentialen hos NOAA AVHRR-data, med sin höga temporala upplösning och låga spatiala upplösning, som ett instrument vid vegetationskartering på regional och kontinental skala har påvisats av bland andra Justice *et al.* (1986a och 1985) och Tucker *et al.* (1985). Sellers (1989) anser att AVHRR är ett nära nog optimalt system för globala biofysiska undersökningar.

Att med satellitbilder observera vegetationens radiometriska respons, och utifrån denna information uppskatta dess fotosyntesiska aktivitet under ett eller flera år, gör det möjligt att få information om vegetationens dynamik under skiftande yttre förhållanden. Tidigare studier av olika vegetationsindex och dess korrelation med primärproduktion visar att *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*, extraherad från AVHRR-data, bra representerar växters assimilation och dess fotosyntesiska aktivitet (Benedetti *et al.* 1994).

Vegetationens fenologi och dess fenologiska förändringar kan ge värdefull information om växtlighetens kondition och dess omgivande miljö, samt ge signaler om årliga klimatvariationer. De flesta studier kring fenologi har hittills främst rört sig kring individuella organismer och individuella arter. Satellitbildstekniken har dock gjort det möjligt att studera fenologin i större skala, och AVHRR NDVI-data är ett medel att studera fenologin över stora geografiska områden (Reed *et al.* 1994).

### 1.2 Syfte och avgränsningar

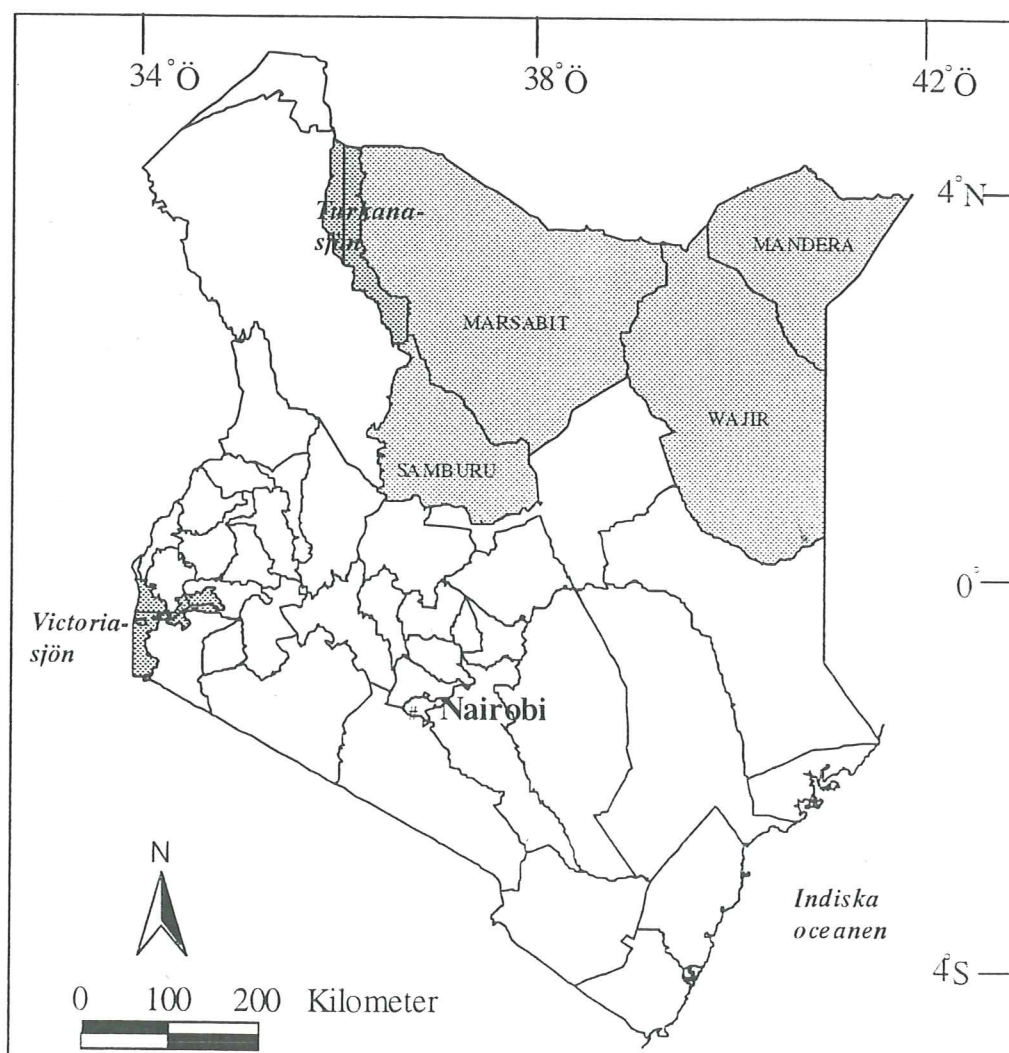
Syftet med uppsatsen är att studera hur AVHRR NDVI-data varierar i tiden för olika vegetationstyper, samt att se ifall denna information kan användas för att särskilja olika vegetationstyper.

- Vilka vegetationsklasser kan särskiljas från varandra med hjälp av NDVI-värdet?
- Under vilka månader återfinner man den bästa separabiliteten mellan de i studien ingående vegetationsklasserna?
- Vilken påverkan och betydelse har nederbörden på NDVI-värdet? Är det lättare eller svårare att särskilja olika vegetationstyper under ett onormalt torrt år?

Studiens omfattning har inte medgivit några analyser av andra möjligen påverkande variabler, som exempelvis jordmån och geologi.

### 1.3 Studieområde

Studieområdet sträcker sig från longitud 36°Ö till 42°Ö, latitud 0° till 4°N och inkluderar fyra distrikt i nordöstra Kenya, nämligen Samburu, Marsabit, Wajir och Mandera, se figur 1. De fyra distrikten täcker tillsammans en area på runt 180 000 km<sup>2</sup>.



Figur 1. Kenyas olika distrikt, med studieområdet markerat i grått.

### **1.3.1 Klimat**

Klimatet domineras av påverkan från den intertropiska konvergenzonen (ITCZ) passager över området. I januari befinner sig ITCZ kring 15°S och i juli står ITCZ runt 15°N. Största delen av nederbörden kommer däremellan när ITCZ passerar studieområdet (Nieuwolt 1977). Studieområdet ligger precis norr om ekvatorn och har delvis två regnperioder, en kraftigare första period under mars till maj och en sekundär under oktober till december. Det är främst de östra delarna som har två tydliga regnperioder, medan de västra delarna av studieområdet oftast inte får två klart utvecklade regnperioder, utan enbart en regnperiod som infaller under mars till maj.

Kenyas östra delar domineras under november till mars av vindar som har sitt ursprung på arabiska halvön. Denna nordostliga monsun har korsat delar av Indiska Oceanen, är maritim och orsaken till de korta regnen. I april ändras vindsystemet till sydostliga passadvindar från Indiska oceanen och denna sydostpassad är källan till de dominerande, långa regnen i Kenya. Norra Kenya är generellt väldigt torrt beroende på en begränsad nederbörd även under regnperioderna. Förklaringen till den ovanligt låga nederbörden i området ligger i ett antal olika divergenseffekter (Ojany och Ogendo 1988).

Största delen av området har en nederbörd på under 500 mm/år. Södra Marsabit erhåller dock ännu mindre, under 250 mm/år. Fluktuationerna är dock stora på grund av lokal påverkan, och i bergsområdena är nederbörden betydligt rikare.

Temperaturen varierar generellt relativt lite under året och kontrolleras huvudsakligen av höjd över havet, aspekt och molnighet. Slättlandet är generellt mycket varmt och det är vanligt med dagliga maxtemperaturer på över 35°C, och temperaturen under natten överstiger ofta 20°C. Medeltemperaturen ligger runt 22-27°C, men bergsområdena är betydligt svalare (Ojany och Ogendo 1988).

Den potentiella evapotranspirationen är hög (>2000 mm/år) över hela området, speciellt i centrala delarna av Marsabit där den överstiger 2 600 mm/år (Ojany och Ogendo 1988).

### **1.3.2 Topografi, geologi och jordar**

Marknivån varierar från cirka 150 m.ö.h. i södra Wajir till cirka 2 800 m.ö.h. vid bergsmassivet Nyiru, Samburu. Ett flertal bergsmassiv på över 2 000 m.ö.h. ligger inom området. Topografin styr det lokala klimatet i stor utsträckning och är även av stor betydelse för vegetationens utbredning.

Geologin i Marsabit karaktäriseras av alternerande metamorfa bergarter, vulkaniska bergarter av skiftande ålder och okonsoliderade sediment av tertiärt och kvartärt ursprung. Berggrunden veckades under den Mozambesiska orogenesen (under Kambrium), och mot slutet av Miocen (samtidigt som bildandet av Rift Valley) startade en period med intensiv vulkanisk aktivitet som varade fram till slutet av Pleistocen (Range Management Handbook of Kenya<sup>1</sup> 1991).

---

<sup>1</sup> Förkortas härnäst med RMH

Samburu kan delas in i två större geologiska regioner: Kristallint urberg som täcker uppskattningsvis de östligaste två tredjedelarna av distriktet, samt den västra regionen som består av tertiära vulkaniska bergarter associerade med bildandet av Rift Valley (RMH 1992a). Bildandet av Rift Valley har pågått i över 20 miljoner år. Dominerar landskapsbilden gör bergstopparna Nyiru och Ndoto samt Mathewskedjan som dominerar den norra och centrala/östra delen av distriktet (RMH 1992a).

Västra Manderan består av kristallin berggrund medan östra delarna är uppbyggda av jura- och kritsediment. Jurasedimenten är en serie alternerande avsättningar av kalksten, sandsten och skiffer. Kritsedimenten består av silt- och sandsten, samt även kvartsit som ofta uppträder i form av ryggar och residualberg i naturen. Sedimenten utgör tydliga tecken på en transgression i området under dessa tidsepoker (Ojany and Ogendo 1988).

Wajir består i norr av kristallin berggrund och även till en viss del jurasediment, men den allra största delen av Wajir består av kvartära sediment.

Studieområdet erhåller generellt sett enbart små mängder nederbörd och den jordmån som existerar har främst utvecklats på grund av fysikalisk vittring. Till största delen består området av svagt utvecklade jordar, det vill säga att de saknar tecken på bildning av karaktäristiska profiler. De svagt utvecklade jordarna har oftast goda näringsreserver på grund av låg grad kemisk vittring, och har en hög potential för olika grödor under förutsättning att vatten finns att tillgå. På högre altituder och i bergsområdena finns djupare jordar som ofta lämpar sig väl för olika typer av odling (Lundgren 1975).

Lithosoler (ingår i gruppen svagt utvecklade jordar) tillsammans med mineraljordar återfinns kring Rift Valley och i de norra och centrala delarna av Marsabit dominerar mineraljordar. Mineraljordar är uppbyggda av bergartsfragment och uppvisar liten, eller ingen, kemisk vittring. Potentialen för jordbruk är obefintlig på denna typ av jordar. Nordöstra Marsabit och stora delar av Manderan består av bruna och rödbruna jordar som karaktäriseras av svaga profiler med en koncentration av kalcium och gips på djupet som hindrar vattnets perkolation. Potentialen för jordbruk på denna typ av jordar beror helt och hållet på tillgången på vatten för bevattning (Lundgren 1975).

### 1.3.3 Vegetation

Utbredningen av olika vegetationstyper kontrolleras till stor del av tillgången på markvatten samt altituden.

Vegetationen i nordöstra Kenya är tidigare presenterad i ett flertal arbeten av bland andra White (1983), Pratt and Gwynne (1977) och Lind and Morrison (1974). Skalan i dessa arbeten ligger dock mellan 1:3 000 000 och 1:5 000 000 och detaljgraden är låg inom de aktuella distrikten.

Fysionomiska beskrivningar är ett sätt att klassificera vegetation efter formen och strukturen (växtform, växthöjd och marktäckning) inom ett växtsamhälle. En beskrivning av fysionomin används ofta på grund av att regioner med snarlika miljöer oftast har växtsamhällen med liknande fysionomi. Terminologin som används i detta

arbete för att beskriva vegetationen inom de aktuella distrikten, är definierad i RMH (1993). De i sin tur har hämtat sitt klassifikationssystem från Pratt och Gwynne (1977).

### 1.3.3.1 Vegetationstyper

**Forest:** De flesta träd är 7-40 meter höga med trädkronor som griper in i varandra. Ständigt gröna skogar karaktäriseras av att individuella träd kan fälla sina löv men trädkronorna som helhet förblir gröna året runt (ex *Olea africana*). Lövskogar karaktäriseras av träd som faller sina löv under torrperioden (ex *Acacia* och *Combretum* spp.)

**Woodland:** De flesta träd är runt 20 m i höjd. Trädkronorna är oftast ej i kontakt med varandra, dock är trädkronornas marktäckning större än 20%. Det är oftast ett välutvecklat marktäcke av örter och/eller dvärgbuskar. *Woodland* återfinns man bland annat längs säsongsmässiga och permanenta vattendrag.

**Bushland:** Består av vedväxter som oftast har ett flertal stammar och oftast inte är högre än 10 meter. Kronorna går ofta in i varandra och täckningen är större än 20%. Träden är spridda men dock märkbara. Marktäckningen av örter är oftast sparsam.

**Shrubland:** Buskmark bestående av vedväxter runt 6 m höga utan ett signifikant inslag av träd. Krontäckningen överstiger 20 % och marktäckningen av örter är oftast sparsam.

**Dwarf Shrub Grassland:** Vedväxter under 0,7 meter höga dominerar och upptar mer än 2% av den totala marktäckningen.

**Bush Grassland:** Består av gräsmark med utspridda träd och buskar och med en krontäckning understigande 20 %.

**Shrub Grassland:** Grässlätter med spridda buskar och med en krontäckning på under 20%.

**Grassland:** Gräs och starr dominerar dessa växtsamhällen. Vedväxter antingen saknas eller är i det närmaste obefintliga. Vedväxterna utgör mindre än 2% av krontäckningen.

**Barrenland:** Vegetationen är sparsam och förekommer i band/remсор.

En schematisk representation av de olika vegetationstyperna ges av figur 2.

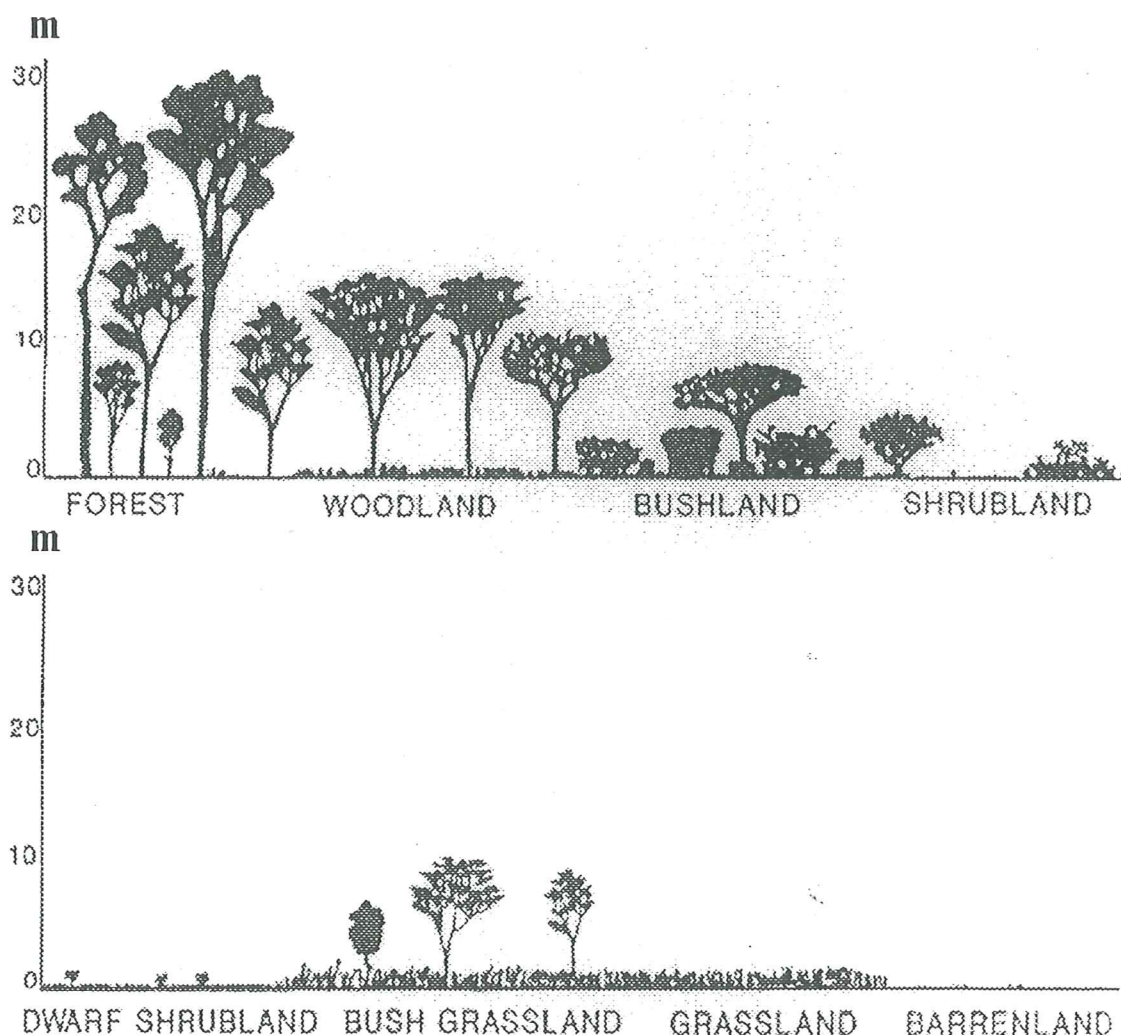
### 1.3.3.2 Mander och Wajir

Mander består till största delen av olika typer av semiarid busksavann med en övergång mot torrare områden i nordöst.

Om vegetationen i Wajir kan man generellt sett säga att buskar och träd dominerar den nordöstra delen av distriktet medan dvärgbuskar är dominerande över stora områden i nordväst. Dvärgbuskar samt grässlätter dominerar till stora delar den södra halvan av distriktet (RMH 1992b).



Annuela gräs dominerar örtskiktet (utgör cirka 40% av gräsarterna) inom övervägande delen av distriktet, medan perenna gräs dominerar eller är potentiellt dominant i den norra tredjedelen av distriktet, vissa delar i sydöst med kalkrika tunga leror, samt längs Ewaso Nyiro floden och dräneringsstråk (RMH 1992b).



Figur 2. De olika fysionomiska vegetationstyper typiska för området (RMH 1993).

### 1.3.3.3 Marsabit

De centrala och västra delarna av Marsabit är extremt torra med bland annat ökenområdet Chalbi, som tidigare varit sjöbotten, men nu är ett plant sabkhaområde utan vegetation. North Horr, den enda nederbördsstationen i området på lägre altitud, har en genomsnittlig årlig nederbörd på 150 mm och en potentiell evaporation på över 2 600 mm per år (se station 3, figur 3) (White 1983). I de östra och södra delarna, utanför bergsområdena, dominerar grässlätter med olika sammansättningar av annuella och perenna gräs, samt utspridda buskar.

Med stigande altitud stiger också nederbörden och på de högre bergstopparna är nederbörden över 1 000 mm per år (White 1983). Här finner man också en riklig

vegetation med ständigt grön vegetation på upp till 40 meters höjd. Generellt sett är dessa områden nationalparker eller reservat (RMH 1991).

#### 1.3.3.4 Samburu

Som ett resultat av stora topografiska och klimatologiska skillnader har Samburu flera fysionomiska och artbaserade vegetationsklasser. På högre altituder finner man ständigt grön skog och busksavann. Busksavann (*Bushland/ Shrubland*) dominerar även på de östra bergssluttningarna inom distriktet. På den centrala platån samt på det östra låglandet dominerar grässavann (olika typer av *Grassland*). Ständigt grön vegetation samt skogs- och snårmark finner man kring vattendrag och andra mer säsongsmässiga vattenflöden.

Grässkiktet domineras till största delen av perenna arter inom hela distriktet förutom på det östra låglandet som har en sammansättning av perenner och annueller. De annuella grässlagen dominerar också på förkastningsbranterna vid Rift Valley (RMH 1992a).

#### 1.3.4 Markanvändning

Generellt sett kan man säga att markanvändningen inom låglandet huvudsakligen består av nomadernas pastoralism, medan man på högre altituder även återfinner jordbruk. Det finns dock jordbruk även inom ganska torra områden, där jordarna är tillräckligt fertila och vatten finns att tillgå (Lundgren 1975).

### 1.4 Data och mjukvara

Datan som används i studien utgörs av kartmaterial, satellitbilder (AVHRR NDVI-data) och nederbördsdata.

#### 1.4.1 Kartor

Som underlag för valet av träningsytor låg vegetationskartor i skalan 1: 1 000 000 (Mandera, Wajir och Marsabit) och 1:500 000 (Samburu), framtagna av Jordbruksministeriet i Nairobi (*Ministry of Agriculture, Livestock Development and Marketing* (MALDM)). Dessa kartor har i denna studie använts som indata, trots beaktande av ett antal möjliga felkällor vid karteringen. Kartorna är framtagna genom en kombination av satellitbildstolkning (Landsat) samt fältstudier. Satellitbilderna användes för att preliminärt identifiera landområden med liknande landform och relief. Därefter valdes strategiska punkter ut inom varje enhet för fältundersökning. Flera fältundersökningsområden, där varje undersökningsområde var ungefär ett halvt hektar togs ut inom varje större enhet. Datan som samlades in i dessa punkter låg till grund för klassningen av resterande landområden. Provpunkternas tillförlitlighet utvärderades mot ytterligare fältdata som samlades in. Inom varje område uppmättes och noterades, växtform, växthöjd, artsammansättning inom olika strata samt procentuell marktäckning. Kartorna har en detaljerad klassuppdelning ur den synpunkten att varje fysionomisk vegetationsklass i sin tur har ett flertal underklasser, baserade på artdominans och marktäckning.

#### 1.4.2 AVHRR data

AVHRR-datan har extraherats från en kontinental databas framtagen av NASA Global Inventory Monitoring and Modeling System (GIMMS). NASA har beräknat NDVI, från NOAA AVHRR, för 7.6 kilometer x 7.6 kilometer stora pixlar.

Vid bearbetningen av datan har följande steg tagits (Los *et al.* 1994):

Under en 10-dagarsperiod lagras pixeldata från GAC<sup>1</sup>-kanalerna 1, 2 och 5. Därefter elimineras de 45 yttersta kantpixlarna motsvarande en vinkel på mer än 42° från nadir, samt data motsvarande en temperatur på under 285 K i kanal 5.

Datan omräknas med hjälp av kalibreringsvärden från NOAA till normaliserade radianser och de erhållna värdena motsvarar reflektansen då solen står i zenit. NDVI beräknas enligt gängse ekvation, se avsnitt 1.6, med normaliserade radiansvärden från kanal 1 och 2. NDVI erhålls genom:

$$\text{NDVI} = (\text{DN}-82)/256$$

där DN är ett 8-bitars NDVI värde (0-255).

NDVI-datan kartläggs i en projektion vid namn Hammer-Aitoff där varje pixel har en upplösning på 7,6 kilometer x 7,6 kilometer. I de fall man får en överlappning väljs den pixel med det högsta NDVI-värdet. Finjusteringar görs mot kontinenternas landgränser samt floder, och satellitbilden förskjuts om det är nödvändigt med ett antal pixlar. Det högsta NDVI värdet för varje 10-dagarsperiod extraheras och får representera hela perioden. Slutligen görs en korrektion för eventuella skillnader mellan sensorer och sensorsdrift.

#### 1.4.3 Nederbördsdata

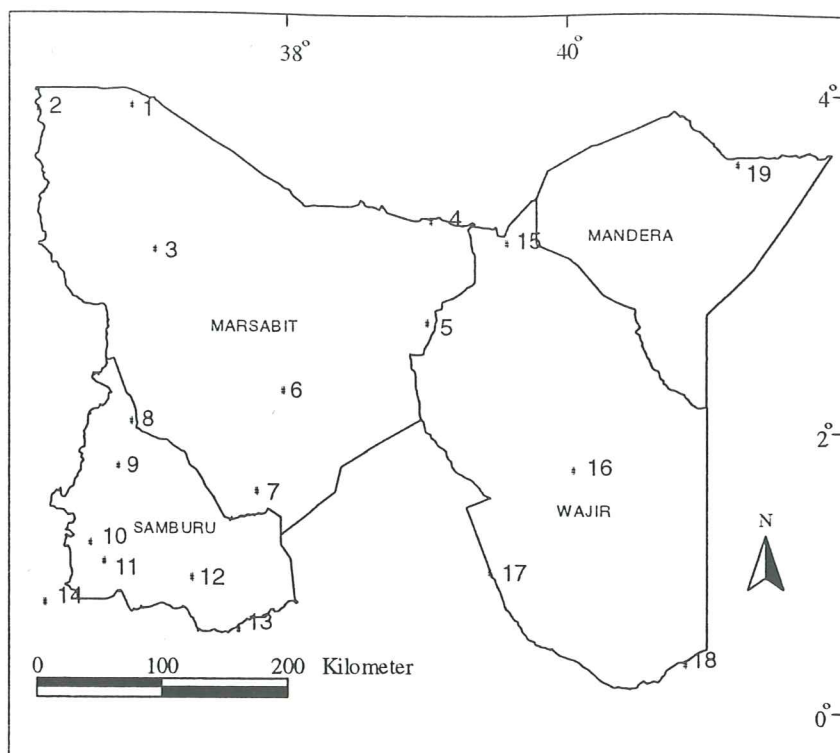
Nederbördsdata från de aktuella distrikten är framtaget från Kenyas meteorologiska departement (KMD) där 18 stationer låg inom, eller i nära anslutning, till studieområdet. Den dagliga nederbörden har mätts och utifrån detta har 10-dagars-, månads- och årsdata beräknats, se figur 3. Koder, namn på stationerna samt geografiska positioner finns i bilaga 1.

#### 1.4.4 Mjukvara

Flera olika mjukvara har använts i studien. För bearbetning av NDVI-datan har IDA (Pfirman 1991), IDRISI (Eastman 1993) och PCI (PCI 1994) använts. Till Fourieranalysen användes FORTRAN-program, framtagna av Olsson och Eklundh (1994), och Arc/Info (ESRI 1996) användes vid digitalisering och vektorhantering. Förutom de ovannämnda har statistiskprogram, databashanterare, kalkylprogram, programvara för grafisk presentation och ordbehandlingsprogram använts.

---

<sup>1</sup> Global Area Coverage



Figur 3. Nederbördsstationer inom området.

### 1.5 NOAA AVHRR

NOAA-satelliterna med sensorn *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) är framtagna som vädersatelliter, men genom sensorns konstruktion med mätområden både inom det synliga våglängdsområdet och NIR<sup>1</sup>-området har dessa satelliter även fått andra användningsområden.

Den första, NOAA-6, sändes iväg redan 1979 men då under namnet NOAA-A. NOAA-satelliterna består av flera generationer satelliter som opererar på 833-870 kilometers höjd i en polär, solsynkron bana med en omloppstid på 102 minuter och avverkar 14,1 varv/dygn. Satelliterna med jämna nummer har en stigande norrgående bana som korsar ekvatorn på kvällen 19.30 och en fallande på morgonen 7.30, de ojämnt numrerade däremot har en stigande bana på eftermiddagen 14.30 och en fallande på natten 2.30. Detta gäller ej för NOAA-14 som ersätter NOAA-13 i funktion. Tiden då satelliterna korsar ekvatorn är bara en grov indikator, då tiden varierar under satelliternas livstid (Eklundh 1996).

AVHRR är en scannande radiometer med spektrala mätegenskaper enligt tabell 1. *Instantaneous Field of View* (IFOV) ligger på 1,4 milliradianer och ger en upplösning i nadir på ungefär 1,1 km på 833 kilometers höjd. Varje scannad linje består av 2048 pixlar med en avvikelse på  $\pm 55,4^\circ$  från nadir. I nadir är en pixels geometriska storlek runt 1,2 km<sup>2</sup> och i kanterna just under 13 km<sup>2</sup> (Eklundh 1996). Vid  $\pm 42^\circ$  från nadir, vilket är den vinkel som utgör gränsen i GIMSSs databas, är pixelstorleken runt 3 km<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Nära infrarött

Tabell 1. De spektrala mätområdena hos NOAA AVHRR.

AVHRR kanal	NOAA-6, -8, -10, -12 och -14 (nm)	NOAA-7, -9 och -11 (nm)
1	580-680	580-680
2	725-1100	725-1100
3	3550-3930	3550-3930
4	10500-11500	10300-11300
5	-	11500-12500

## 1.6 NDVI

*Normalized difference vegetation index* (NDVI) är ett vegetationsindex som har visats sig ha en hög korrelation med växtfysiologiska parametrar som biomassa, marktäckning och fotosyntesisk aktivitet (Justice *et al.* 1986b). NDVI beräknas enligt följande

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

där NIR är spektrala strålningen inom det närinfraröda våglängdsbandet (AVHRR kanal 2) och R är spektrala strålningen inom det röda våglängdsbandet (AVHRR kanal 1). Kanal 1 motsvarar i hög grad den spektrala zonen där den gröna vegetationens reflektans når ett minimum, på grund av klorofyllets absorption, medan kanal 2 i hög grad motsvarar det spektrala intervall där reflektionen, på grund av mesofyllet, ökar och närmar sig ett maximum (Kennedy 1989). Formeln normaliserar skillnaderna mellan kanalerna och resultatet blir ett värde mellan -1 och +1 (Tucker *et al.* 1981). Det har visat sig att NDVI effektivt normaliserar spektrala variationer på grund av underlaget (Colwell 1974), samt variationer i irradians (Tucker 1979).

Det pågår en debatt om huruvida NDVI är relaterat till den biofysiska statusen hos vegetationen, som LAI (*Leaf Area Index*) och biomassa, eller till den biofysiska processen, som fotosyntes och evapotranspiration (Eklundh 1996). Asrar *et al.* (1989) har visat på sambandet mellan NDVI, APAR<sup>1</sup> (*Absorbed Photosynthetically Active Radiation*) och LAI, och fastslagit att NDVI och APAR är relaterade till LAI i ett liknande mönster, vilket ger ett nära nog linjärt förhållande mellan NDVI och APAR. Detta förhållande är en god indikation på att NDVI kan användas för att uppskatta APAR, och därmed även andra fysiska och fysiologiska attribut inom vegetationstäckets som är relaterade till APAR (Asrar *et al.* 1989).

Sellers (1989) visar på att NDVI har ett nära nog linjärt förhållande med vegetationstäckets fotosyntesiska kapaciteten, och anser att satellitdatan i första hand registrerar bruttoprimärproduktionen och evapotranspirationen i stället för LAI och biomassa.

<sup>1</sup> APAR är den av vegetationen absorberade andelen av PAR (*Photosynthetically Active Radiation*), som i sin tur är den fotosyntetiskt aktiva strålningen i intervallet 0,40-0,70 µm.

### 1.6.1 Fenologi

Den fenologiska beskrivningen av vegetation är baserad på studien av tidpunkter för biologiska händelser, som bestäms av den dynamiska evolutionen i ett ekosystem, samt samspelet inom och mellan arter. Faktorer som kan påverka fenologin varierar från art till art, men kan vara faktorer som markfuktighet, marktemperatur, lufttemperatur och solinstrålning (Leith 1974).

I studier av vegetationsindex och dess korrelation med växters fenologi, har starka samband påvisats. Fenologiska förändringar i tiden har registrerats, i form av NDVI, för odlad mark såväl som naturlig vegetation av bland andra Malingreau (1986), Justice *et al.* (1986a och 1986b), Kennedy (1989) och Lloyd (1989). Satellitbildernas upplösning tillåter inte registrering av småskaliga fenologiska händelser, utan dess styrka ligger i beskrivningen av hela ekosystem (Reed *et al.* 1994).

## 2. METOD

### 2.1 Träningsytor

Då träningsytorna digitaliserades från vegetationskartorna var målet att få homogena ytor, för att underlätta studien av enskilda träningsytors NDVI-värde. Kravet var också att varje enskild träningsyta skulle bestå av 3-4 pixlar eller mer. Då satellitdatans upplösningen är 7,6 km x 7,6 km blev kravet på homogena tillräckligt stora ytor en begränsande faktor vid avgränsningen av träningsytor. Sammanlagt digitaliserades 67 polygoner och detta resulterade i 877 träningspixlar. Fördelning inom klassernas presenteras i tabell 2.

**Tabell 2.** Fördelningen av pixlar inom klasserna.

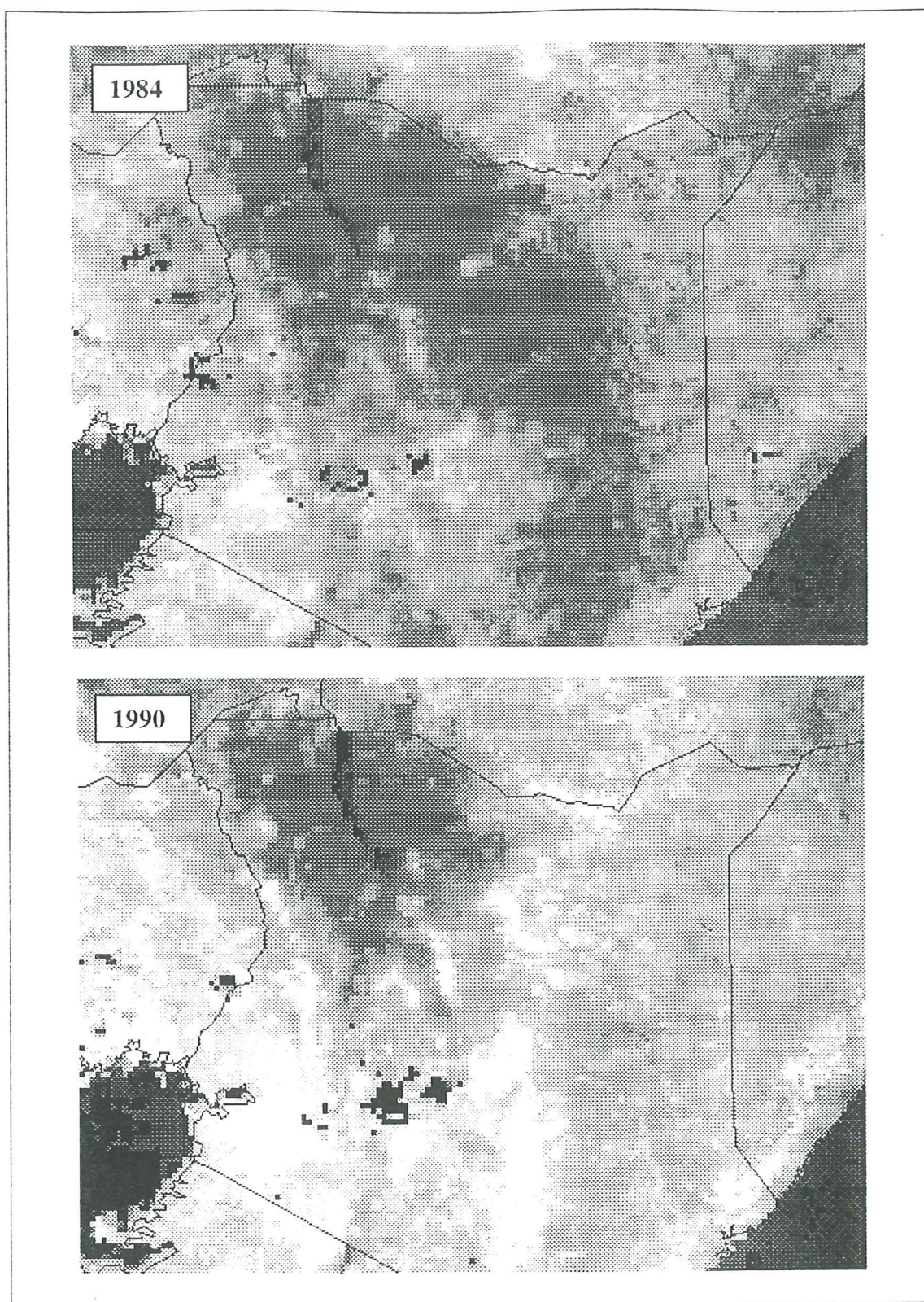
Klass	Antal pixlar
Forest/ Evergreen	28
Bushland/ Shrubland	417
Grassland-perennial	114
Grassland-annual	224
Barrenland	94

Kartorna var i en nationell projektion, och projicerades därför om till latitud-longitud eftersom satellitdatan var i Hammer-Aitoff projektion. Den programvara som användes (IDA) klarade av konverteringen av latitud-longitud till Hammer-Aitoff. Detta ansågs rimligt då studieområdet ligger precis norr om ekvatorn. RMS<sup>1</sup>-felen låg inom rimliga gränser med tanke på upplösningen i satellitbilderna. Störst var RMS-felet inom kartbladet Marsabit där det som mest uppgick till 330 meter.

### 2.2 Satellitdata

Satellitdatan som använts i denna studie är GIMMS AVHRR NDVI-data, se kapitel 1.4.2. 10-dagarsbilder från torråret 1984 och det mer normalblöta året 1990, tillsammans 72 satellitscener, har använts i studien. För att minska datamängden och bruset gjordes en sammanslagning av datan till månadsmedelvärden. Eklundh (1996) har visat att korrelationen mellan 10-dagarsbilder och NDVI är lågt, det vill säga man har ett kraftigt brus i satellitbilden. Medianen för R<sup>2</sup> är i Eklundhs studie 0,10 och 25% och 75% percentilerna låg på 0,04 respektive 0,25. Genom att bilda medelvärden över längre perioder kan dock bruset kraftigt reduceras. Att den sista perioden i varje månad representerar 8-11 dagar har inte tagits hänsyn till då månadsmedelvärden bildats. Då det saknades data för vissa perioder godtog två värden (av tre möjliga) för att bilda månadsmedel. Saknades däremot två perioder markerades värdet som saknat.

<sup>1</sup> RMS (Root Mean Square) =  $\sqrt{\frac{\sum (x_i - t)^2}{n - 1}}$      $x_i$  = uppmätt värde.  $t$  = sanna värdet



Hammer-Aitoff projektion

**Figur 4.** GIMMS NDVI-bilder för den första 10-dagarsperioden i maj månad, 1984 respektive 1990. Lagt NDVI visas i figuren i mörka gråtoner och ett högt NDVI med ljusa toner. I figuren ser man att under torråret 1984 är områdena med låga NDVI betydligt mer utbredda än under 1990. Den mörka linjen visar landgränser. De svarta pixlarna markerar att data saknas. (Landgränserna är ej anpassade till NDVI-bilden).



Att valet föll på åren 1984 och 1990 beror på intresset i att undersöka hur ett torrår som 1984 skiljer sig från ett ur nederbördssynpunkt mer normalt år som 1990, i avseende på de i studien undersökta parametrarna. Som man kan se i figur 4 är det betydligt större områden med låga NDVI-värden 1984 jämfört med 1990.

### 2.3 Klassuppdelning

Då materialet i studien är grundat på en fysionomisk klassificering av vegetationen, gjordes en grov klassindelning grundad på de fysionomiska vegetationstyper presenterade i kapitel 1.3.3. Med tanke på den grova upplösningen i satellitdatan (7,6 km x 7,6 km), samt den i många fall gradvisa skillnaden mellan flertalet vegetationstyper, fastslogs antalet klasser för vidare studier till fem.

De resulterande fem klasserna är:

1. **Barrenland:** Områden med sparsam vegetation samt barmark.
2. **Grassland-annual:** *Grassland* där annueller dominerar marktäckningen.
3. **Grassland-perennial:** *Grassland* där perenner dominerar marktäckningen.
4. **Bushland/ Shrubland:** Den största klassen med områden av *Bushland* och *Shrubland*. Den fysionomiska skillnaden mellan dessa vegetationstyper är att buskarnas höjd inom *Shrubland* är något lägre (upptill 6 meter höga istället för 10 meter), samt en i det närmaste total avsaknad av träd.
5. **Forest/ Evergreen:** En sammanslagning av klasserna *Forest* och *Woodland*. Inom området förekommer dessa vegetationstyper enbart i bergsområdena inom Marsabit och Samburu. Klassen innehåller även områden med ständigt grön buskvegetation.

### 2.4 Analys av data

En ensidig variansanalys genomfördes för att urskilja mellan vilka månader det fanns en signifikant skillnad mellan de olika klasserna. Vid variansanalys antar man

- normalfördelning
- lika varians
- oberoende

En variansanalys är dock ett robust test, så trots att villkoret 'lika varians' inte var fullständigt uppfyllt utfördes analysen. Emellertid kompletterades den med Kruskal-Wallis test, ett så kallat icke parametriskt test som alternativ till ensidig variansanalys.

Efter denna analys vet man likväl inte vilka nivåer som skiljer sig åt, bara att det finns en skillnad inom den specifika månaden. I denna situation måste ytterligare jämförelser göras mellan de olika klasserna. Valet av test, för vidare jämförelser, föll i denna studie på Tukey's test.

#### 2.4.1 Tukey's test

Tukey's test, enligt Montgomery (1991), är en procedur för att testa nollhypotesen  $H_0: \mu_i = \mu_j$ , för alla  $i \neq j$ . Man använder sig av tabellvärdet  $q_{\alpha}(a, f)$  för att bestämma ett kritiskt värde för alla parvisa jämförelser. Tukey's test förklarar två klasser signifikant åtskilda om absolutvärdet av differensen mellan de två klasserna överskrider

$$T_{\alpha} = q_{\alpha}(a, f) S_{\bar{y}_i}$$

där  $a$  är antal klasser,  $f$  antal frihetsgrader,  $\alpha$  är signifikansnivån och  $S_{\bar{y}_i}$  är standardfelet för varje klass.  $S_{\bar{y}_i}$  beräknas enligt

$$S_{\bar{y}_i} = \sqrt{\frac{MS_E}{n}}$$

där  $MS_E$  är medelkvadratsumman för residualerna och  $n$  är antalet observationer.  $n$  byts ut mot  $n_h$  då antalet observationer inte är detsamma i klasserna, och  $n_h$  beräknas enligt följande

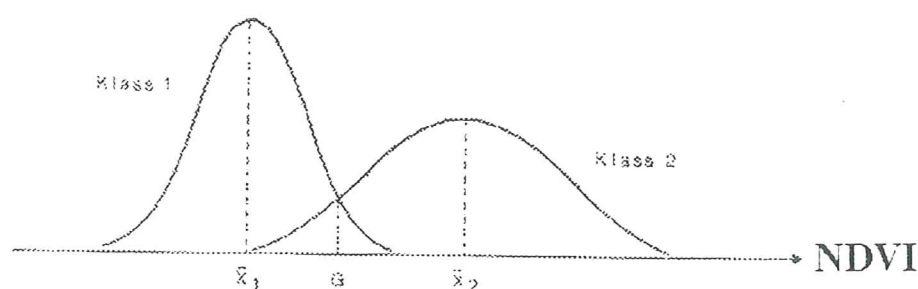
$$n_h = \frac{a}{\sum_{i=1}^a (1/n_i)}$$

#### 2.4.2 Klasseparabilitet

De månader med bäst separabilitet, mellan varje möjlig klasskombination, togs ut enligt Eklundh och Pilesjö (1987) med formeln

$$\text{Avstånd} = |\bar{x}_1 - \bar{x}_2| / (s_1 + s_2)$$

som ger avståndet till gränsvärdet ( $G$ ) mellan två normalfördelade klasser. Avståndet ges i antal standardavvikelser från respektive klassmedel, se figur 5. Vid gränsvärdet ( $G$ ) är sannolikheterna att en pixel skall tillhöra respektive klass lika stora.



Figur 5. Schematisk illustration för att finna gränsvärdet ( $G$ ) mellan två normalfördelade klasser (Eklundh och Pilesjö 1987).

Gränsvärdet ( $G$ ) kan användas för att erhålla sannolikheten att en viss pixel tillhör en viss klass, eftersom  $G$  redovisar graden av överlappning mellan de olika klasserna.

#### 2.5 Nederbörd och NDVI

Eklundh (1996) har påvisat såväl det spatials, som det temporala, sambandet mellan nederbörd och NDVI. NDVI-värdet för vegetationen runt studieområdets nederbördsstationer extraherades genom att medelvärden bildades för 3x3-pixlar stora

fönster kring varje nederbördsstation. I semiarida områden är nederbörden ofta oregelbunden och häftig när den väl faller. Ett visst fel bör man få när man bildar medelvärden för 3x3-pixlars fönster, då varje pixel motsvarar en stor landyta och korrelationen mellan NDVI och nederbörd avtar med avståndet till stationen. Dock valdes stora fönster före en solitär pixel för att minska påverkan av brus (Eklundh 1996). Fel orsakade av felregistreringar jämnas ut då man tar ett medelvärdesfönster på 3x3-pixlar, utan att man får en signifikant skillnad mot 1x1-pixlars fönster som fallet är då man jobbar med 5x5-pixlars fönster (Eklundh 1996). För att kunna studera sambandet mellan olika vegetationstyper och nederbörd plottades nederbörden för varje månad mot NDVI-värdet.

Nederbördsdatan erhöles från Kenyas meteorologiska departement (KMD), se kapitel 1.4.3.

## 2.6 Fourieranalys

Ifall man vill utläsa fenologiska parametrar från en tidsserie matematiskt, är Fourieranalys en passande teknik (Olsson och Eklundh 1994). Fourieranalysen bygger på att man anpassar trigonometriska funktioner till sin tidsserie. Den grundläggande formeln definieras enligt

$$f(x) = \bar{x} + \sum_{r=1}^{N/2} [a_r \sin(2\pi r x / P) + b_r \cos(2\pi r x / P)]$$

där:

P = perioden för datan; P = 36 (12x3) ifall man, som i detta fallet, har tre observationer per månad

N = antal observationer i serien

r = svängning; mellan 1 och N/2

$\bar{x}$  = medel för hela tidsserien

de två Fourierkoefficienterna är definierade enligt

$$a_r = 2 / N \sum_{x=1}^N [f(x) \sin(2\pi r x / P)]$$

$$b_r = 2 / N \sum_{x=1}^N [f(x) \cos(2\pi r x / P)]$$

Fouriertransformeringen utförs upprepade gånger (N/2), där varje upprepning (svängning) ger en bättre passning mot originaldatan. Den första svängningen kan ha ett maximum och ett minimum, medan den andra svängningen kan ha två maximum och två minimum och så vidare (Eklundh 1996).

För att bestämma ifall ett område har en eller två regnperioder kan man använda sig av följande index (Eklundh 1996):

$$\Delta V = VR_1 - VR_2$$

där  $\Delta V$  är ett mått på områdets säsongsfördelning.  $VR_1$  och  $VR_2$  är förklaringsgraden av variansen i den första respektive andra svängningen. En typisk unimodal fördelning, med ett maximum och ett minimum per år, har en hög förklaringsgrad av den första svängningen, medan en bimodal fördelning med två maximum och två minimum får en god förklaringsgrad med två svängningar.  $\Delta V$  varierar från +1 i en helt unimodal fördelning till -1 i en helt bimodal fördelning. Områden där indexet ligger mellan -0,2 och 0,2 ( $-0,2 < \Delta V < 0,2$ ) kan anses som tvetydiga (Eklundh 1996).

För Fourierstudien valdes ett antal träningsområden från de redan befintliga träningsytorna.

### 3. RESULTAT

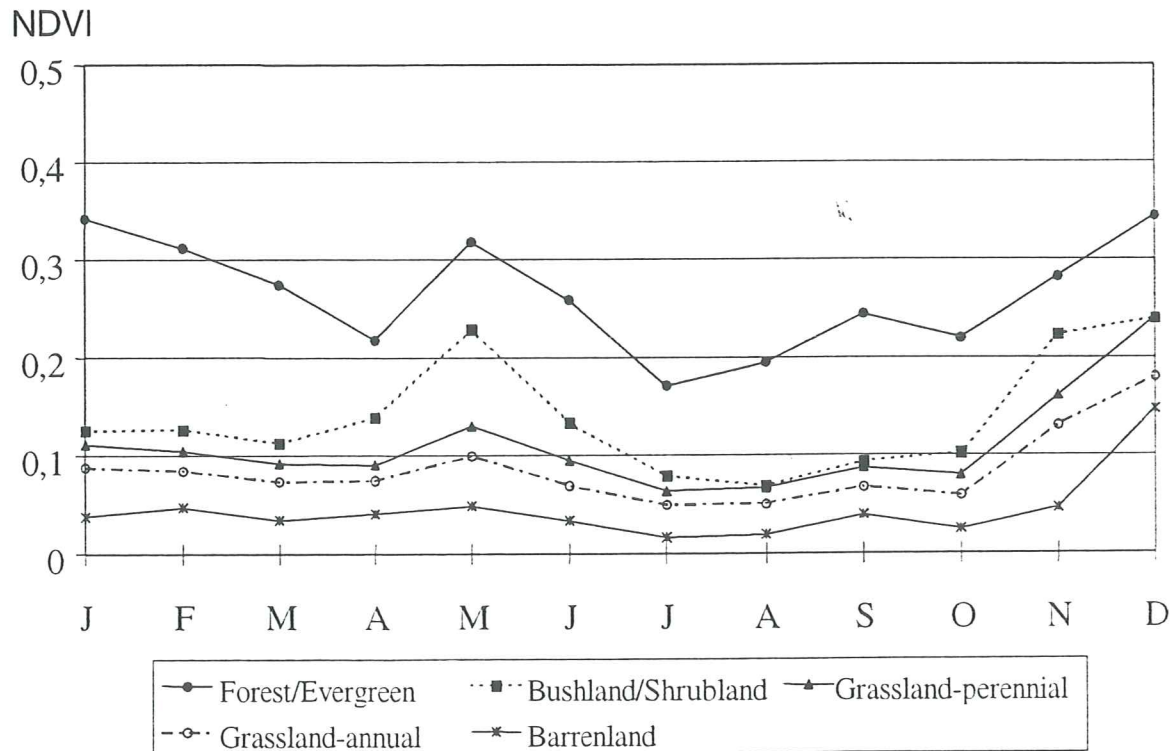
#### 3.1 NDVI och fenologi

##### 3.1.1 Fenologi

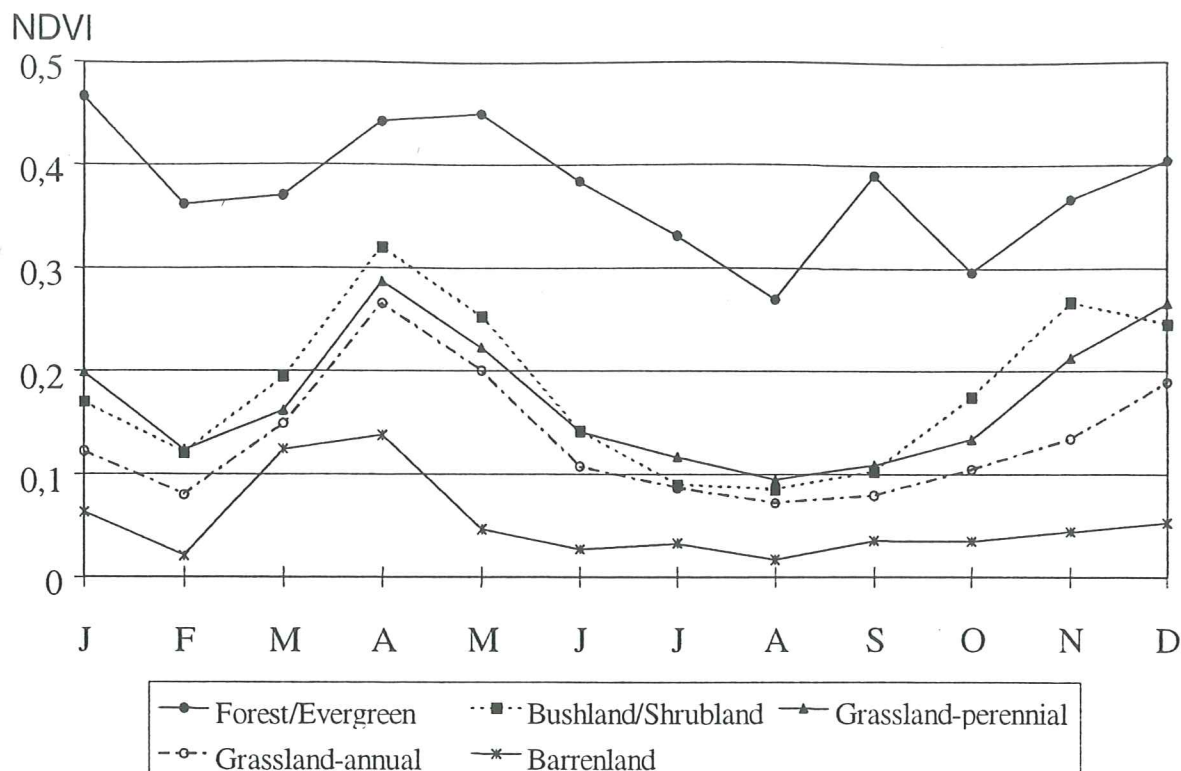
De olika klassernas utveckling under året kan åskådliggöras i diagramform för respektive år, se figur 6 och 7.

I figur 6 och 7 ser vi de olika klassernas NDVI-medelvärden för varje månad. Alla klasserna uppvisar en liknande dynamik under året och den största, och mest iögonfallande, skillnaden är just nivån på NDVI-värdet. Under 1984 är den inbördes relationen hela tiden densamma, däremot så alternerar klasserna *Bushland/Shrubland* och *Grassland-perennial* under 1990.

Märkbart är uppgången av NDVI-värdet i september månad för klassen *Forest/Evergreen*. Denna tendens syns svagt för de andra klasserna 1984 men däremot finns inga tecken på detta under 1990, trots att fenomenet för *Forest/Evergreen* där är desto tydligare. Då man studerar NDVI-värdena innan månadsmedelvärdena bildats, det vill säga med tre värden per månad, ser man att det inte är enbart en 10-dagarsperiod som har ett extremt högt NDVI-värde utan tendensen är återkommande inom alla träningsytorna för två eller tre perioder.



Figur 6. Den fenologiska utvecklingen under 1984.



Figur 7. Den fenologiska utvecklingen under 1990.

Värt att notera är också den inbördes relationen mellan *Bushland/ Shrubland* och de båda klasserna av *Grassland*, såväl 1984 som 1990. Ökningen av NDVI avtar i december för *Bushland/ Shrubland* medan man har en oförminskad ökning för båda typerna av *Grassland*.

### 3.1.2 Separabilitet

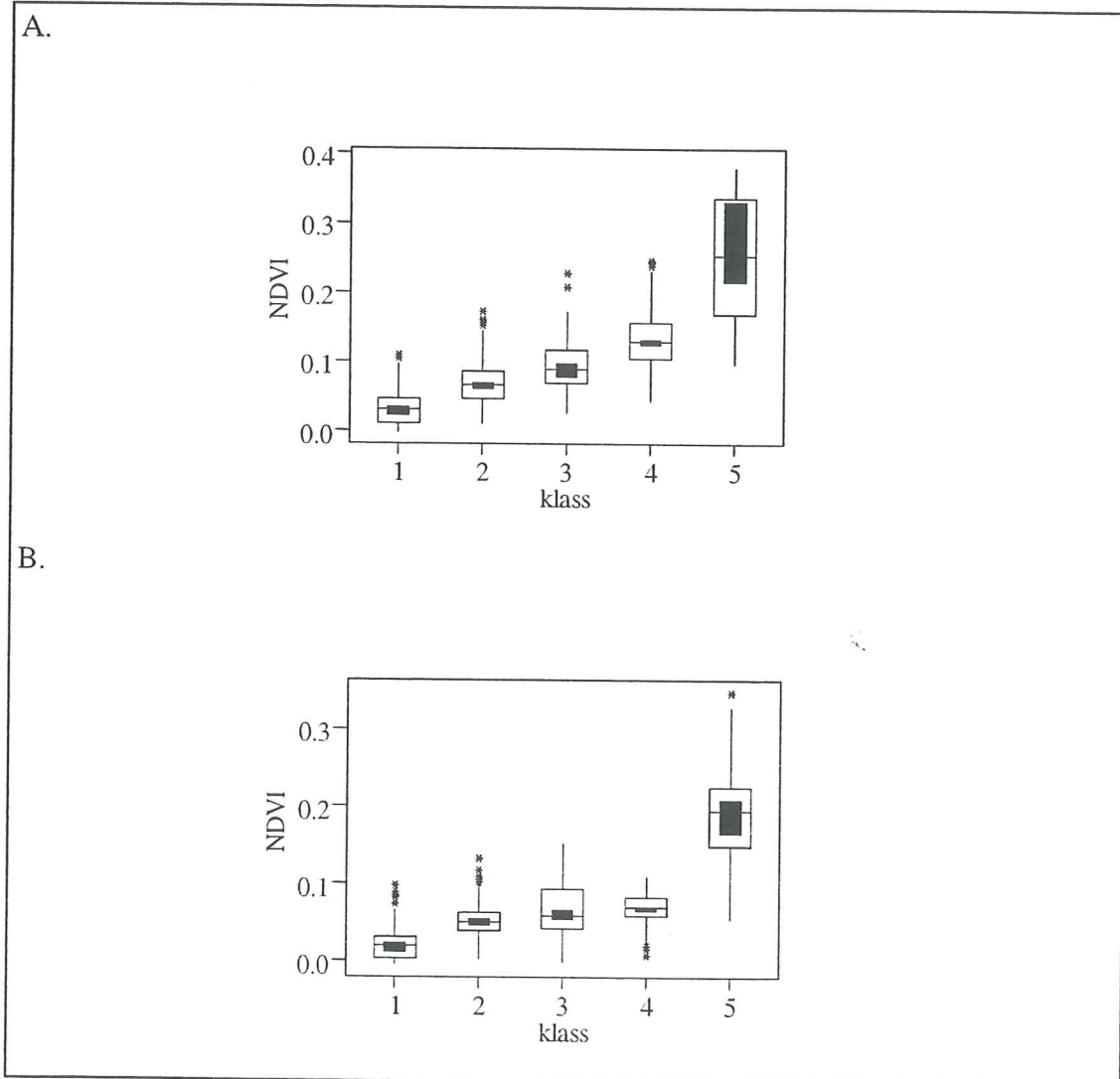
Under alla 12 månader, 1984 såväl som 1990, fanns en signifikant skillnad mellan klasserna enligt variansanalysen. Resultatet av Kruskal-Wallis var detsamma, med en signifikant skillnad inom alla månader, såväl 1984 som 1990. Detta dels beroende på att klasserna *Barrenland* och *Forest/ Evergreen* under alla månader låg väl separerade, se diagram 1 och 2. Det var dock vissa månader man ej kunde särskilja alla klasser, enligt Tukey's test. Resultaten för 1984 och 1990 redovisas i tabell 3 och 4.

Tabell 3. Månader vars NDVI-värde ej är signifikant åtskilda, enligt Tukey's test ( $\alpha=0.05$ ). 1984.

	Barrenland	Forest/ Evergreen	Bushland/ Shrubland	Grassland- perennial
Forest/ Evergreen	-			
Bushland/ Shrubland	-	-		
Grassland- perennial	-	-	Januari, Augusti, September, December	
Grassland- annual	December	-	-	April, November

Tabell 4. Månader vars NDVI-värde ej är signifikant åtskilda, enligt Tukey's test ( $\alpha=0.05$ ), 1990.

	Barrenland	Forest/ Evergreen	Bushland/ Shrubland	Grassland- perennial
Forest/ Evergreen	-			
Bushland/ Shrubland	-	-		
Grassland- perennial	-	-	Januari, Februari, Mars, April, Maj, Juni, Augusti, September, December	
Grassland- annual	Mars	-	Juli, Augusti	Mars, April, Maj



Figur 8. Boxplottar som visar en månad med relativt god separabilitet, juni 1984 (A), och en månad med överlag dålig separabilitet, augusti 1984 (B). Botten på boxen anger den första kvartilen (K1) och toppen den tredje (K3). Mittenlinjen visar medianvärdet och den svarta inre boxen visar ett 95%-konfidensintervall. De lodräta linjerna nedan- och ovanför boxen anger värden inom intervallen  $K1-1,5(K3-K1)$ , respektive  $K3+1,5(K3-K1)$ . Värden bortom ovannämnda intervall är markerade med en asterix (\*). 1=Barrenland, 2=Grassland-annual, 3=Grassland-perennial, 4=Bushland/ Shrubland, 5=Forest/ Evergreen.

Den stora spridningen inom respektive klass gör det dock svårt att uttala sig om enskilda värden trots att konfidensintervallen (95%) inte överlappar varandra, se figur 8. Konfidensintervallet visar intervallet inom vilket medelvärdet faller, medan boxplottarna visar hela stickprovets spridning.

För att kontrollera vilken månad som ger den bästa separabiliteten mellan de olika klasserna beräknades gränsvärdet (G) (enligt kapitel 2.4.2) för alla möjliga klasskombinationer. Resultatet redovisas i tabell 5 och alla de enskilda gränsvärdena redovisas i bilaga 2.

**Tabell 5.** Matris över de månader med bäst separabilitet mellan de olika klasserna, 1984 och 1990.

	<b>Barrenland</b>	<b>Forest/ Evergreen</b>	<b>Bushland/ Shrubland</b>	<b>Grassland- perennial</b>
<b>Forest/ Evergreen</b>	1984: Oktober 1990: Maj			
<b>Bushland/ Shrubland</b>	1984: Maj 1990: Maj	1984: Januari 1990: September		
<b>Grassland- perennial</b>	1984: Mars 1990: Oktober	1984: Oktober 1990: September	1984: Maj 1990: Oktober	
<b>Grassland- annual</b>	1984: Mars 1990: Maj	1984: Oktober 1990: September	1984: Juni 1990: Oktober	1984: Juni 1990: Januari

Intressantast är förhållandet mellan de klasser som är närliggande i NDVI värde. Resultatet kan sammanfattas med att separabiliteten, med något undantag, är störst under regnperioderna.

De framtagna resultaten bygger på test av skillnader mellan de olika klassernas medelvärden. Då man skall använda framtagna data utan förkunskaper om de olika klasserna är det av intresse att ha ett mått på sannolikheten att en individuell pixel tillhör rätt klass. I boxplottarna, figur 8, ser man hur de olika klasserna överlappar varandra, och gränsvärdena (G) i bilaga 2 ger graden av överlappning. Med hjälp av gränsvärdena kan man ur statistiska tabeller utläsa med vilken sannolikhet två angränsande klasser går att skilja åt, se tabell 6 och 7.

**Tabell 6.** Sannolikheter för att enskilda pixelvärden tillhör rätt klass, 1984. Enbart resultatet för de klasskombinationer där de ingående klassernas NDVI-medelvärden ligger i anslutning till varandra, se figur 6, redovisas. Alla värden avrundade till närmsta hela procenttal (%).

<b>Klasskombination</b>	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>
Forest- Bushland/Shrubland	<b>95</b>	94	94	77	70	84	86	94	<b>95</b>	94	66	75
Bushland/Shrubland- Grassland-perennial	58	66	66	73	<b>78</b>	70	62	51	56	65	68	50
Grassland-perennial- Grassland-annual	60	62	63	58	59	<b>65</b>	60	62	64	62	57	63
Grassland-annual- Barrenland	75	74	<b>77</b>	67	69	73	75	73	72	73	72	57



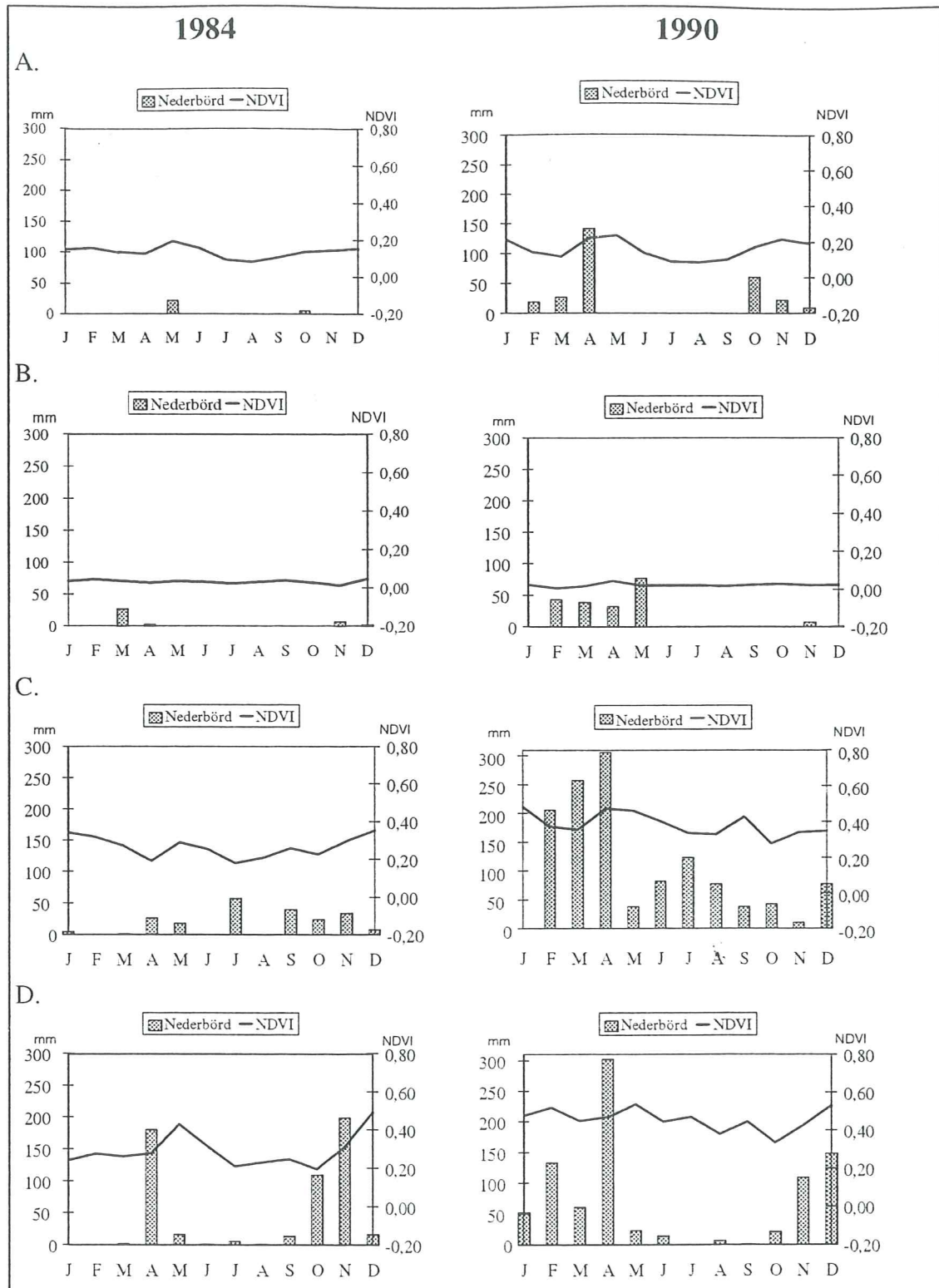
**Tabell 7.** Sannolikheter för att enskilda pixelvärden tillhör rätt klass, 1990. Enbart resultatet för de klasskombinationer där de ingående klassernas NDVI-medelvärden ligger i anslutning till varandra, se figur 7, redovisas. Alla värden avrundade till närmsta hela procenttal (%).

Klasskombination	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Forest-Bushland/ Shrubland	95	93	83	73	84	91	93	83	<b>96</b>	82	69	80
Forest-Grassland-perennial	91	90	89	79	86	90	89	80	<b>93</b>	91	77	73
Bushland/ Shrubland-Grassland-perennial	59	51	59	58	58	50	64	56	53	<b>70</b>	62	55
Bushland/ Shrubland-Grassland-annual	65	69	61	63	63	65	52	60	70	<b>78</b>	<b>78</b>	64
Grassland-perennial-Grassland-annual	<b>71</b>	66	53	55	55	64	65	63	65	64	67	65
Grassland-annual-Barrenland	71	78	57	81	<b>89</b>	86	81	84	80	83	78	82

Överlag har man en mer eller mindre stor överlappning mellan de i NDVI närliggande klasserna och resultatet pekar på hur svårt det är att uttala sig om enskilda pixlars klasstillhörighet. De båda *Grassland* klasserna är båda undersökningsåren svåra att åtskilja. Tendensen är också att under 1984 är det bäst separabilitet under den första regnperioden (mars-maj), medan man under 1990 återfinner den bästa separabiliteten under senare delen av året. En förklaring bör vara den på många platser uteblivna andra regnperioden under torråret 1984.

### 3.2 Samband mellan nederbörd och NDVI

På grund av det nära sambandet mellan den fotosyntesiska aktiviteten hos semiarid vegetation och nederbörd (Justice *et al.* 1986b), gav den ringa nederbörden under 1984 låga NDVI-värden utöver hela området jämfört med det mer normalblöta året. I figur 9 visas resultatet för vissa specifika områden. Diagrammen visar liknande mönster mellan nederbörd och NDVI men visar också på en viss skiftning mellan nederbörden och vegetations indexet beroende på en fördröjnings effekt mellan perioder med nederbörd och den resulterande grönskan.



**Figur 9.** NDVI-respons samt månadsnederbörd för vissa specifika nederbördsstationer och dess omgivande vegetation, 1984 och 1990. Tabell 8 redogör för position, nederbördsmängd, samt typ av vegetation för de olika diagrammen A-D.

**Tabell 8.** Information om NDVI- och nederbördsdiagrammen, från figur 9.

Diagram	Nederbördsstation		Total nederbörd (mm)		Vegetationstyp samt altitud
	Latitud (°)	Longitud (°)	1984	1990	
A (Stat.nr.19) <sup>1</sup>	Mandera Rhamu Police Post 3,93 41,23		26	281	<i>Grassland-annual</i> alternerade med <i>Bushland/ Shrubland</i> 321 m.ö.h
B (Stat.nr. 3)	North Horr Police Post 3,32 37,07		38	200	<i>Barrenland</i> och <i>Grassland-annual</i> (Utkanten av Chalbi)
C (Stat.nr. 11)	Maralal District Commissioner 1,10 36,70		213	1260	<i>Evergreen bush-/shrubland</i> samt <i>Grassland</i> med inslag av lövfällande buskar 2099 m.ö.h.
D (Stat.nr. 6)	Marsabit Met Station 2,32 37,98		545	874	<i>Forest</i> och <i>Evergreen bushland</i> (Mount Marsabit) 1447 m.ö.h.

Ur nederbördsdiagrammen kan man utläsa att vegetationstyper som *Bushland/ Shrubland* och *Grassland* har högre påverkningsgrad från nederbördstillfällena än vegetationstyper som *Forest/ Evergreen* och *Barrenland*.

### 3.3 Fourieranalys

För att undersöka ifall säsongsdynamiken var likartad för de respektive klasserna inom studieområdet, användes Fourieranalys. Områden belägna längst österut jämfördes med områden belägna längst västerut, då tidigare studier av Eklundh (1996) visat att det finns en skillnad mellan de östliga respektive västliga områdena. Sex träningsytor inom klassen *Grassland*, samt sex träningsytor inom klassen *Bushland/ Shrubland*, valdes för analysen. Medelvärdet för de tolv träningsytornas säsongindex presenteras i tabell 9 och 10.

**Tabell 9.** Säsongindex för *Grassland*, 1984 respektive 1990. Indexet kan variera från +1 hos en uteslutande unimodal fördelning till -1 för en uteslutande bimodal fördelning.

Träningsyta	1984	1990
Västra Marsabit/ Samburu	0,09	0,17
	0,09	0,02
	0,11	0,15
Östra Mandera/ Wajir	0,22	-0,47
	-0,27	-0,18
	-0,26	-0,16

<sup>1</sup> Stationsnummer som hänvisar till figur 3.

**Tabell 10.** Säsongsexponent för *Bushland/ Shrubland*, 1984 respektive 1990. Indexet kan variera från +1 hos en utslutande unimodal fördelning till -1 för en utslutande bimodal fördelning.

Träningsyta	1984	1990
Västra Marsabit/ Samburu	-0,11	0,35
	0,00	0,09
	0,04	-0,01
Östra Mandera/ Wajir	-0,21	-0,31
	-0,16	-0,26
	-0,26	-0,25

Från resultatet kan utläsas att inget av områdena är fullständigt unimodalt respektive bimodalt utan de flesta områdena är ganska tvetydiga. 1990 har man dock en starkare separering mellan de östliga respektive västliga träningsytorna inom studieområdet.

## 4. DISKUSSION

### 4.1 NDVI och fenologi

Under både 1984 och 1990 har klassen *Grassland-annual* ett lägre NDVI än klassen *Grassland-perennial*. En förklaringen till detta fenomen bör vara att de områden som domineras av annueller generellt sett ligger på marker med sämre kapacitet. Det är en vedertagen åsikt att annueller kommer in som ersättare för perenner på marker i dålig kondition. Utifrån den data som finns att tillgå är det kanske inte helt relevant att göra en uppdelning mellan perenner och annueller. Det finns inga uppgifter över annuellernas marktäckning, enbart uppskattningar om potentiell dominans under vissa perioder. Ej heller finns det några renodlade områden, med enbart annueller eller perenner, utan det rör sig om en gradvis övergång mot dominans av det ena eller andra slaget. Det erhållna resultatet visar på en överlag dålig separabilitet mellan de båda *Grassland* klasserna, de undersökta åren.

Att man inte kan se någon kraftig höjning av NDVI-värdet hos annuellerna kan bero på ett flertal orsaker. Under 1984 var nederbörden så pass låg att växtsäsongen aldrig riktigt kom igång, dels är inte klassen separerad mellan olika typer av annueller. Livscykeln kan variera kraftigt mellan olika typer av fenologiska grupper inom annuellerna. Så även om många annueller generellt sett har en kortare och intensivare växtperiod än perenner, är det svårt att upptäcka i en NDVI-kurva, där alla typer av annueller ingår i samma klass. En vidareutveckling och separation inom klassen borde kunna ge vidare information, men då habitatet oftast är begränsade i rummet krävs dock en högre upplösning av satellitdatan. 1990 kan man se en uppgång under den första regnperioden där annuellerna närmar sig de andra klasserna från ett lägre utgångsläge före regnperioden.

Klassen *Barrenland* har en kraftig uppgång under den första regnperioden 1990. Trots den relativt begränsade marktäckningen (generellt under 2%), får man en märkbar respons när nederbörden kommer och regionen grönskar, speciellt med annueller som *Aristida* och *Tetrapogon*. Under år med låg nederbörd, som 1984, kan dessa områden karaktäriseras som öken. Ett problem när man arbetar inom områden med låg marktäckning är att det till största delen är underlaget satelliten registrerar. Olika undersökningar har också visat att underlagets bidrag till den totala reflektansen är en begränsande faktor för känsligheten hos NDVI, vilket ger ett tröskelvärde under vilket indexet förlorar i trovärdighet (Kennedy 1989).

*Forest/Evergreen* uppvisar en intressant vegetationsutveckling med en mindre topp i september följt av en nedgång i oktober innan en ny höjning av NDVI i november när de korta regnen inträffar. Trenden är genomgående för alla träningsytorna inom denna klass. Klassens underlag (28 pixlar) är dock relativt litet i förhållande till de övriga klasserna. Denna klassen har också överlagset den största standardavvikelsen och den stora spridningen gör också de enskilda observationerna mer osäkra.

Separabilitetsanalysen visar att den största skillnaden i NDVI mellan de undersökta klasserna generellt återfinns under regnperioderna. Detta har troligen sin förklaring i att det är då områden med potential för en god växtlighet, avviker från områden i

sämre kondition. Under 1984 är det främst under den första halvan av året som de flesta klasserna uppvisar den bästa separabiliteten medan man under 1990 finner att flera av klasserna har sin bästa separabilitet under den senare halvan och därmed den andra regnperioden. En förklaring är att 1984 var ett ovanligt torrt år och den andra regnperioden på många platser uteblev.

Det var fler klasser som ej gick att särskilja 1990 än torråret 1984 och generellt sett har man också en sämre separabilitet mellan klasserna under det mer normalblöta året 1990. Detta kan ha sin förklaring i att hela området hade en större mängd biomassa under 1990 och klasserna blev svårare att separera. Det vill säga att även klasserna med sparsam vegetation hade en relativt hög marktäckning. Under 1984 bör främst vedväxterna med djupgående rötter klarat torkan.

Intressant skulle vara att jämföra sambandet mellan NDVI och biomassa, för att försöka kartlägga variationerna inom året såväl som från år till år. Sådan information skulle kunna ligga till grund för att förutsäga bärigheten hos denna typ av naturlig vegetation.

## 4.2 NDVI och nederbörd

De olika diagrammen i figur 9 visar ett antal meteorologiska nederbördsstationer med stora olikheter vad beträffar nederbördsmängd. I diagram A (figur 9) ser man hur relativt små nederbördsmängder (21 mm) ger en ökning av NDVI, vilket indikerar hur mottaglig denna typ av vegetation (*Grassland-annual* och *Bushland/ Shrubland*) är för nederbörd.

I områden med ständigt grön vegetation och med ett stort inslag av skog ger nederbörden ingen tydlig respons på vegetationen, utan NDVI ligger relativt högt genomgående, även ett torrår som 1984 (figur 9, diagram C och D). Riktigt sparsam vegetation ger heller inget direkt utslag och saknas det vegetation nästan helt och hållet, så är det underlaget som i första hand registreras (figur 9, diagram B).

Generellt sett över större ytor har nederbörden störst betydelse för NDVI-medelvärdet, än på den inbördes relationen mellan olika fysionomiska klasser. Det ur nederbördssynpunkt mer normala året 1990 hade de fysionomiska klasserna i studien överlag samma inbördes förhållande som torråret 1984. Undantaget var *Bushland/ Shrubland* som altemnerade med *Grassland-perennial* under 1990, till skillnad från 1984. Hela området hade en större mängd grön biomassa 1990, vilket gjorde att även klasser utan vedväxter och växter med djupgående rötter klarade sig bra.

Studerar man sambandet mellan NDVI och nederbörden ser man hur starkt förhållandet är för vissa typer av vegetation. I områden där tillgången på vatten är en starkt begränsande faktor för växtligheten, är växtperioderna och de fenologiska händelserna starkt kopplade till nederbördstillfällena. Svagast är sambandet hos extremerna, det vill säga *Barrenland* och *Forest*. Finns det ingen nämnvärd vegetation är det ju också naturligt att NDVI inte påverkas av nederbörden, och i fallet *Forest* gör den stora andelen vedväxter att klassen har en buffert som gör att vegetationen klarar även långa torrperioder med bibehållen grönska. Inom områden med semiarid vegetation, med stora variationer under året såväl som från år till år vad beträffar mängden samt lokaliseringen av nederbörden, ger multitemporal NDVI-data

en mer aktuell och korrekt bild av växtlighetens kondition än vad som kan utläsas från generella vegetationskartor och genomsnittlig klimatdata. Studien har visat på nödvändigheten av aktuell nederbördsdata vid studier av vegetation inom områden där just nederbörden är den huvudsakliga begränsande faktorn.

Området är relativt homogent i avseende på vegetation och därför kan man anta att stora delar av variationen på NDVI kan relateras till nederbördsfördelningen i tid och rum, samt mängden nederbörd. Om man antar att de dominerande perioderna med grönska och tillväxt (fotosyntesisk aktivitet) är associerade till nederbörden, borde NDVI-data vara ett medel för att bestämma de olika vegetationstypernas behov av nederbörd, samt längden på växtsäsongen (Justice *et al.* 1986b).

### 4.3 Fourieranalys

Ett problem när man bildar tidsserier baserade på NDVI-värden för en viss vegetationstyp, där underlaget är träningsytor med relativt stor geografisk spridning, är att den resulterande tidsserien blir en kompromiss som inte stämmer väl överens med någon av de ingående träningsytorna. Det vill säga att en klass som exempelvis *Bushland/ Shrubland* kan uppföra sig väsentligt annorlunda från plats till plats, beroende på den geografiska positionen och det på platsen rådande nederbördsmonstret. Att bilda en gemensam tidskurva för en sådan klass kan ge ett resultat som ej är användbart för vidare studier. Ett sätt att bilda sig en uppfattning över säsongsdynamiken är att utföra en Fourieranalys.

Eklundh (1996) har visat på att de östra delarna av studieområdet är relativt starkt bimodala, medan området öster om Turkanasjön är mer tvetydigt, på gränsen till unimodalt vissa år. Resultatet av den utförda Fourieranalysen visar att studieområdet till stor del är tvetydigt, men att det finns en klar tendens mot en bimodal fördelning i de östra delarna. Att områden som har ett positivt säsongsexcess 1984 får ett relativt starkt negativt värde 1990 kan bero på att 1984 var ett torrår, och att en av regnsäsongerna uteblivit.

Studien visar på svårigheten med att sammanföra vegetationstyper från olika regioner vars säsongsfördelning varierar, och därefter jämföra hela tidsserier mot varandra. Kortare utdrag från tidsserier bör dock kunna jämföras ifall man väljer perioder när vegetationen uppvisar liknande dynamik.

### 4.4 Felkällor

Redan då man börjar studien och utgår från befintliga kartor inför man, som alltid då man arbetar med kartor som är en förenkling av verkligheten, olika fel. Ett flertal möjliga felkällor kan diskuteras utifrån kunskapen om hur karteringen gick till. Svårtillgängliga områden besöktes inte i fält utan karterades baserat på kunskap om liknande områden samt satellitbilder. Att kartor som en gång tagits fram med hjälp av satellitbildstolkning skall ligga till grund för ytterligare tolkning med denna metod kan diskuteras. De olika distriktens vegetation var även kartlagd av skilda personer och legendernas uppdelning var inte helt synkroniserad, vilket naturligtvis försvårade sammanslagningen av klasser mellan kartbladen.

Kartorna var i ett nationellt koordinatsystem som ledde till att träningsytorna efter digitalisering var tvungna att omprojiceras/konverteras till latitud-longitud. Trots att området ligger precis norr om ekvatorn uppstår dock ett visst fel i denna procedur. Felet antogs dock som acceptabelt med tanke på den låga upplösningen.

Programvaran (IDA) är utformad så att alla pixlar ingår, även de som enbart snuddar vid träningsytan, medan PCI bara tar med de pixlar som till största delen ingår i en polygon. Detta kan naturligtvis åtgärdas med en tillräckligt stor buffertzoon runt polygonerna, men vissa klasser som ansågs värdefulla för studien (främst *Forest*) hade en begränsad utbredning, vilket försvårade detta förfarande.

Då 10-dagarsbilderna skapas extraheras det högsta NDVI-värdet under perioden och detta värde får representera hela perioden. Faktorer som kan påverka NDVI är skuggor, atmosfäriska förhållanden, markytans heterogenitet, etc. Detta ger en viss risk för ett överskattat NDVI-värde.

Som alltid då man försöker överföra tematiskt bildade klasser, i detta fall fysionomiska vegetationsklasser, till klasser med liknande radiometrisk respons i satellitdatan erhåller man en viss motsägelse. Satellitdatan är komplex och beroende av betydligt fler faktorer än just det man är intresserad av att undersöka.

En viktig faktor som ej behandlats inom ramen för detta arbete är till vilken grad NDVI påverkas av underliggande material, som jordar och geologi. Speciellt viktig bör dessa faktorer vara i en sparsamt bevuxen miljö. I en arid miljö med enbart sparsam vegetation är det just jordar och geologi som till stor del bestämmer responsen (Asrar *et al.* 1989).



## 5. SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER

NDVI AVHRR kan vara ett redskap för att kartlägga fenologin hos vegetationen, och i viss mån även identifiera olika vegetationstyper, i semiarida områden. Vissa större, och i NDVI-respons väl åtskilda, vegetationsklasser kan urskiljas med lågupplösande NOAA AVHRR-data. Dock är det viktigt att understryka att det är det för stunden (då satellitscenen registreras) rådande tillståndet inom området som är avgörande för NDVI-värdet. Stor tyngdpunkt bör därför läggas på information och kunskap om de begränsande yttre faktorer som råder inom varje enskilt område. I en semiarid miljö som det aktuella studieområdet är det främst nederbörden som är den begränsande faktorn för vegetationen. Satellitdata, nederbördsdata samt god områdeskänedom kan tillsammans ge goda förutsättningar för uppföljning av vegetationens kondition.

Alla de inom studien ingående klasserna gick att åtskilja. Dock var spridningen inom varje vegetationsklass stor, vilket gör det svårt att använda datan till att bestämma vegetationstypen för enskilda pixlar. Klasserna *Forest/ Evergreen* och *Barrenland* särskilde sig väl de flesta av årets månader 1984 såväl som 1990. De två klasserna *Grassland-perennial* och *Grassland-annual* är svåra att särskilja då överlappningen mellan klasserna är stor. Fältkänedomerna var ej tillräckligt god vad det gäller de årliga grässlagens marktäckning och andel av den totala marktäckningen.

Generellt sett är det lättare att separera fysionomiska vegetationsklasser under ett torrår som 1984, då fysionomiska skillnader, som exempelvis hur stor andel vedväxter med djupgående rötter det finns inom ett område, gör sig gällande. *Bushland/ Shrubland* hade exempelvis en bättre separabilitet gentemot de båda *Grassland* klasserna under 1984. Under 1984 är de olika vegetationstyperna generellt sett bäst separerade under den första regnperioden medan det under 1990 är en bättre separation mellan ett flertal av klasserna under den andra regnperioden. En förklaring är att det på många ställen under torråret 1984 aldrig var en klart uttalad andra regnperiod.

Nederbördens betydelse för vegetationens NDVI-värde måste alltid vägas in, men har en större betydelse för NDVI-medelvärdet, än på den inbördes relationen mellan olika fysionomiska klasser. Den inbördes relationen mellan de fysionomiska klasserna var i stort sett samma 1984 och 1990. Studien visar att erhållen information från NDVI förser oss med ett medel att undersöka sambanden mellan vegetationens status under växtsäsongen och kontrollerande faktorer som nederbörd.

Att ta fram en generell NDVI-kurva för vegetation i områden som i hög grad styrs av nederbörden (mängden såväl som tidpunkten) kan ej göras med någon större noggrannhet, eftersom kurvan i olika områden är specifik för den gällande nederbördssituationen.

Fenologiska händelser är mycket svåra att förutse i områden som först och främst styrs av begränsad nederbörd. Det är svårt att förutsäga hur NDVI-kurvan varierar för en viss vegetationstyp i denna typ av område kommer att utvecklas. Särskilt problematiskt är det för de typer som är speciellt beroende av mängden och tidpunkten för nederbörden, som *Grassland* och *Barrenland*.

Ett problem med att försöka ta fram en tidskurva, gällande för en viss typ av vegetation på regional nivå, beror bland annat på att ungefär samma typ av vegetation kan ha väldigt skilt uppträdande i rummet. Med Fourieranalys kan man bland annat visa ifall ett område domineras av en eller två regnsäsonger. När man försöker klassa vegetation över större regioner är problemet att även antalet regnsäsonger kan skilja och på så sätt försvåra. Det gäller därför att separera de intervall som är representativa för den speciella vegetationstypen. Alternativet är att göra en finare uppdelning av vegetationen med hänsyn på säsongfluktuationer som antalet regnperioder, dock krävs i detta fall en finare upplösning av satellitdatan.

Studien visar att metoden med att använda multitemporal NDVI-data kan ge en större kännedom om vegetationens fenologi samt om olika vegetationstypers relativa förhållande gentemot varandra, vilket är värdefullt vid kartläggning och uppföljning av vegetationen i semiarida miljöer. GIMMS NDVI-data är dock för grov på lokal och regional nivå, förutom för att skaffa sig en översiktlig och preliminär uppskattning av vegetationens kondition. Den grova upplösningen gör att varje pixel representerar en komplex sammansättning av olika typer av vegetation. Dock kan denna typ av information vara ett komplement till data från mer högupplösande satellitsystem.

## **TACK**

Ett varmt tack till min handledare Dr. Lars Eklundh, som ställt upp med handledning och goda råd.

## REFERENSER

- Asrar, G., Myneni, R. B., & Kanemasu, E. T., 1989, Estimation of plant-canopy attributes from spectral reflectance measurements. Från *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*, redigerad av G. Asrar (New York: John Wiley), s. 252-296.
- Benedetti, R., Rossini, P., & Taddei, R., 1994, Vegetation classification in the Middle Mediterranean area by satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 583-596.
- Colwell, J. E., 1974, Vegetation canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 3, 175-183.
- Eastman, J. R., 1993, *IDRISI Version 4.1, Update Manual*, Clark University, Graduate School of Geography (Worcester: Clark University), 212 s.
- Eklundh, L., 1996, *AVHRR NDVI for monitoring and mapping of vegetation and drought in East African environments*. Meddelanden från Lunds Universitets Geografiska Institutioner, Avhandlingar 126 (Lund: University of Lund), 187 s.
- Eklundh, L., & Pilesjö, P., 1987, Automatisk skadeklassning av lövträd i stadsbebyggelse med hjälp av digitaliserade IR-färgflygbilder. *Svensk geografisk årsbok*, 63, 228-242.
- ESRI, 1996, *PC Arc/Info Version 3.5 Starter kit User's Guide*. (Redlands: Environmental Systems Research Institute Inc.).
- Justice, C. O., & Hiernaux, P. H. Y., 1986a, Monitoring the grasslands of the Sahel using NOAA AVHRR data: Niger 1983. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 1475-1497.
- Justice, C. O., Holben, B. N., & Gwynne, M. D., 1986b, Monitoring East African vegetation using AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 1453-1474.
- Justice, C. O., Townshend, J. R. G., Holben, B. N., & Tucker, C. J., 1985, Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 1271-1318.
- Kennedy, P. J., 1989, Monitoring the phenology of Tunisian grazing lands. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 835-845.
- Lieth, H., 1974, *Phenology and seasonality modeling* (New York: Springer-Verlag), 444 s.
- Lind, E. M., & Morrison, M. E. S., 1974, *East African Vegetation* (London: Longman), 257 s.

- Lloyd, D., 1989, A phenological description of Iberian vegetation using short wave vegetation index imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 827-833.
- Los, S. O., Justice, C. O., & Tucker, C. J., 1994, A Global 1° by 1° NDVI data set for climate studies derived from the GIMMS continental NDVI data. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 3493-3518.
- Lundgren, B., 1975, Land use in Kenya and Tanzania. Royal College of Forestry, Stockholm, 354 s.
- Malingreau, J. -P., 1986, Global vegetation dynamics: satellite observations over Asia. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 1121-1146.
- Montgomery, D. C., 1991, *Design and analysis of experiments*. (Singapore: John Wiley & Sons), 649 s.
- Nieuwolt, S., 1977, *Tropical Climatology*. (Chichester: John Wiley & Sons), 207 s.
- Ojany, F. F., & Ogendo, R. B., 1988, *Kenya: A Study in Physical and Human Geography* (Nairobi: Longman Kenya Ltd.), 225 s.
- Olsson, L., & Eklundh, L., 1994, Fourier Series for analysis of temporal sequences of satellite sensor imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 3735-3741.
- PCI, 1994, *Using PCI Software. Version 5.3 EASI/PACE* (Richmond Hill: Pci Inc.), 478 s.
- Pfirman, E., 1991, *Image Display and Analysis Version 4.0 User's Guide*, USAID FEWS project, Tulane Pragma Group, Arlington.
- Pratt, D. J., & Gwynne, M. D., 1977, *Rangeland management and ecology in East Africa* (London: Hodder and Stoughton), 310 s.
- Range Management Handbook of Kenya, Volume II, 1, 1991, Marsabit District, Ministry of Livestock Development (MOLD).
- Range Management Handbook of Kenya, Volume II, 2, 1992a, Samburu District, Ministry of Livestock Development (MOLD).
- Range Management Handbook of Kenya, Volume II, 3, 1992b, Wajir District, Ministry of Livestock Development (MOLD).
- Range management Handbook of Kenya, Volume III, 5, 1993, USERS GUIDE FOR THE RANGE MANAGEMENT HANDBOOK OF KENYA, Ministry of Agriculture, Livestock Development and Marketing.

- Reed, B. C., Brown, J. F., VanderZee, D., Loveland, T. R., Merchant, J. W. & Ohlen, D. O., 1994, Measuring phenological variability from satellite imagery. *Journal of Vegetation Science*, 5, 703-714.
- Sellers, P. J., 1989, Vegetation canopy spectral reflectance and biophysical processes. Från *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*, edited av G. Asrar (New York: John Wiley), s. 297-335.
- Tucker, C. J., 1979, Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8, 127-150.
- Tucker, C. J., Townshend, J. R. G., & Goff, T. E., 1985, African Land-Cover Classification using Satellite Data. *Science*, 227, 369-375.
- Tucker, C. J., Holben, B. N., Elgin, J. H., & McMurtrey, J. E., 1981, Remote sensing of total dry matter in winter wheat. *Remote Sensing of Environment*, 11, 171-189.
- White, F., 1983, *The vegetation of Africa. A descriptive memoir to accompany the UNESCO/AETFAT/UNSO vegetation map of Africa* (Paris: UNESCO), 356 s.

## Bilaga 1

Nr.	KMD <sup>1</sup> kod	Stationsnamn	Distrikt	Latitud (°)	Longitud (°)	Höjd (m.ö.h)
1	8536000	SABAREI POLICE POST	806	4.35000	36.90000	820
2	8536001	ILERET POLICE POST	806	4.31667	36.23333	459
3	8637000	NORTH HARR POLICE POST	806	3.31667	37.06667	-
4	8639000	MOYALE MET. STATION	806	3.53333	39.05000	1197
5	8739000	BUNA POLICE POST	701	2.80000	39.01667	656
6	8737000	MARSABIT MET STATION	806	2.31667	37.98333	1447
7	8837004	LAIANUS POLICE POST	806	1.60000	37.80000	625
8	8736000	SOUTH HARR CATHOLIC MISSION	202	2.10000	36.90000	1181
9	8836001	BARAGOI EL BARTA D.O'S OFFICE	202	1.78333	36.80000	1476
10	8836003	MARALAL POROR FOREST POST	202	1.23333	36.60000	2591
11	8836000	MARALAL DISTRICT COMMISSIONER	202	1.10000	36.70000	2099
12	8937018	MARALAL, WAMBA D.O'S OFFICE	202	0.98333	37.33333	1968
13	8937035	ARCHERS'POST, ISIOLO	805	0.61667	37.66667	930
14	8936019	KABARNET, TENGULBEI	203	0.80000	36.28333	1378
15	8639001	GURAR POLICE POST	806	3.36667	39.58333	984
16	8840000	WAJIR MET STATION	401	1.75000	40.06667	262
17	8839000	HABBASWEIN POLICE POST	805	1.01667	39.46667	213
18	8940003	LIBOI POLICE POST	805	0.36667	40.86666	98
19	8641001	MANDERA RHAMU POLICE POST	402	3.93333	41.23333	321

<sup>1</sup> Kenya Meteorological Department

Månadsmedelvärden (DN-värde) samt gränsvärden (G) för 1984		jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
<b>Klass</b>													
1. Forest/ Evergreen n=28	medel std	169.60 27.4	161.90 26.4	152.3 22.3	137.80 18.3	163.5 25.7	148.2 22.5	125.8 16	131.9 15.9	144.5 19.3	138.3 13.9	154.4 21.6	170.3 22.9
2. Bushland/ Shrubland n=417	medel std	114.2 5.6	114.50 4.7	110.8 4.4	117.5 9.8	140.5 18.1	116.1 9.6	102.2 5.6	99.62 5.2	106 3.9	108.2 5.6	139 15.8	143.4 16.5
3. Grassland-perennial n=92	medel std	110.5 12	108.9 8.9	105.6 7.9	105.2 10.1	115.3 15.2	106.4 9.4	98.26 7.2	99.15 8.4	104.3 7.4	102.5 8.7	123.2 18.8	143.6 21.7
4. Grassland-annual n=224	medel std	104.5 10.9	103.7 8.4	100.8 6.9	101.1 11.2	107.6 18.1	99.72 8.1	94.73 6.6	94.99 5.7	99.3 6.7	97.14 8.1	115.5 24.7	128.1 23.8
5. Barrenland n=94	medel std	91.81 7.6	94.12 6.8	90.86 6.4	92.51 8.2	94.49 7.7	90.65 6.6	86.23 5.8	87.85 6	92.04 6	88.45 6.3	93.87 12.2	119.7 23.6
	Medel=medelvärdet std=standardavvikelsen												
<b>Klasskombinationer</b>	(Största gränsvärdet markerat med fetstil)												
1-3	G	1.5	1.5014	1.5464	1.1479	1.1785	1.3103	1.1871	1.3477	1.5056	1.5841	0.7723	0.5987
2-3	G	0.2102	0.4118	0.4228	0.6181	<b>0.7568</b>	0.5105	0.3078	0.0346	0.1504	0.3986	0.4566	0.0052
1-2	G	<b>1.6788</b>	1.5241	1.5543	0.7224	0.5251	1	1.0926	1.5299	1.6595	1.5436	0.4118	0.6827
1-4	G	1.6997	1.6724	1.7637	1.2441	1.2763	1.5843	1.3748	1.7088	1.7385	<b>1.8709</b>	0.8402	0.9036
2-4	G	0.5879	0.8244	0.885	0.781	0.9088	<b>0.9254</b>	0.6123	0.4248	0.6321	0.8073	0.5802	0.3797
3-4	G	0.262	0.3006	0.3243	0.1925	0.2312	<b>0.3817</b>	0.2558	0.295	0.3546	0.319	0.177	0.3407
1-5	G	2.2226	2.0416	2.1408	1.7091	2.0662	1.9777	1.8151	2.0114	2.0735	<b>2.4678</b>	1.7908	1.0882
2-5	G	1.6962	1.7722	1.8463	1.3883	<b>1.7833</b>	1.571	1.4009	1.0509	1.4101	1.6597	1.6118	0.591
3-5	G	0.9536	0.9414	<b>1.0308</b>	0.6934	0.9087	0.9844	0.9254	0.7847	0.9149	0.9367	0.9461	0.5276
4-5	G	0.6859	0.6303	<b>0.7474</b>	0.4428	0.5081	0.617	0.6855	0.6103	0.5717	0.6035	0.5862	0.1772

Månadsmedelvärden (DN-värde) samt gränsvärden (G) för 1990		jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
<b>Klass</b>													
1. Forest/ Evergreen	medel	201.5	174.7	176.8	195.4	197.2	180.4	166.8	151	181.9	157.8	175.8	185.5
n=28	std	32.3	33.2	27	30.6	32.8	34.8	33.4	43.5	36.1	22.4	29.6	35
2. Bushland/ Shrubland	medel	125.5	113	131.9	164.1	146.7	118.5	105	103.9	108.4	126.8	150.4	144.9
n=417	std	13.6	8.7	21	20.8	17.7	11.7	8.1	5.4	5.1	11.7	23	14.1
3. Grassland-perennial	medel	132.9	113.7	123.4	155.5	139	118.1	111.9	106.2	109.8	116.3	136.6	150
n=92	std	18.6	14.8	17.1	19	20.6	12.9	11.8	10	12.1	8.6	23.7	23
4. Grassland-annual	medel	113.3	102.6	120.3	150.1	133.3	109.5	104.3	100.5	102.4	108.9	116.4	130.6
n=224	std	17.4	12.7	19.4	21.5	23.1	11.7	8.4	7.7	6.5	11.7	21.6	25.8
5. Barrenland	medel	98.16	87.3	113.8	117.3	93.89	88.94	90.45	86.35	91.06	90.88	93.25	95.52
n=94	std	10	7	17.8	15.1	9.2	7.4	7.3	6.8	6.8	7.3	8.7	12.2
	Medel=medelvärdet			std=standardavvikelsen									
<b>Klasskombinationer</b>	(Största gränsvärde markerat med fetstil)												
1-3	G	1.3477	1.2708	1.2109	0.8044	1.0899	1.3061	1.2146	0.8374	<b>1.4959</b>	1.3387	0.7355	0.6121
2-3	G	0.2298	0.0298	0.2231	0.2161	0.201	0.0163	0.3467	0.1494	0.0814	<b>0.5172</b>	0.2955	0.1375
1-2	G	1.6558	1.4726	0.9354	0.6089	1	1.3312	1.4892	0.9632	<b>1.784</b>	0.9091	0.4829	0.8269
1-4	G	1.7746	1.5708	1.2177	0.8695	1.1431	1.5247	1.4952	0.9863	<b>1.8662</b>	1.434	1.1602	0.903
2-4	G	0.3935	0.486	0.2871	0.331	0.3284	0.3846	0.0424	0.2595	0.5172	<b>0.765</b>	0.7623	0.3584
3-4	G	<b>0.5444</b>	0.4036	0.0849	0.1333	0.1304	0.3496	0.3762	0.322	0.3978	0.3645	0.4459	0.3975
1-5	G	2.443	2.1741	1.4063	1.709	<b>2.4598</b>	2.1673	1.8759	1.2853	2.1175	2.2532	2.1554	1.9064
2-5	G	1.1585	1.6369	0.4665	1.3036	<b>1.9632</b>	1.5476	0.9448	1.4385	1.4571	1.8905	1.8028	1.8776
3-5	G	1.2147	1.211	0.2751	1.1202	1.5138	1.4365	1.123	1.1815	0.9915	<b>1.5987</b>	1.338	1.5477
4-5	G	0.5526	0.7766	0.1747	0.8962	<b>1.2201</b>	1.0764	0.8822	0.9759	0.8526	0.9484	0.764	0.9232



Lunds Universitets Naturgeografiska institution. Seminarieuppsatser. Uppsatserna finns tillgängliga på Naturgeografiska institutionens bibliotek, Sölvegatan 13, 223 62 LUND.

The reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography, University of Lund, Sölvegatan 13, S-223 62 Lund, Sweden.

1. Pilesjö, P. (1985): Metoder för morfometrisk analys av kustområden.
2. Ahlström, K. & Bergman, A. (1986): Kartering av erosionskänsliga områden i Ringsjöbygden.
3. Huseid, A. (1986): Stormfällning och dess orsakssamband, Söderåsen, Skåne.
4. Sandstedt, P. & Wällstedt, B. (1986): Krankesjön under ytan - en naturgeografisk beskrivning.
5. Johansson, K. (1986): En lokalklimatisk temperaturstudie på Kungsmarken, öster om Lund.
6. Estgren, C. (1987): Isälvsstråket Djurfälla-Flädermo, norr om Motala.
7. Lindgren, E. & Runnström, M. (1987): En objektiv metod för att bestämma läplanteringsläverkan.
8. Hansson, R. (1987): Studie av frekvensstyrd filtringsmetod för att segmentera satellitbilder, med försök på Landsat TM-data över ett skogsområde i S. Norrland.
9. Matthiesen, N. & Snäll, M. (1988): Temperatur och himmelsexponering i gator: Resultat av mätningar i Malmö.
- 10A. Nilsson, S. (1988): Veberöd. En beskrivning av samhällets och bygdens utbyggnad och utveckling från början av 1800-talet till vår tid.
- 10B. Nilsson, G., 1988: Isförhållande i södra Öresund.
11. Tunving, E. (1989): Översvämning i Murcia-provinsen, sydöstra Spanien, november 1987.
12. Glave, S. (1989): Termiska studier i Malmö med värmebilder och konventionell mätutrustning.
13. Mjölbo, Y. (1989): Landskapsförändringen - hur skall den övervakas?
14. Finnander, M-L. (1989): Vädrets betydelse för snöavsmältningen i Tarfaladalen.
15. Ardö, J. (1989): Samband mellan Landsat TM-data och skogliga beståndsdata på avdelningsnivå.
16. Mikaelsson, E. (1989): Byskeälvens dalgång inom Västerbottens län. Geomorfologisk karta, beskrivning och naturvärdesbedömning.
17. Nhilen, C. (1990): Bilavgaser i gatumiljö och deras beroende av vädret. Litteraturstudier och mätning med DOAS vid motortrafikled i Umeå.
18. Brasjö, C. (1990): Geometrisk korrektion av NOAA AVHRR-data.
19. Erlandsson, R. (1991): Vägbanetemperaturer i Lund.
20. Arheimer, B. (1991): Näringsläckage från åkermark inom Braans dräneringsområde. Lokalisering och åtgärdsförslag.
21. Andersson, G. (1991): En studie av transversal moräner i västra Småland.
- 22A. Skillius, Å., (1991): Water harvesting in Bakul, Senegal.
- 22B. Persson, P. (1991): Satellitdata för övervakning av höstsådda rapsfält i Skåne.
23. Michelson, D. (1991): Land Use Mapping of the That Luang - Salakham Wetland, Lao PDR, Using Landsat TM-Data.
24. Malmberg, U. (1991): En jämförelse mellan SPOT- och Landsatdata för vegetationsklassning i Småland.
25. Mossberg, M. & Pettersson, G. (1991): A Study of Infiltration Capacity in a Semiarid Environment. Mberengwa District, Zimbabwe.
26. Theander, T. (1992): Avfallsupplag i Malmöhus län. Dränering och miljöpåverkan.
27. Osaengius, S. (1992): Stranderosion vid Löderups strandbad.
28. Olsson, K. (1992): Sea Ice Dynamics in Time and Space. Based on upward looking sonar, satellite images and a time series of digital ice charts.
29. Larsson, K. (1993): Gully Erosion from Road Drainage in the Kenyan Highlands. A Study of Aerial Photo Interpreted Factors.
30. Richardson, C. (1993): Nischbildningsprocesser - en fältstudie vid Passglaciären, Kebnekaise.
31. Martinsson, L. (1994): Detection of Forest Change in Sumava Mountains, Czech

- Republic Using Remotely Sensed Data.
32. Klintenberg, P. (1995): The Vegetation Distribution in the Kärkevage Valley.
  33. Hese, S. (1995): Forest Damage Assessment in the Black Triangle area using Landsat TM, MSS and Forest Inventory data.
  34. Josefsson, T. och Mårtensson, I. (1995). A vegetation map and a Digital Elevation Model over the Kapp Linné area, Svalbard -with analyses of the vertical and horizontal distribution of the vegetation
  35. Brogaard, S och Falkenström, H. (1995). Assessing salinization, sand encroachment and expanding urban areas in the Nile Valley using Landsat MSS data.
  36. Krantz, M. (1996): GIS som hjälpmedel vid växtskyddsrådgivning.
  37. Lindegård, P. (1996). VINTERKLIMAT OCH VÅRBAKSLAG. Lufttemperatur och kådflödessjuka hos gran i södra Sverige.
  38. Bremborg, P. (1996). Desertification mapping of Horqin Sandy Land, Inner Mongolia, by means of remote sensing.
  39. Hellberg, J. (1996). Förändringsstudie av jordbrukslandskapet på Söderslätt 1938-1985.
  40. Achberger, C. (1996): Quality and representability of mobile measurements for local climatological research.
  41. Olsson, M. (1996): Extrema lufttryck i Europa och Skandinavien 1881-1995
  42. Sundberg, D. (1997): En GIS-tillämpad studie av vattenerosion i sydsvensk jordbruksmark.
  43. Liljeberg, M. (1997): Klassning och statistisk separabilitetsanalys av marktäckningsklasser i Halland, analys av multivariata data Landsat TM och ERS-1 SAR.
  44. Roos, E. (1997): Temperature Variations and Landscape Heterogeneity in two Swedish Agricultural Areas. An application of mobile measurements.
  45. Arvidsson, P. (1997): Regional fördelning av skogsskador i förhållande till mängd SO<sub>2</sub> under vegetationsperioden i norra Tjeckien.
  46. Akselsson, C. (1997): Kritisk belastning av aciditet för skogsmark i norra Tjeckien.
  47. Carlsson, G. (1997): Turbulens och supraglacial meandring.
  48. Jönsson, C. (1998): Multitemporala vegetationsstudier i nordöstra Kenya med AVHRR NDVI
  49. Kolmert, S. (1998): Evaluation of a conceptual semi-distributed hydrological model – A case study of Hörbyån.