

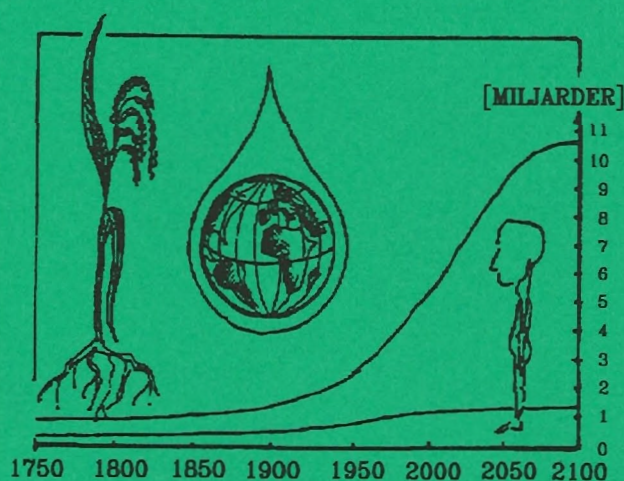


**SVERIGES  
LANTBRUKSUNIVERSITET**

## **FRAMTIDENS LIVSMEDELSFÖRSÖRJNING I VÄRLDENS TORRA REGIONER:**

**Begränsas den av tillgången på vatten?**

**Johan Rockström**



**Examensarbete**

**Handledare: Per-Erik Jansson  
Malin Falkenmark**

---

**Institutionen för markvetenskap  
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik**

**Swedish University of Agricultural Sciences  
Department of Soil Sciences  
Division of Agricultural Hydrotechnics**

**Avdelningsmeddelande 92:1  
Communications**

**Uppsala 1992**

ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM-92/1-SE

---

Denna serie meddelanden utges av Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Serien innehåller sådana forsknings- och försöksredogörelser samt andra uppsatser som bedöms vara av första hand internt intresse. Uppsatser lämpade för en mer allmän spridning publiceras bl a i avdelningens rapportserie. Tidigare nummer i meddelandeserien kan i mån av tillgång levereras från avdelningen.

This series of Communications is produced by the Division of Agricultural Hydrotechnics, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. The series consists of reports on research and field trials and of other articles considered to be of interest mainly within the department. Articles of more general interest are published in, for example, the department's Report series. Earlier issues in the Communications series can be obtained from the Division of Agricultural Hydrotechnics (subject to availability).

---

Distribution:

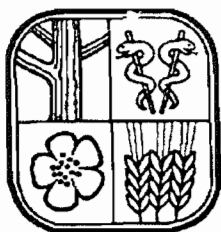
Sveriges Lantbruksuniversitet  
Institutionen för markvetenskap  
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik  
Box 7014  
750 07 UPPSALA

Swedish University of Agricultural Sciences  
Department of Soil Sciences  
Division of Agricultural Hydrotechnics  
P.O. Box 7014  
S-750 07 UPPSALA, SWEDEN

Tel. 018-67 11 69, 67 11 81

Tel. +46-(18) 67 11 69, +46-(18) 67 11 81

---

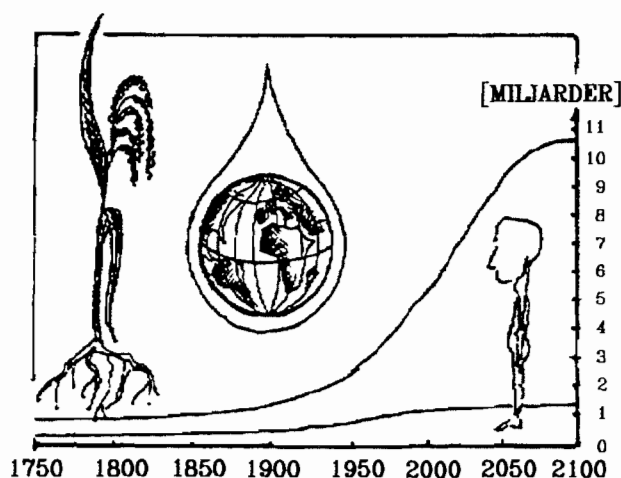


**SVERIGES  
LANTBRUKSUNIVERSITET**

## **FRAMTIDENS LIVSMEDELSFÖRSÖRJNING I VÄRLDENS TORRA REGIONER:**

**Begränsas den av tillgången på vatten?**

**Johan Rockström**



**Examensarbete**

**Handledare: Per-Erik Jansson  
Malin Falkenmark**

---

**Institutionen för markvetenskap  
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik**

**Swedish University of Agricultural Sciences  
Department of Soil Sciences  
Division of Agricultural Hydrotechnics**

**Avdelningsmeddelande 92:1  
Communications**

**Uppsala 1992**

ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM-92/1-SE

---



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

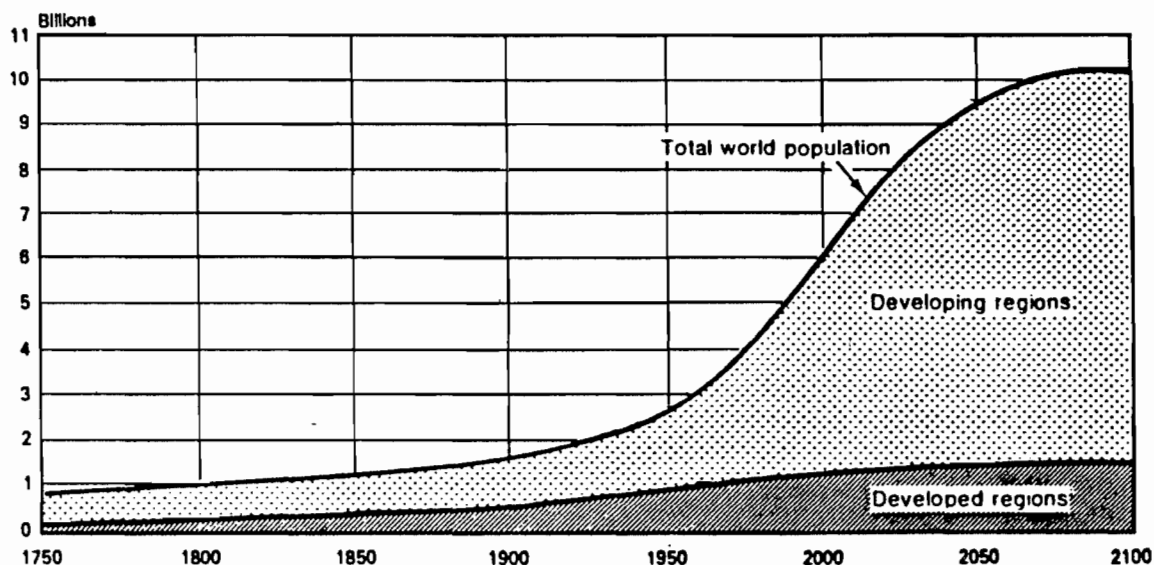
<b>1. INLEDNING</b> .....	5
<b>1.1. Hypotes</b> .....	8
<b>1.2. Avgränsning</b> .....	8
<b>1.3. Metod</b> .....	9
<b>2. FRAMTIDENS JORDBRUKSPRODUKTION</b> .....	11
<b>3. GENOMGÅNG AV LITTERATUR</b> .....	14
<b>3.1. Växtens vattenbehov</b> .....	14
<b>3.1.1. Vatten och avkastningen</b> .....	15
<b>3.1.2. Vattneffektivitet</b> .....	18
<b>3.1.3. Rotutveckling</b> .....	19
<b>3.1.4. Vatten under växtsäsongen</b> .....	20
<b>3.2. Regnets variation och flödesbanor</b> .....	27
<b>3.2.1. Regnets fördelning</b> .....	27
<b>3.2.2. Vattenbalans och vattenflöden</b> .....	29
<b>3.2.3. Brist på regn i relation till evaporation</b> .....	31
<b>3.2.4. Interannuella fluktuationer</b> .....	32
<b>3.2.5. Avrinningsområdet</b> .....	34
<b>3.2.6. Agrohydrologiska data</b> .....	35
<b>3.3. När vattnet roten?</b> .....	36
<b>3.3.1. Markvattenflöden</b> .....	37
<b>3.3.2. Jordmånsanpassad odling</b> .....	39
<b>3.3.3. Utarmnings processer</b> .....	43
3.3.3.1. Erosion.....	44
3.3.3.2. Ökenutbredning.....	45
<b>3.3.4. Orsak till utarmning</b> .....	45
<b>3.4. Hur skall avkastningen höjas?</b> .....	47
<b>3.4.1. Markeyteskötsel för ökad produktion</b> .....	48
3.4.1.1. Minimera inproduktiva förluster.....	48
3.4.1.2. Öka infiltrationen.....	51
<b>3.4.2. Dirigera vattnet till grödan</b> .....	52
3.4.2.1. Ytvattenodling.....	52
3.4.2.2. Avrinning och grundvatten för bevattning.....	53
<b>3.4.3. Växtföljder och odlingssystem</b> .....	55
<b>3.4.4. Förädling</b> .....	57
<b>3.4.5. Kombination av metoder. Hur mycket ökar avkastningen?</b> .....	58

<b>4. VATTENTILLGÅNGENS BETYDELSE: ANALYS OCH DISKUSSION .....</b>	<b>60</b>
<b>4.1. Hur mycket vatten behövs för att öka skördarna i         Afrika? .....</b>	<b>60</b>
<b>4.2. Hur mycket vatten behöver växten? .....</b>	<b>63</b>
<b>4.3. Hur stor är vattentillgången? .....</b>	<b>64</b>
<b>4.4. Synen på vattnets roll för att uppnå skördeökningar.....</b>	<b>65</b>
<b>4.5. Olika aktörer .....</b>	<b>69</b>
<b>4.6. Ökad areal och intensitet: räcker markvattnet? .....</b>	<b>70</b>
<b>4.7. Beror livsmedelsbristen på människan eller torkan? .....</b>	<b>71</b>
<b>4.8. Vattenkonkurrens .....</b>	<b>72</b>
<b>4.9. Småskalighetens möjligheter .....</b>	<b>73</b>
<b>4.10. Vatten- och markbevarande åtgärder         frigör vatten till ökade skördar .....</b>	<b>74</b>
<b>5. SLUTSATSER .....</b>	<b>76</b>
<b>6. SAMMANFATTNING .....</b>	<b>80</b>
<b>7. TACKORD .....</b>	<b>81</b>
<b>8. SUMMARY .....</b>	<b>83</b>
<b>9. REFERENSER .....</b>	<b>86</b>
<b>Bilaga I.      Metod för beräkning av vattentillgångens                   betydelse i Afrika .....</b>	<b>92</b>
<b>Tabeller med redovisning av resultat</b>	
<b>Bilaga II.     Utbredning av "torra" regioner i världen .....</b>	<b>97</b>
<b>Bilaga III.    Ordlista och definitioner.....</b>	<b>101</b>

## 1. INLEDNING

Stora delar av världen består idag av ekosystem i förändring, där människans hantering av landskapet äventyrar dess långsiktiga produktionskapacitet.

Mänskligheten står inför den oerhörda utmaningen att försörja en befolkning som ökar med 250 000 individer per dag, eller 90 miljoner människor per år. Beräkningar visar att världens folkmängd år 2000, alltså om endast 8 år, kommer att uppgå till 6,1 miljarder. Av denna ökning kommer 90 procent att ske i utvecklingsländer, vilket motsvarar 4,8 miljarder människor (FAO, 1988a; FAO 1990a). Enligt FN:s medelprognos kommer världens befolkning år 2020 att uppgå till 7,8 miljarder människor (Unesco, 1990). Enligt andra prognoser kommer dagens befolkning på 5,2 miljarder människor att fördubblas eller nå ända upp till 12 miljarder inom de närmaste 3 - 4 årtionden (Winpenny, 1991). Oavsett vilken tillväxttakt prognoserna utgår ifrån, står det klart att den snabba befolkningsökningen kommer att fortsätta långt in på 2000-talet (fig 1).



**Figur 1.** Världens befolkningsökning 1750 - 2100 i regioner som nu räknas som utvecklade (developed) och i regioner under utveckling (developing), enligt Population Reference Bureau (Merrick, 1986).

Av dagens världsbefolkning lever 80 procent i länder som är oförmögna att själva fylla sitt matbehov. 1990 bedömde FAO att den globala livsmedelsproduktionen skulle behöva öka med 40 procent fram till år 2000 för att upprätthålla 1990 års livsmedelskonsumtion (FAO 1990a).

Över tio procent av världens befolkning, eller ca 510 miljoner människor, bedömdes 1988 vara undernärda, med ett kaloriintag på mindre än 1520 kilokalorier per dygn. Detta anses vara gränsen för långsiktig överlevnad. FAO:s gräns för rimligt dagsintag är 2620 kilokalorier. För att världens undernärda människor skall kunna uppnå fundamentala förbättringar i

livskvalitet skulle livsmedelsproduktionen behöva öka avsevärt mer än 40 procent från 1990 till 2000 (FAO, 1988a; Unesco, 1990).

I utvecklingsländerna ökade jordbruksproduktionen med 3,1 procent per år mellan 1967 och 1982, vilket skall jämföras med 1,9 procent för industriländerna. Den globala medelavkastningen fördubblades mellan 1950 och 1985. En genomsnittlig befolkningsökning på 2,2 procent i utvecklingsländerna har dock "ätit" upp större delen av produktionsökningen. Samtidigt är variationerna stora mellan olika länder. Per capita produktionen i Afrika minskade under samma period med 0,9 procent per år. Här ökar befolkningen med i genomsnitt 3 procent per år i flera länder, på en kontinent som till hälften består av "torra" klimatzoner, med vatten som en svår bristfaktor i jordbruket (FAO, 1988a).

I takt med befolkningstillväxten ökar husdjurspopulationen. I Sudan där befolkningen blivit 6 ggr större under perioden 1957-77, har antalet nötkreatur ökat 21 ggr, kameler 16 ggr, får 12 ggr och getter 8 ggr. Husdjuren skall förutom vatten ha tillgång till betesmark, vilket har lett till en omfattande överbetning som bidragit till utarmningen av landskapet (Thanh & Biswas, 1990).

Den globala jordbruksproduktionen har således ökat dramatiskt under de senaste decennierna. Detta förklaras bland annat av ökad användning av insatsmedel. Under perioden 1950 - 1985 har världens bevattnade areal tredubblats från 94 till 271 miljoner ha. Hastigheten i denna expansion har dock minskat betydligt och tillväxttakten ligger idag under en procent per år. Användningen av mineralgödsel har niodubblats och energiinsatsen har sjudubblats under samma period (FAO, 1988a).

De globala skördeökningarna speglar inte situationen i regioner med regnbrist. Den genomsnittliga avkastningen i semi-arida och arida regioner är extremt låg jämfört med tempererade regioner. Trots den låga avkastningen skördas exempelvis 80 procent av den huvudsakliga stapelgrödan hirs (vid sidan om durra) i semi-arida och arida områden. Det regnförsörjda jordbruket i dessa torra odlingsområden kommer även i framtiden att bidra med större delen av spannmålsskörden för växande befolkningar (Parr et al, 1990). Redan idag bidrar Indiens regnförsörjda jordbruk med nära 42 procent av landets livsmedelsproduktion (Singh, 1985).

Den kraftiga befolkningsökningen är koncentrerad till ekosystem i världens utvecklingsländer som kännetecknas av stora vattenbegränsningar och svaga jordar. Det handlar om världens arida, semi-arida och torra subhumida regioner, och det är vattnets betydelse i försöken att öka skördarna i takt med den växande befolkningen i dessa områden som är ämnet för denna uppsats.

Mark är troligen vår viktigaste naturresurs, men den kommer inte att kunna erbjuda tillväxtmöjligheter åt grödor utan vatten, näring, och lämplig temperatur och luftmiljö (Cook & Ellis, 1987). Världens sammanlagda markareal uppgår till över 13 miljarder ha. Av dessa utgör den potentiella odlingsmarken enligt bedömningar omkring 3 miljarder ha. Ungefär 2,1 miljarder ha finns i utvecklingsländer och 0,9 miljarder ha i industriländer. Den odlade arealen uppgår till 1,5 miljarder ha, eller hälften



av den potentiella, som fördelas på 0,8 miljarder ha i utvecklingsländer och 0,7 miljarder ha i industriländer (Lal, 1990).

Bristen på regn som kan lagras som markvatten och nyttiggöras av växterna för produktion av biomassa till livsmedel, foder och bränsle är den viktigaste begränsningsfaktorn i det semi-arida och arida lantbruket. Bristen på regnvatten orsakas av fluktuerande regnmängder kopplat till en hög avdunstning. Visserligen regnar det 200 - 1000 mm per år i torra sub-humida, semi-arida och arida områden, men eftersom den potentiella evapotranspirationen under större delen av året överskrider detta, är underskott på vatten ett normalt agrometeorologiskt tillstånd. För flera semi-arida områden har bedömningar gjorts att 50 - 70 procent av den årliga regnmängden återgår direkt till atmosfären genom evaporation (E). I växande gröda utgör evaporationsförlusten cirka hälften av evapotranspirationen (ET) (Jalota & Prihar, 1990). Problemen förvärras av att regnmängderna avviker starkt från årsmedelvärdet mellan åren och inom ett och samma år. Regnmängder på 10 - 150 procent av medelvärdet är vanligt. Dessutom är de faktiska regnmängderna oftare under än ovan medelvärdet (Hatfield, 1990). I Karachi ligger regnmängden 2 år av 3 under årsmedelvärdet. Mark, växter och djur i arida och semi-arida zoner är en reflektion av de förhållanden som råder under år då nederbörden understiger långtidsmedelvärdet, snarare än de förhållanden som råder under år med medelnederbörd (Dregne, 1976).

Regionernas besvärliga klimatförhållanden blir särskilt kritiska eftersom de dominerande jordarna har grov textur, är struktursvaga och näringsfattiga med låg vattenhållande förmåga (FAO, 1988b). Jordarna är därför mycket känsliga för utarmning och erosion. Markens egenskaper och regnets karaktäristiska leder fram till den andra huvudfaktorn, vid sidan om regnbristen, som styr förutsättningen för biomassaproduktion, nämligen markens permeabilitet. I semi-arida och arida områden varierar ytavrinningen (R) starkt och utgör i genomsnitt 25 procent, men ofta upp till 50 procent av nederbörden (L'vovitch, 1979; Krantz, 1981). Regnets fördelning ovan och under mark, och hur stor del av markvattnet som är tillgängligt för växterna, är avgörande för transpiration och därmed biomassaproduktion.

Semi-arida, arida och torra sub-humida områden utgör 40 procent av världens totala yta, faller geografiskt mellan latituderna 25 - 35 grader Nord respektive Syd och har en befolkning på ca 700 miljoner människor (Parr et al, 1990). Det är i dessa regioner de fattigaste utvecklingsländerna är koncentrerade och där de svåra svältkatastroferna 1972-74 och 1983-84 slog som hårdast.

Överexploatering och utarmning av odlingsmark, genom intensivare odlingsmetoder, orsakad av det accelererande befolkningstrycket på en begränsad markareal och vattentillgång, har föreslagits vara bidragande faktorer till de kraftiga produktionsbortfallen (Falkenmark 1989; Falkenmark et al 1990). År med låga regnmängder förstärker effekterna av människans utarmning av landskapet vilket kan få förödande konsekvenser. Skördarna minskar kraftigt eller uteblir.

## 1.1. Hypotes

En avgörande fråga för mänsklighetens utveckling är hur fattiga länder skall försörja sina växande befolkningar. Eftersom flertalet av de värst drabbade länderna finns i klimatzoner med regnbrist, blir en central fråga *om vattnet i arida, semi-arida och torra sub-humida regioner räcker för att producera tillräckligt med mat för att föda morgondagens befolkningar?*

Min hypotes är att de öknings i jordbruksproduktionen som måste ske i arida, semi-arida och torra sub-humida utvecklingsländer för att försörja de ökande befolkningarna fram till år 2025 kan ske trots att vatten ofta är en begränsande faktor. Med detta menas att den tillgängliga vattentillgången räcker för att jordbruksproduktionen skall kunna ge en stabil avkastning som räcker för att försörja de förväntade befolkningarna.

Med tillgänglig vattentillgång menas det vatten som är realistiskt att nyttiggöra utifrån ekonomiska och politiska ramar, yrkeskompetens och teknologitillgång. Detta skall skiljas ifrån den potentiella vattentillgången som utgör den totala vattentillgången, och som normalt inte är åtkomlig i sin helhet. En viss andel av den potentiella vattentillgången kan inte utnyttjas exempelvis p.g.a. ofrånkomliga avdunstningsförluster vid eventuell exploatering av grundvatten, eller topografiska/geologiska hinder. Därför är det befogat att tala om den maximalt mobiliserbara andelen av vattentillgången, där visserligen existerande men oåtkomligt vatten, dras ifrån den potentiella vattentillgången.

Flera studier har genomförts i syfte att bedöma hur mycket jordbruksproduktionen måste öka och vilken produktionsförmåga olika länder har. Uppsatsen utgår ifrån FAO:s prognoser över nödvändiga produktionsökningar. Dessa studier kommer att preciseras längre fram, men generellt gäller att utvecklingsländer i arida, semi-arida och sub-humida regioner måste höja sin jordbruksproduktion 2 - 4 gånger för att försörja de befolkningar som förväntas.

## 1.2. Avgränsning

Geografiskt inriktas uppsatsen på utvecklingsländer i arida, semi-arida och torra sub-humida klimatzoner. Klimatzonernas geografiska utbredning följer FAO:s klassificering. I uppsatsen kommer regionerna att definieras som "torra".

De "torra" klimatzonerna kan vara kalla eller varma. Uppsatsen koncentreras på de varma; i litteraturen generellt betecknade som *tropiska*, arida, semi-arida, och torra sub-humida regioner. Med "varm" menas generellt att årsmedeltemperaturen överstiger 20 grader Celsius. Sedan finns ett spann mellan 20 och 6,5 grader som i en glidande skala bildar övergång mellan tropiker och kalla regioner.

Det är FAO:s studier över utvecklingsländernas framtida jordbruksproduktion som ligger till grund för hypotesprövningen. Antalet utvecklingsländer som ingår i studierna varierar. I FAO:s studie 1983, *Potential population supporting capacities of lands in the developing world* ingår 117 länder (Kina ingår inte) (FAO, 1983). I en senare FAO-studie 1988, *World agricul-*

ture toward 2000 , ingår 93 länder (exkl Kina), i vissa beräkningar 94 länder, när även information över Kina finns med (FAO, 1988a).

Tidsperspektivet i de projiceringar av befolkningstillväxten och prognoser över jordbruksproduktionens utveckling som genomförts, inriktas i huvudsak på år 2000 och år 2025. Det är dessa tidsperspektiv som uppsatsen anlägger.

Med jordbruksproduktion menas utnyttjande av mark för odling av livsmedelsgrödor. Animalieproduktion och produktion av bränsle eller skogsprodukter som virke och pappersmassa berörs ej.

### 1.3. Metod

Uppsatsen grundas på en kritisk granskning av litteratur som berör frågor rörande vatten och jordbruksproduktion i "torra" utvecklingsländer.

Inledningsvis gjordes en litteratursökning med hjälp av en dokumentalist på SLU:s bibliotek. Sökning gjordes på databaserna AGRIS och CAB. Sökord "water management" och "dry farming". Direkt litteratursökning har även gjorts på *International Rural Development Center*, IRDC, Ultuna.

En litteraturgenomgång av relevant litteratur har sedan genomförts. Varje referens har granskats efter två huvudfrågor:

- [A] Tillgången på vatten och behovet av vatten för jordbruksproduktion.
- [B] Åtgärder för att öka tillgången eller förbättra utnyttjandet av vattentillgången.

Ett antal delfrågor inom dessa områden har identifierats som relevanta utgångspunkter vid den fördjupade analysen:

[A] Tillgång och behov av vatten:

*Växtens behov av vatten*

*Regnets fördelning*

- Interannuella fluktuationer
- Brist på regn i förhållande till evaporation
- Agrohydrologiska data

*Markvattenflöden*

- Markens roll för vatteninnehåll
- Markvatten i rotzonen
- Brist på infiltration (I)
- Avrinningsområdet
- Jordmånsanpassad odling

[B] Metoder och åtgärder för att öka skördarna:

*Förbättring av markytan, markyteskötsel*

Minimera inproduktiva förluster, i huvudsak evaporation  
Maximera infiltration/minimera ytavrinning (R)

*Styra vatten till grödan*

Bevattning  
Effektivare vattenutnyttjande  
-odlingsteknik  
-odlingssystem  
-växtföljder  
Minimera förluster till grundvattnet

*Förädling, teknik*

Maximera grödornas produktion per vattenenhet

Litteraturgenomgången har sedan använts som utgångspunkt för prövning av hypotesen.

Först har jag undersökt grödans vattenbehov och konsekvenser för tillväxten vid vattenbrist. Växtens vattenbehov under vegetationsperioden studeras och jämförs med framförallt FAO:s definition på växtsäsongens längd. Vilken roll samspelet mellan mark, gröda och klimat har på tillväxten undersöks. För att kunna dra slutsatser om möjligheten att öka avkastningen måste regnets variation och hur det fördelas mellan flöden ovan och under mark belysas. Om de begränsade regnmängderna når rotzonen är en av uppsatsens huvudfrågor i försöken att ta ställning till hypotesen. En genomgång görs av olika metoder som syftar till att utnyttja den begränsade vattentillgången på ett effektivare sätt.

Litteraturgenomgången av metodens delfrågor (*kursiverade ovan*) används som utgångspunkt för en granskning av FAO:s prognoser över önskade produktionsökningar:

- (1) Mängden vatten som behövs;  
kap 3.1 om växtens behov, vatten under växtsäsongen.
- (2) Mängden vatten som finns att tillgå;  
kap 3.2 om regnets fördelning och variation, samt eventuellt tillskott av exogent vatten via bevattning.
- (3) Vilka processer och naturresurser som samverkar för att styra vattnets flöden till växten;  
kap 3.3 om markvattenflöden.
- (4) Vilka metoder som finns för att förbättra vattenanvändningen;  
kap 3.4 som tar upp olika former av markyteskötsel och styrning av vattnet till grödan.

Frågan är om dessa *önskade* produktionsökningar är *möjliga* ur ett vattenperspektiv. Hypotesen är som tidigare nämnts att vattentillgången skall räcka.

## 2. FRAMTIDENS JORDBRUKSPRODUKTION

Flera försök har gjorts att bedöma utvecklingsländernas framtida möjligheter att försörja sina snabbt ökande befolkningar (FAO, 1981a; FAO, 1983; FAO 1984; FAO, 1986a, b, c; FAO, 1988a; Unesco 1990). I dessa studier görs bedömningar inom två områden som direkt rör förhållandet mellan mark, vatten och produktionsmöjligheter; (1) markens odlingspotential, det vill säga möjligheten att öka produktiviteten och (2) möjligheten att expandera odlingsarealen.

Den grundläggande undersökning som i mer eller mindre grad legat som bas för senare studier är FAO/UNFPA/IIASA-studien "Potential population-supporting capacities of lands in the developing world" (PPSC) (FAO, 1983). Undersökningen baseras på FAO:s Soil Map of the World och en FAO-studie om olika jordars användbarhet, som ger en bedömning om potentiell markanvändning i olika agroekologiska zoner. Genom att jämföra detta med olika gröders mark- och klimatbehov beräknas odlingspotentialen, som sedan jämförs med kaloribehov hos utvecklingsländernas projicerade befolkningar år 2000. Studien innehåller beräkningar för tre olika intensitetsnivåer där "low level" utgör traditionellt regnförsörjt jordbruk utan insatsmedel; "intermediate" innebär viss användning av insatsmedel och förbättrad odlingsteknik; "high level" förutsätter total mekanisering, maximal användning av optimala grödor, insatsmedel och modern odlingsteknik. I denna uppsats kommer "low level" att kallas "traditionell" teknik, "intermediate" "extensiv" teknik och "high level" "intensiv" teknik.

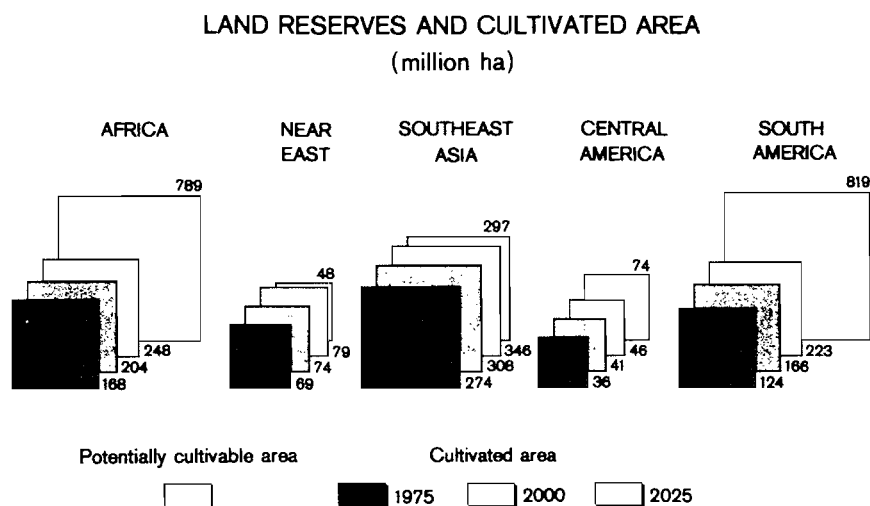
Resultaten visar att alla utvecklingsländer (i studien medverkar 117 utvecklingsländer som är medlemmar i FAO) redan med "traditionell" teknik kan försörja i genomsnitt 1,5 gånger sina förväntade befolkningar år 2000. Studien förutsätter att all odlingsbar mark utnyttjas och att perfekta transportmöjligheter råder mellan regioner i varje land. Dessa antaganden är förstuds orealistiska och i en senare studie av Harrison (FAO, 1984) görs ett försök att kompensera för detta. Här utgår han ifrån den odlade arealen och drar bort 1/3 av denna, vilket bedöms vara en rimlig andel av "icke jordbruksmark" (stadsdelar o.s.v.).

Denna "kompensation" resulterar i en mera nedslående bild. Ingen av de studerade regionerna; Afrika, Sydvästasien, Sydostasien, Centralamerika, eller Sydamerika, är kapabel att försörja sina befolkningar år 2000. Här görs även en projicering till år 2025 där situationen blir densamma; de fyra regionerna förutom Sydostasien bedöms kunna försörja drygt 50 procent av sina projicerade befolkningar. Sydostasien bedöms kunna försörja 1,35 ggr sin befolkning tack vare expansion av den bevattnade arealen.

Lösningen blir att öka den totala jordbruksproduktionen genom att övergå till högre teknologinivåer. Detta skall ske genom att odla dagens åkrar intensivare (t.ex. minskad träda), expandera odlingen till obrukade arealer och höja avkastningen. I en FAO-studie 1988 (FAO, 1988a) görs en bedömning av möjligheterna att expandera och intensifiera jordbruket i utvecklingsländerna. I studien antas ca 1/3 av den totala expansionen av ny odlingsmark ske i sub-humida till humida områden med god tillgång på regn. Större delen av den övriga expansionen sker genom bevattning, medan odlingsarealen i semi-arida och arida områden med lite eller osäker

nederbörd skulle minska något. De regionala prognoserna i studien varierar dock starkt. Den kanske mest intressanta iakttagelsen är bedömningen om Afrikas (Sub-sahara) stora produktionsökning. Sub-sahara regionen, som är en semi-arid region, antas genomgå en kraftig expansionen och intensifieringen som, av förstaeliga skäl med tanke på klimatzonen, antas äga rum just i områden med låg och osäker nederbörd. Den ökade odlingsintensiteten skall uppnås i huvudsak med minskad träda genom övergång från skiftesbruk till kontinuerlig odling.

Marktillgången är mycket ojämnt fördelad där Afrika och Sydamerika bedöms ha stora potentiella odlingsarealer, medan Mellanöstern och Sydostasien redan 1975 odlade på i princip hela sin potentiella odlingsareal (fig 2).



**Figur 2.** Markreserv och odlad areal (FAO, 1984).

I FAO:s studie (FAO, 1986) över Afrikas framtida jordbruksproduktion bedöms den totala arealen regnförsörjt jordbruk öka från 215 till 265 miljoner ha och den bevattnade arealen från 9,5 till 14,5 miljoner ha. Risken är att det ökade trycket på marken genom intensivare odling utarmar näringsinnehåll och försämrar strukturen på jorden. Expansionen och intensifieringen skall därför, enligt studien, följas upp med ökad användning av insatsmedel och teknologipaket.

Expansionen och intensifieringen av utvecklingsländernas jordbruksproduktion som förutsätts till år 2000 är omfattande. Totalt innebär det en ökning av den odlade arealen med 114 miljoner ha, vilket motsvarar hela Västeuropas odlingsareal och skall jämföras med de 600 miljoner ha som skördades 1988. Eftersom intensitetsnivån låg på drygt 78 procent (d.v.s. 22 procent av arealen låg obrukad varje år) var den odlade arealen ca 770 miljoner ha. Intensitetshöjningen beräknas till 6 procent, vilket innebär att ökningen av den skördade arealen skulle bli 83 miljoner ha.

Frågor rörande vattentillgången kommer in på tre ställen i studiernas grundantaganden. Först indelas världen i regioner lämpade för jordbruk ur klimatologisk synpunkt efter olika längder på växtsäsong (*Length of Growing*

*Period*, LGP, se bilaga II och III). Ett antal bäsgrödor passas in efter mognadstider till regioner med lämpliga växtsäsongslängder, vilket identifierar "agro-klimatologiska" zoner (*agro-climatic suitability* efter en 4-gradig skala). För det andra kompenseras risken för variationer i nederbörd genom reduktion av beräknade medelskördar. Sist görs neddragning i odlingspotential för olika jordmåner med odlingsbegränsningar, som brist i dränering, grov textur, ökenjordar, grunda jordar och lutning.

Varje landområde som har en agro-klimatologisk zon som medger odling (i princip lämplig gröda och LGP >79 dagar) och en mark som inte innebär för stora odlingsbegränsningar, hamnar i en mark/klimat-zon (*land suitability zone*) som möjliggör intensitetshöjningar i produktionen (*very suitable och suitable* i en 4-gradig skala) (FAO, 1978; FAO, 1983; FAO, 1988a). Detta innebär exempelvis för Afrika att de 19 procent av landområdet som inte bedöms ha allvarliga odlingsbegränsningar, sammanförs med de 53 procent av landområdet som har tillräckligt lång LGP. Dessa områden är sedan möjliga att utveckla från "traditionell"-, till "extensiv"-, alternativt "intensiv" teknik i de områden där befolkningstrycket är för stort.

Hur långt ifrån de av FAO beräknade potentiella skördarna som kan uppnås beror på vilken *land suitability* en region har. Regioner som är *very suitable* kan uppnå skördar på 80 - 100 procent av den potentiella skörden som beräknas utifrån optimala betingelser. På *suitable* mark kan skördarna nå 50 - 80 procent av de potentiella. För varje region gäller att skördarna med "traditionell" teknik uppnår 25 procent av skördarna vid "intensiv" teknik (som vid *very suitable* kan nå upp till de potentiella skördarna). Oavsett vilken nivå på *land suitability* en region placeras i antas en övergång från "traditionell" till "intensiv" teknik ge 4 gånger högre skörd.

De beskrivna intensitetshöjningarna, som förutsätter att avkastningen dubblas vid övergång till "extensiv" teknik och 4-dubblas vid "intensiv" teknik, måste enligt Harrison ske i samtliga 5 studerade regioner (SV/SO-Asien, Centralamerika, Afrika, Latinamerika) (FAO, 1984). Totalt indikerar studien att 75 av de studerade 117 länderna inte kommer att kunna försörja sina förväntade befolkningar år 2000 enbart med "traditionell" teknik. Skördeökningarna antas kunna ske inom ramen för den nuvarande vattentillgången.

FAO-studierna förutsätter således stora produktionsökningar genom i första hand ökad bevattning, ny teknologi och ökad användning av mineralgödsel och bekämpningsmedel. Dessa insatser skall för varje intensitetsnivå åtföljas av aktivare mark- och vattenbevarande åtgärder, som framförallt inriktas på erosionsminskande insatser.

En granskning av PPSC visar att 32 av de 75 länder som inte kan försörja sina befolkningar med "traditionell" teknik, måste fördubbla sina skördar genom övergång till "extensiv" teknik. Detta för att hålla jämna steg med en befolkningstillväxt som ökar med ca 3 procent per år. De resterande 43 länderna måste fyrdubbla sina skördar genom övergång till "intensiv" teknik. Trots denna expansiva utveckling skulle 29 av de 43 länderna fortfarande vara oförmögna att försörja sina befolkningar år 2000 (Harrison, 1984). Dessa utsikter utgår från den odlade marken år 1975. Även om ökningen av jordbruksproduktionen skulle uppfyllas kommer den

genomsnittliga odlingsarealen per capita att sjunka från 0,37 ha/person år 1975 till 0,25 ha/person år 2000 (FAO, 1988a). Samtidigt måste per capita produktionen öka med i genomsnitt 3 procent per år. Att notera är att per capita produktionen i Sub-Sahara måste öka med 3,4 procent per år för att hålla befolkningen försörjd.

Det bör klargöras att trots PPSC:s projicerade behov av fyrdubblade skördar fram till år 2000 i flera länder, har senare studier kommit fram till lägre nivåer på möjliga skördeökningar. Något som inte innebär att man ifrågasätter PPSC:s slutsatser om behoven. Alexandratos har tagit fram en tabell över förväntade skördeökningar för huvudgrödor i de studerade utvecklingsländerna, där ökningarna hamnar närmare en fördubbling än en fyrdubbling av skördarna fram till år 2000 (tab 1). Denna prognos över skördeutvecklingen räcker inte för att möta avkastningsbehoven i de värst drabbade länderna enligt PPSC (de som inte kan försörjas med "traditionell" teknik och måste övergå till "intensiv" för att nå stabilitet). Istället inriktas dessa prognoser på att produktionen skall hålla jämna steg med befolkningstillväxten. Som framgår av tabell 1 räcker inte skördeökningarna för att nå den nödvändiga tillväxten utan intensivare odling och exploatering av ny areal skall ge produktionsökningar som räcker.

**Tabell 1.** Prognos över ökad produktion, skördad areal och avkastning för vissa huvudgrödor i utvecklingsländer

	Skördad areal (milj ha)		Avkastning (kg/ha)		Avkastning, tillväxt	Produktion, tillväxt
	1980	2000	1980	2000	(%/år)	(%/år)
majs	58	73	1600	2300	2,0	3,4
hirs	34	39	600	800	1,9	2,7
durra	39	46	900	1400	2,4	3,3
cassava	13	18	9200	10300	0,7	2,4
jordnöt	15	22	900	1000	1,2	3,4

Källa: FAO, 1988a

### 3. GENOMGÅNG AV LITTERATUR

#### 3.1. Växtens vattenbehov

Den viktigaste orsaken till växtedöd är troligen bristen på tillgängligt vatten för att upprätthålla transpirationen (T). Detta gör sannolikt T till den viktigaste enskilda klimatologiska faktorn i det semi-arida och arida jordbruket (Jackson, 1989). Den potentiella evapotranspirationen (PET, definition se bilaga III) avgör hur stort växtens vattenbehov blir och därmed växtsäsongens längd. PET i semi-arida och torra sub-humida regioner ligger i intervallet 1000 - 1300 mm/år vilket skall jämföras med tempererade regioner där PET är ca 500 mm/år (Falkenmark & Chapman, 1989). Tillväxten är optimal då grödan evapotranspirerar maximalt ( $ET_m$ ). För att uppnå grödans  $ET_m$  måste rötternas vattenupptag vara lika med den potentiella efterfrågan på vatten (det evaporativa kravet) hos växtbeståndets mikroklimat. Varje gång den aktuella evapotranspirationen ( $ET_a$ )



understiger  $ET_m$  kommer grödan att lida av vattenstress och tillväxa under sin förmåga (FAO, 1981a). Eftersom PET är så hög i "torra" odlingsområden kommer vattenbehovet för varje avkastningsökning att vara mycket större än i tempererade områden. Studier indikerar att det genomsnittliga återflödet av vatten från mark och växter till atmosfären i semi-arida tropiker hamnar i storleksordningen 1000 m<sup>3</sup>/ton producerad torrs substans. Motsvarande siffra för tempererade regioner och tropisk regnskog är 200 m<sup>3</sup>/ton (Falkenmark, 1986). Variationen mellan grödor är förstås stor där exempelvis ris konsumerar upp till 5000 m<sup>3</sup>/ton. FAO/FN presenterar siffror i samma storleksordning, där exempelvis durra (odlad i Texas) kräver 750 m<sup>3</sup>/ton torrs substans (FAO/UN, 1990). Doorenbos och Kassam gör en genomgång av flera tropiska och subtropiska grödor där durra kräver 1000-1700 m<sup>3</sup>/ton kärnskörd (12-15 procent vattenhalt) och majs 530-1250 m<sup>3</sup>/ton kärnskörd (10-13 procent vattenhalt) (Doorenbos & Kassam, 1979). Det är svårt att förklara orsaken till de varierande siffrorna men det kan bero på olika PET vid mättilfället.

Fördelningen mellan E och T varierar under växtsäsongen. En målsättning är att maximera den "produktiva" transpirationen och minimera den "inproduktiva" förlusten genom evaporation. En generell bild av vilka grödor som odlas vid olika regnmängder och deras vattenbehov ges av tabell 2.

**Tabell 2.** Effektiva grödor i olika klimatzoner sett utifrån vattenbehov

P (3 månader) (mm/månad)	Effektiv gröda	Vatten behov (mm/ton)*	Vatten behov (mm/säsong)*	Klimatzon*
> 300	ris	90-140	350-700	humid, sub-humid
200-300	majs durra	50-125 100-170	500-800 450-650	(torr-) sub-humid
100-200	durra hirs	100-170	450-650	torr sub-hum. semi-arid
50-100	<i>Phaseolus</i> <i>aconitifolius</i>			arid
< 50				arid, öken

Källa: Venkateswarlu, 1987. \* Doorenbos & Kassam, 1979

### 3.1.1. Vatten och avkastningen

Durra (*Sorghum Bicolor*, L) och hirs (*Pennisetum americanum*, L, eng pearl millet) är de två viktigaste stapelgrödorna i semi-arida och torra sub-humida områden. 350 miljoner människor i utvecklingsländer är beroende av dessa grödor för överlevnad. Skillnaden i skörd är stor mellan olika kontinenter med likartat klimat. I Afrika är medelskörden av durra 700 kg/ha, jämfört med 3 500 kg/ha i Central- och Nordamerika. Skörden av hirs ligger på 600 kg/ha i Västafrika samtidigt som demonstrationsåkrar i Indien skördat 3 500 kg/ha (Andrews, 1986). Medelskördarna för hirs (530 kg/ha) och durra (680 kg/ha) i semi-arida regioner i Asien och Sub-saharaländerna i Afrika är de lägsta i världen (Vandenbeldt, 1990). En oroväckande faktor är att produktionen i det traditionella regnförsörjda jordbruket sjunker i flera semi-arida och arida områden (Kanemasu et al, 1990). Varför är skördarna så olika och varför sjunker skördarna i vissa

"torra" regioner? Svar på dessa frågor måste sökas för att kunna ta ställning till hypotesen. Här görs en granskning av vattnets roll vid gröders tillväxt.

FAO bedömde 1988 att 63 procent av den årliga produktionsökningen på 3 procent/år som var nödvändig för att försörja utvecklingsländernas befolkning år 2000, skulle ske genom ökad avkastning, framförallt genom att utnyttja intensivare teknik (FAO, 1988a).

Den avgörande frågan ur vattensynpunkt för att uppnå maximal avkastning, är att växten kan transpirera på optimal nivå under hela växtsäsongen. Det vanligaste sättet att finna relationen mellan PET och en aktuell grödas potentiella evapotranspiration,  $ET_{crop}$ , är genom det linjära förhållandet:

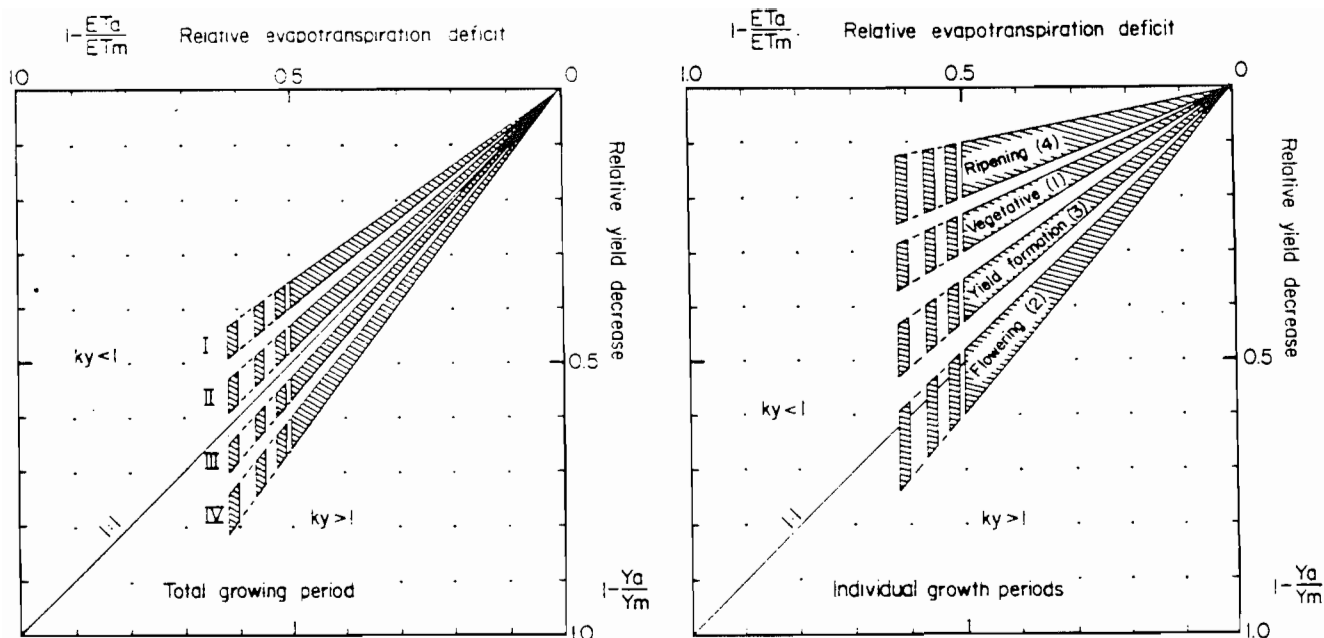
$$ET_{crop} = k_c PET \quad [1]$$

Termen  $k_c$  är en grödspecifik konstant som varierar beroende på utvecklingsfas och klimatförhållande. Konstantens värde ligger normalt inom intervallet 0,85-0,9, men kommer att vara lägre vid groningen, nå sin topp vid frösättning/mognad och avta mot skörden (Doorenbos & Kassam, 1979).  $ET_{crop}$  motsvarar den tidigare benämningen på grödans maximala evapotranspiration  $ET_m$ .

Eftersom  $ET_m$  förutsätter att grödan får det vatten den behöver (grödans potentiella vattenupptag under rådande PET) kommer den aktuella evapotranspirationen  $ET_a$  under begränsade vattenförhållanden ofta att ligga under  $ET_m$ . Förhållandet mellan avkastning ( $Y$ ) och  $ET$  för olika grödor och olika utvecklingsstadier ges av följande samband (Doorenbos & Kassam, 1979):

$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = k_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right) \quad [2]$$

$Y_a$  anger aktuell skörd,  $Y_m$  maximal skörd och  $k_y$  är en grödspecifik avkastningskoefficient (inte att förväxla med  $k_c$ ). Ju lägre  $ET_a$  blir i relation till  $ET_m$  desto lägre blir  $Y_a$  i relation till  $Y_m$ , d.v.s. den relativa skörden minskar med minskad evapotranspiration. Om  $k_y < 1$  kommer avkastningsminskningen proportionellt sätt att bli mindre än den minskade vattentillgången. Här återfinns således de tork-resistenta grödorna som durra och hirs. Genom detta samband kan den relativa minskningen i avkastning vid minskad vattentillgång beräknas. Den minskade vattentillgången anges av den relativa reduktionen i evapotranspiration ( $1 - ET_a/ET_m$ ). Figur 3 beskriver avkastningsminskning orsakad av minskad vattentillgång för olika grödor och olika utvecklingsstadier (Doorenbos & Kassam, 1979).



I	lusern	II	sorghum	sojaböna	III	böna	potatis	IV	banan
	jordnöt		lusern	sockerbeta		citron	tomat		majs
	safflower		vitkål	solros		lök	vete		sockerrör
	sockerbeta		bomull	tobak		ärter	peppar		
			citron	vete		peppar			
			druvor			vattenmelon			

**Figur 3.** Relationen mellan avkastning och relativ minskning i vattentillgång för olika grödor (vänster) och olika utvecklingsfaser (höger). Den minskade vattentillgången angett som  $1 - ET_a/ET_m$  (Doorenbos & Kassam, 1979).

Ur figuren framgår att vattenbrist (låg  $ET_a$  i förhållande till  $ET_m$ ) leder till störst avkastningsminskning vid grödans blomning och att det råder stor skillnad i tork-resistens mellan olika grödor. Att notera är den kraftiga skördeminskning som sker när växten evapotranspirerar på halva sin potentiella nivå, d.v.s.  $ET_a = 0,5 ET_m$ , vilket innebär att det relativa vattenunderskottet i diagrammet ligger på 0,5. Effekten blir att den relativa skördeminskningen blir ca 50 procent om vattenunderskottet sker vid frösättning (*yield formation*) och upp till 70 procent vid blomning. Dessa "kritiska" stadier under växtsäsongen, då vattentillgång lägre än  $ET_m$  snabbt leder till skördeminskningar, lyfts även fram av L'vovitch (L'vovitch, 1979). Han betonar att även gröningsstadiet är en känslig fas för vattenstress. Robertsson betonar svårigheten att finna gränsvärden för markvatteninnehåll då grödans tillväxt börjar avta. Hans slutsats är dock att grödor lider av olika grad av vattenstress vid varje minskning av markens vattenhalt under dess vattenhållningsförmåga. Samtidigt kan flera grödor överleva stress ned till tömning av markvattnet (Robertson, 1988). Venkateswarlu rapporterar liknande sänkningar i avkastning vid fältförsök som Doorenbos och Kassam. Vid gröningsfasen var skördeminskningen för durra ca 30 procent och för hirs ca 26 procent. Motsvarande siffror vid blomning var ca 70 procent respektive 40 procent (Venkateswarlu, 1987).

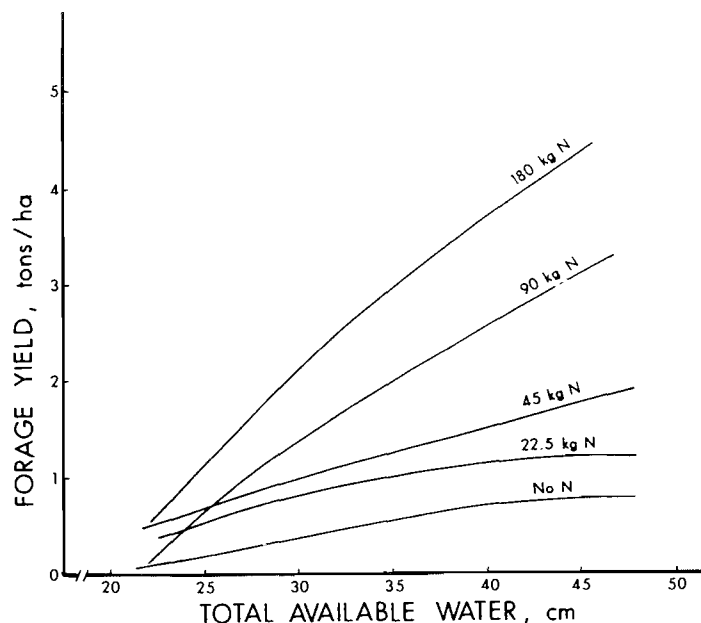
### 3.1.2. Vatteneffektivitet

En grödas vatteneffektivitet (WUE, eng Water Use Efficiency) (Bilaga III) betecknas generellt som mängden producerad biomassa (Y) per mängd tillfört vatten, alternativt per mängd utnyttjat vatten i form av T eller ET (Onken & Wendt, 1989). Det råder delade meningar om huruvida det går att förbättra växternas WUE. Stewart och Steiner menar att i vattenbegränsade områden finns det större potential att öka WUE än i tempererade regioner, men att vattenbristen i realiteten innebär att enda sättet att nå höga skördar är genom tillförsel av exogent vatten (Stewart & Steiner, 1990).

Teoretiskt finns två vägar att förbättra WUE i "torra" odlingsområden; (1) genom att förändra växtens fysiologi och (2) minimera de inproduktiva vattenförlusterna (evaporation, ytavrinning, dränering). Försök att lansera högavkastande sorter i semi-arida och arida områden (s.k. *High Yielding Varieties*, HYV:s), eller grödor förädlade specifikt på ökad tork-resistens och/eller kortare mognadstid, inriktas framförallt på (1) (Amiran et al, 1977; Davis, 1986; Harrisson, 1987; FAO, 1988). Försöken att öka WUE genom (2) sker i huvudsak genom olika former av jordbearbetning som ökar infiltrationen och marktäckning för att minska evaporationsförluster (Krantz, 1981; Unger, 1990; Jalota & Prihar, 1990; Gregory, 1989; David et al, 1981). Intensivare odlingsteknik, där flera grödor odlas per säsong, framställs som möjligheter att öka WUE (Stewart, 1989).

Relationen mellan vatten och näringstillförsel är komplicerad i "torra" odlingsområden. Från flera håll framförs möjligheten att öka WUE genom tillförsel av näring, främst kväve (N) och fosfor (P) (Amiran et al, 1977; Onken & Wendt, 1989; Whitman & Meyer, 1990). Försök i arida och semi-arida regioner visar att avkastningen ökar vid tillförsel av mineralgödsel, utan att ET ökar nämnvärt. Åkrar med glesa hirsplantor förlorar drygt 40 procent av säsongsregnen i form av E. Mineralgödning ger ett tätare bestånd vilket ökar T på bekostnad av E (Gregory, 1990). Rees m.fl. drar liknande slutsatser vid odlingsförsök i semi-arida regioner där WUE ökade i samband med P-gödsling (Rees et al, 1988). Lal refererar stora ökningarna på 75 - 90 procent i WUE vid tillförsel av mineralgödsel i Niger, Afrika. Ökningarna som tydligt visar att näringstillgänglighet är en viktig faktor för att öka regnets effektivitet i jordbruksproduktionen (Lal, 1990).

Power refererar studier av relationen mellan ökad N-tillförsel och avkastning vid odling av perenna gräsarter i "torra" regioner (fig 4). WUE ökar vid höjda N-givor, men förutsätter att vattentillgången är "god". I takt med minskad mängd tillgängligt vatten i marken, nås en punkt (ca 250 mm växttillgängligt vatten) där vatten är mera begränsande för tillväxt än näringsbrist. Att effekten av tillförd näring sjunker snabbt vid minskad vattentillgång, orsakas även av att växtens förmåga att ta upp N- och P-gödsel är starkt beroende av vattentillgång. Att tillföra N vid låg vattentillgång ger därför ingen effekt, utan riskerar snarare att skada växten (Power, 1990).



**Figur 4.** Effekt av vattentillgång på avkastning för olika nivåer av N-tillförsel (Power, 1990 efter Smika et al, 1965).

Försök på durra visar enligt Onken och Wendt att ökad WUE genom tillförsel av N-gödning förutsätter sorter som förädlats på förmågan att tillgodogöra sig tillförd näring (Onken & Wendt, 1989). Rikts konstaterar i en rapport från Världsbanken att tillförsel av NPK (N-, P- och kaliumgödsel) och urea på hirs och durra är riskfyllt och ger i genomsnitt liten eller marginell vinstökning i odlingen (Rijks, 1986).

### 3.1.3. Rotutveckling

Olika jordmåners vattenhållande förmåga har stor betydelse för odlingspotentialen. Än viktigare är i hur stor utsträckning denna förmåga kan komma till användning. Detta styrs av grödornas rotutveckling, både rotdensiteten och rotdjupet. Vid odling i områden med brist på vatten styr rötterna i hur stor utsträckning allt växttillgängligt vatten verkligen utnyttjas (Jackson, 1989). Därmed kommer rotutvecklingen att ha stor inverkan på växternas WUE. Som tidigare refererats är durra och hirs två tork-resistenta grödor väl lämpade att odla i "torra" regioner. Trots detta har de något högre vattenbehov än exempelvis majs (se ovan tabell 2). Orsaken till grödornas förmåga att klara regnbrist beror i stor utsträckning på deras välutvecklade rotsystem (Doorenbos & Kassam, 1979).

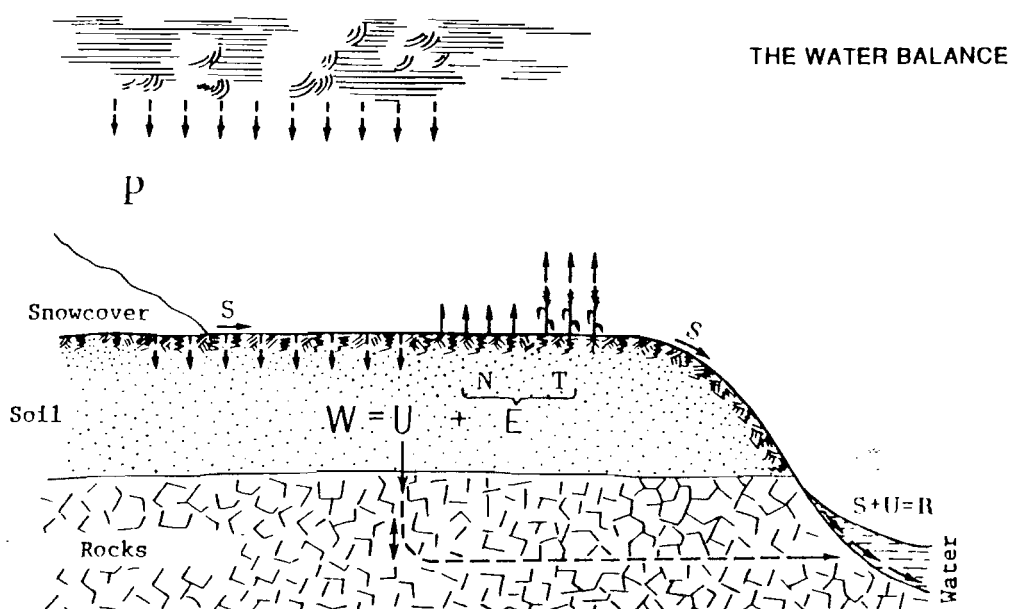
Rötternas roll blir särskilt viktig i regioner där växtodlingen sker på lagrat markvatten. Detta är vanligt för vertisolter (djupa svällande leror) i regioner där sådd sker direkt efter monsunregnen. Via rötterna får sedan lagrat markvatten (ofta upp till 250 mm växttillgängligt vatten) försörja växten under hela växtsäsongen (Krantz, 1981; FAO, 1988b). Dessa odlingsförhållanden gör att grödor i "torra" regioner investerar större andel av sin torrsubstans på rötter (Gregory, 1990). Rötterna på bevattnat vete i regioner med begränsad vattentillgång tränger drygt 0,4-0,6 meter ned i markprofilen jämfört med 2-2,5 meter i icke bevattnat (L'vovitch, 1979). Eaglesson menar att savannbiotopen med varierande buskar, träd och lågväxande annueller är ett resultat av samlevnad genom utnyttjande av vatten på olika djup i marken (Eaglesson, 1985).

### 3.1.4. Vatten under växtsäsongen

Regnförsörjt jordbruk i semi-arida, arida och torra sub-humida områden innebär växtodling där vatten är den huvudsakliga begränsningsfaktorn (Stewart & Steiner, 1990). Växtsäsongens längd kommer därför att begränsas av vattentillgången, snarare än av aktuell temperatur vilket är det normala i tempererade områden. Flera system har föreslagits för att beräkna växtsäsongens längd i "torra" odlingsregioner.

Som tidigare nämnts användes LGP som utgångspunkt för beräkning av utvecklingsländernas framtida möjligheter att försörja sina befolkningar med livsmedel (FAO, 1983). Jordmånskartor med iso-linjer för gemensam LGP togs fram och där jordmånen tillät odling och LGP angav att växttillgängligt vatten fanns i tillräcklig utstäckning, bedömdes jordbruksproduktion kunna ske.

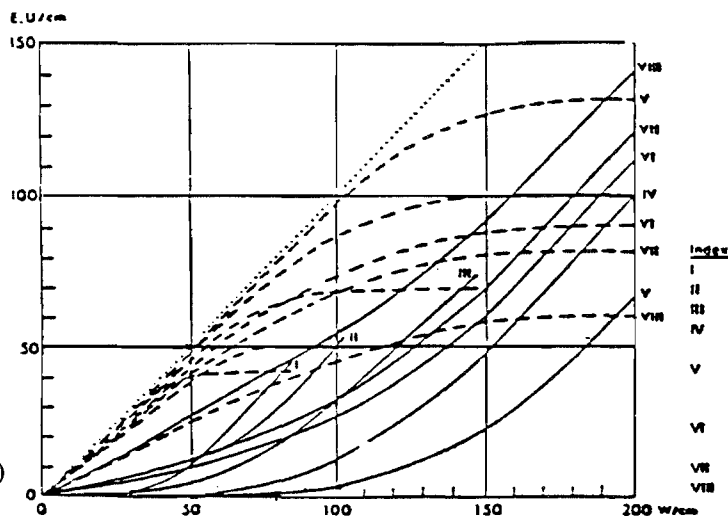
L'vovitch har i studier av vattenbalansen för världens kontinenter beräknat kurvor som beskriver fördelning mellan grundvattenbildning ( $U$ ) och aktuell evapotranspiration (definierat som  $E$ ) vid olika nivåer av markvattenbildning ( $W$ ) (eng wetting).  $W$  motsvarar den totala infiltrationen, där  $W=P-S$  (L'vovitch definierar ytavrinning med  $S$  och avrinning med  $R$ ). Vattenbalansen enligt L'vovitch illustreras i figur 5.



**Figur 5.** Vattenbalans över en markyta.  $R$ =total avrinning ( $U + S$ ),  $U$ =grundvattenbildning,  $S$ =ytavrinning,  $N$ =evaporation och  $T$ =transpiration,  $E$ =evapotranspiration (L'vovitch, 1979).

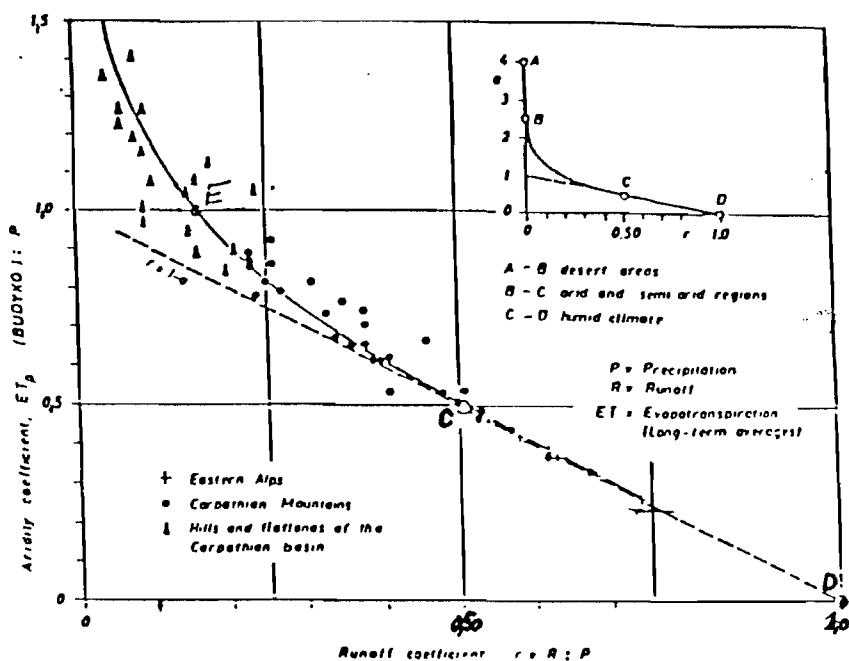
Figur 6 beskriver fördelningen mellan  $E/U$  och  $W$  för olika klimatzoner, där index  $V$  anger semi-arida regioner (stepp och savann). Tre faser kan urskiljas; (a) vid  $W=0-500$  mm går allt vatten tillbaka till atmosfären i form av evapotranspiration ( $E$ ), (b) vid  $W=500-1000$  mm fördelas vattnet mellan grundvattenflöde ( $U$ ) och återflöde av vatten till atmosfären ( $E$ ), och till sist (c) med  $W>1000$  mm där växten transpirerar på potentiell nivå och eventuellt överskott bildar  $U$ .

Index	Klimatzon	Vegetationszon
I	subartisk	tundra
II	temp	taiga
III	temp	blandad skog
IV	temp	(a) vedartad stepp, prairie
V	subtropisk och tropisk	(a) stepp, ökensavann (b) torr savann (c) humid savann
VI	subtropisk och tropisk	skog (monsun)
VII	ekvatorial	tropisk regnskog
VIII	berg	humid skog (monsun)

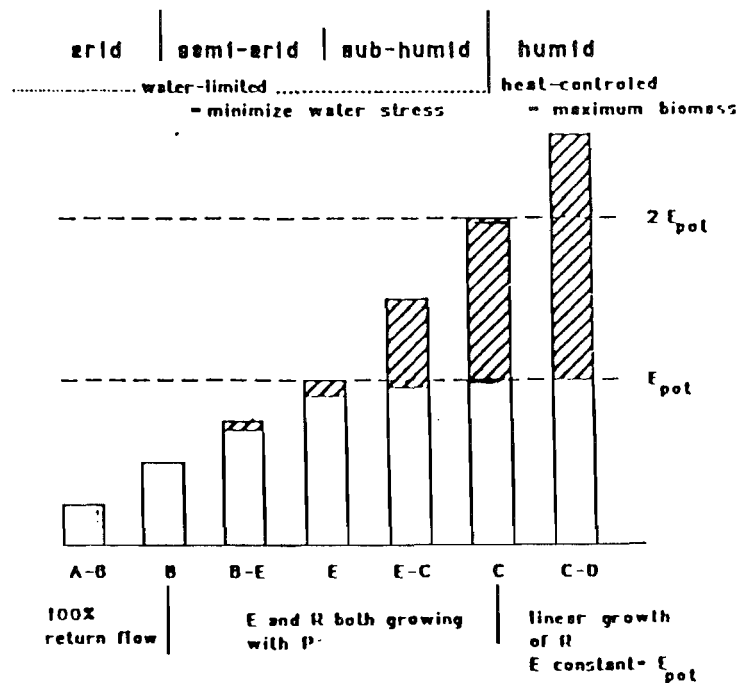


**Figur 6.** Regnets fördelning i rotzonen för olika ekohydrologiska zoner, (L'vovitch, 1979) Heldragen linje anger grundvattenbildning (U). Streckad linje aktuell evapotranspiration (E).

Bodyko (Bodyko, 1986) har gjort liknande studier baserade på ariditets-index ( $ET_p/P$  där  $ET_p$  motsvarar PET) och därigenom tagit fram ett diagram som visar relationen mellan ariditet och ytavrinnings andel av P ( $R/P$ ). Falkenmark (Falkenmark, 1990) har ur Bodyko:s diagram presenterat ett stapeldiagram som illustrerar växtens vattentillgång i olika klimatzoner (fig 7a, 7b). Bodyko:s generella kurva (lilla diagrammet i figur 7a) har utvärderats av Szesztay (Falkenmark, 1990 efter Szesztay, 1979) på 40 vattendrag i Centraleuropa (stora diagrammet figur 7a).



**Figur 7a.** Anger relationen mellan ariditet ( $PET/P$ , här angett som  $ET_p/P$ ) och avrinnings storlek i förhållande till regnmängd ( $R/P$ ). Lilla figuren är Bodyko:s generella diagram, den stora figuren Szesztay:s utvärderade diagram (Bodyko, 1986; Falkenmark, 1990 efter Szesztay, 1979).



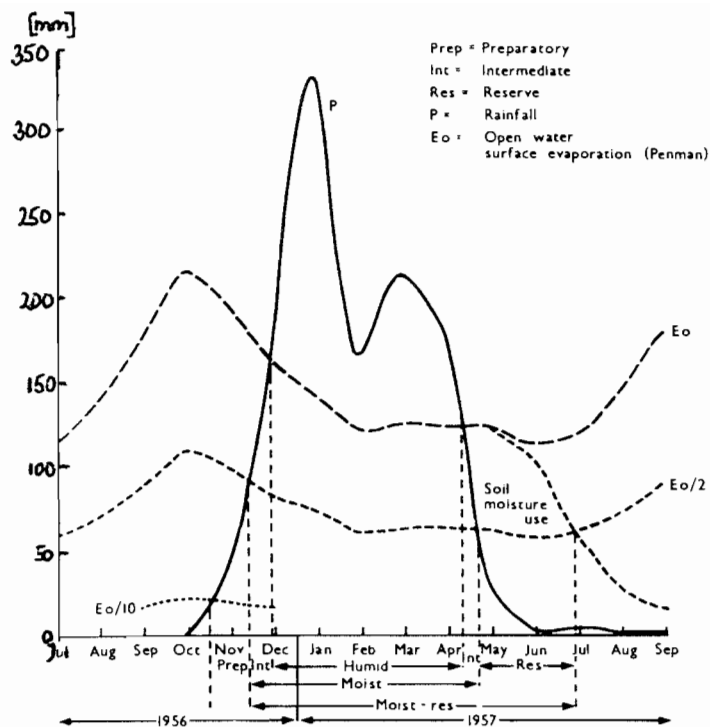
**Figur 7b.** Vattnets fördelning mellan evapotranspiration och avrinningsbildning för olika klimatzoner (PET betecknat med  $E_{pot}$ ) (Falkenmark, 1990).

Figurerna visar att L'vovitch:s intervall (a) (figur 6) motsvarar Bodyko:s intervall A-B (figur 7a, 7b), intervall (b) motsvarar stadie B - C, och (c) intervall C -D. Inom intervall A till C sker grödans tillväxt under vattenbegränsade förhållanden och det är inte förrän regnmängden motsvarar dubbla PET som växten transpirerar på potentiell nivå (ovanför C) (Falkenmark, 1990).

Vid jämförelse av ovanstående med FAO:s definition LGP framgår att jordbruksproduktionen i semi-arida och arida områden under en given LGP, riskerar att ske under perioder av vattenbrist. Växstsäsongen startar enligt LGP när  $P=0.5PET$  vilket motsvarar intervall B i figurerna 7a och 7b, eller ariditetindex  $PET/P=2$ , alternativt intervall (a) i L'vovitch diagram (fig 6). LGP innebär således per definition att växstsäsongen i semi-arida och arida områden innehåller perioder där mängden vatten som når rotzonen är liten eller obefintlig. För semi-arida och arida områden med en intensiv regnsäsong under en kort period, innebär detta stor risk för perioder av vattenbrist som drar ned avkastningen.

Diagram som sammanför nederbördsmonster och olika nivåer på potentiell evapotranspiration ger en bild av skillnader i vattentillgång vid olika växstsäsongslängder (fig 8) (Jackson, 1989 efter Cochemé & Franquin, 1967). I figuren används  $E_0$ , potentiell evaporation från fri vattenyta enligt Penmanmetoden istället för PET. Figuren visar en semi-arid region med normal LGP, d.v.s. regnet överstiger  $E_0$  under den humida perioden. Växstsäsongen enligt LGP startar vid  $E_0/2$ , vilket ger perioder i inledningen och slutet av växstsäsongen där  $P < E_0$ , definierade som intermediär period under fuktiga (*moist*) förhållanden. Enligt Jackson skulle motiveringen till att även innefatta de "fuktiga" perioderna i växstsäsongen vara att vattenbehovet är lägre i inledningen och slutet av växstsäsongen.





**Figur 8.** Vattenbalans för en semi-arid region i Västafrika, med inlagda data för  $E_0$  (potentiell evaporation från fri vattenyta enligt Penman-metoden). Perioden **Int** anger intermediär fas mellan  $E_0$  och  $E_0/2$ . **Res** anger den period då grödan försörjs av markvattenmagasinet (Jackson, 1989 efter Cochemé & Franquin, 1967).

FAO konstaterar i sin studie *African agriculture the next 25 years* (FAO, 1986a, b, c) att det finns över 100 miljoner ha odlad mark i Sub-sahara som faller inom sub-humida och semi-arida klimatzoner som, om de överhuvudtaget odlas, ger majsskördar under 1 ton/ha. Detta trots att arealerna agroklimatologiskt är jämförbara med jordarna i Zimbabwe där medelskörden av majs är ungefär 5 ton/ha. Orsaken till skillnaderna i skörd är enligt FAO att förädlade majs sorter har införts i Zimbabwe, den privata äganderätten är mera utbredd, samt insatsmedel används i större utsträckning.

Frågan är om det är möjligt, att liksom FAO, dra denna typ av generella slutsatser om olika regioners jämförbarhet. Redan vid en närmare granskning av förhållandet mellan  $P$  och  $PET$  framgår att Sub-saharaländerna i Sudano-Sahel området klassas som arida till semi-arida med  $LGP = 1 - 150$  dagar. Zimbabwe däremot har dominerande områden med  $LGP = 90 - 150$  och regioner med  $LGP$  på 210 dagar, vilket innefattar semi-arida och sub-humida klimatzoner (Ayensu, 1985). Jordarna i Sudano-Sahel-länderna domineras av sandiga arenosoler och regosoler med inslag av luvisoler och cambisol. Zimbabwe domineras av de bördigare luvisolerna och cambisolerna, och har mindre områden med sandiga jordar (FAO, 1986b; FAO/Unesco 1977).

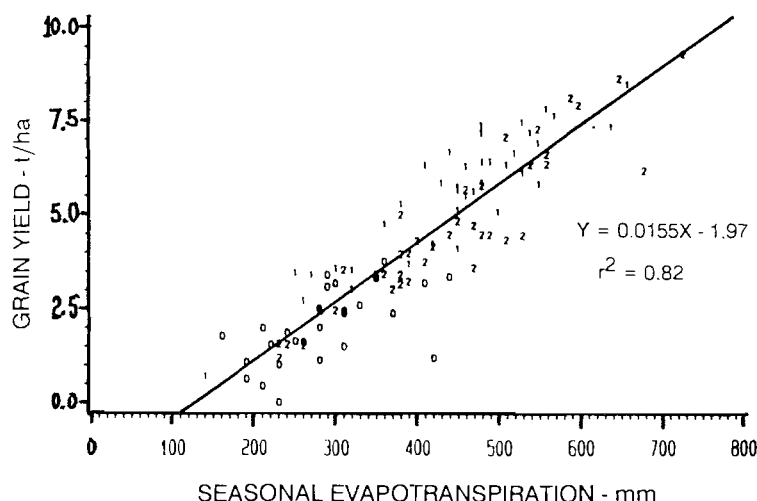
En rad olika metoder för beräkning av  $PET$  används, samtliga behäftade med felmarginaler på 10 - 25 procent (Lidsell, 1988). Den generella bilden i utvecklingsländer är att det är gles mellan meteorologiska mätstationer. Både  $P$  och  $PET$  varierar starkt inom små geografiska avstånd (Hatfield, 1990). Dessa "svaga länkar" i  $PET$ - och  $P$ -mätningar i "torra" regioner minskar ytterligare möjligheten att jämföra olika regioner.

I "torra" regioner utgör E en stor andel av vattenbalansen. I Sudano-Sahel området konstaterar Monteith att E även på odlad mark uppgår till minst 30 procent av vattenförlusten under odlings säsongen (Monteith, 1990).

Förhållandet mellan E och T varierar starkt under växtsäsongen, där relationen T/E enligt L'vovitch förändras från 25/75 vid groningen, till 60/40 vid blomning (L'vovitch, 1979). Liknande nivåer refereras för hirs vid ICRISAT av Gregory (Gregory, 1990). Jackson (Jackson, 1989) refererar flera mätningar på förhållandet mellan  $E_t/E_o$  (kvoten mellan växtens potentiella transpiration och den potentiella evaporationen från en fri vattenyta). Variationen är stor mellan olika grödor och markförhållanden. Skog kan ha ett  $E_t/E_o$ -värde på 0,9 medan majs har 0,4 vid ungt (och glest) stadium och 0,5 vid mognad.

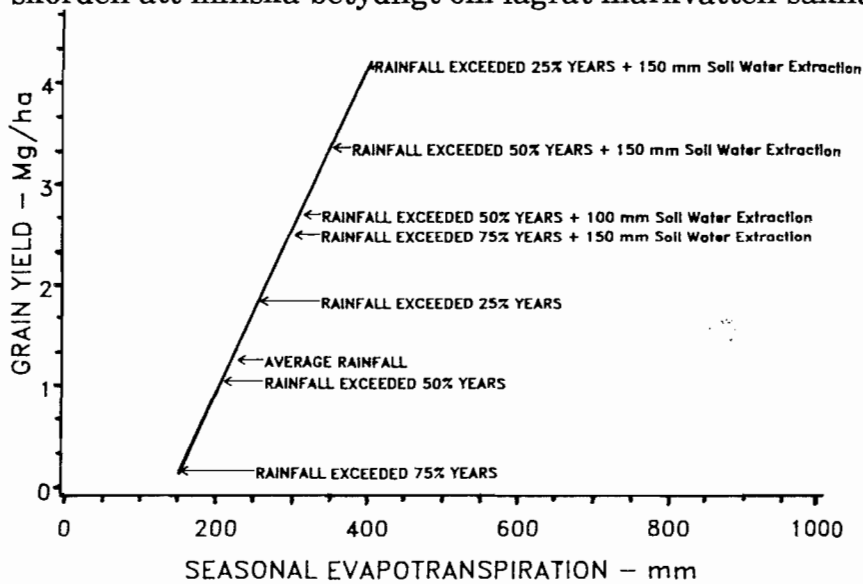
Ett vanligt odlings system i "torra" regioner är att sådden sker i slutet av regnsäsongen efter en period av träda och att grödan odlas på lagrat markvatten genom torrperioden. Enligt flera forskare är ett viktigt, kanske avgörande, syfte med träda ofta att magasinera vatten i profilen inför odlings säsongen (Gregory, 1989; Power, 1990). Karacili (Karacili, 1988) menar att odling med träda där markvatten hinner lagras innebär att skördarna totalt sätt blir högre än årligt återkommande odling och detta trots den höga potentiella evaporationen.

Stewart och Steiner (Stewart & Steiner, 1990) har tagit fram data för durra odlad i semi-arida klimatzoner, som visar att säsongsåterflödet till atmosfären måste överstiga 127 mm vatten för att tillväxten skall starta, d.v.s. marken måste under en växtsäsong innehålla minst 127 mm för att täcka ET (fig 9). Medelnederbörden för den aktuella regionen är mindre än 180 mm under groningenfasen (det P som statistiskt faller 50 procent av åren), vilket visar betydelsen av att det finns lagrat markvatten vid sådd. Vid sådd utan lagrat markvatten blev skörden, återigen räknat på den sannolika regnmängden under 50 procent av åren, lägre än 850 kg/ha. Med lagrat markvatten hamnade motsvarande skördenivå på 2400 kg/ha.



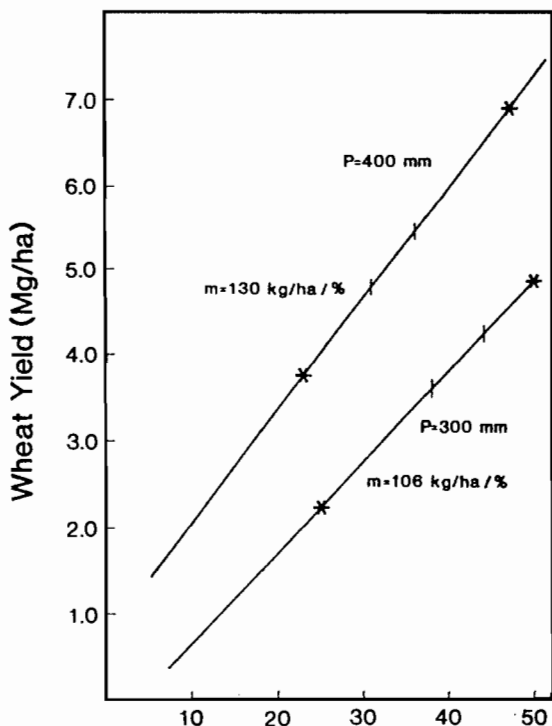
**Figur 9.** Relationen mellan avkastning och evapotranspiration för durra odlad i en semi-arid klimatzon i Texas (sifferplotningen anger olika försök; 0-opublicerade data; 1-Musick och Dusek, 1971; 2-Stewart et al, 1983) (Stewart & Steiner, 1990).

Även vid regnmängder som statistiskt uppträder endast 25 procent av åren kommer skörden att minska betydligt om lagrat markvatten saknas (fig 10).



**Figur 10.** Förväntad durraskörd i semi-arid zon (Texas) för olika regnmängder och olika mängder lagrat markvatten (Stewart & Steiner, 1990).

Bunting och Kassam har undersökt orsaker till skillnader i skörd under olika år med ungefär samma årsnederbörd i Nigeria. Under år där regnmängden är låg eller uteblir vid starten av växtsäsongen, kommer skörden att sjunka kraftigt, eller i värsta fall slå helt fel (Bunting & Kassam, 1988)



Papendick (Papendick et al, 1990) har gjort liknande studier av det lagrade markvattnets betydelse vid växtperiodens start. Genom att ta fram ett mått på trädans effektivitet (eng fallow efficiency), hur stor andel av P som finns lagrat i marken efter trädans, har Papendick påvisat avkastningens beroende av mängden lagrat markvatten (fig 11). Figuren tydliggör betydelsen av att ha växttillgängligt markvatten vid sådd (Papendick et al, 1990).

**Figur 11.** Relationen mellan trädans effektivitet (*fallow efficiency*), angett i procent och veteskörd för två nederbördsnivåer. Värdet *m* (kg/ha / %) anger skördeökningen för varje procent ökad regnmängd som lagras i marken och blir växttillgänglig (Papendick et al, 1990).

Inställningen till träd växer starkt. Njihia refererar försök i Kenya som visar att evaporationsförluster från trädor räcker för att försörja en gröda. Det skulle därför vara effektivare att odla på trädan (Njihia, 1988).

Ett allvarligt problem i flera "torra" regioner är att jordarna har en så grov textur att vattenlagringsförmågan är mycket låg (Dregne, 1976; Eswaran 1987; Cook & Ellis, 1987). Dominerande jordmåner i semi-arida regioner har en lagringsförmåga av växttillgängligt vatten i rotzonen som understiger 100 mm (Krantz 1981). En generell indikation på vattenhållande förmåga hos jordar med olika textur är att jordmåner med fin textur (leriga) kan lagra ca 200 mm/m (m=meter markprofil), medeltextur ca 140 mm/m och jordar med grov textur ca 60 mm/m (FAO, 1981a).

ICRISAT definierar växtsäsongens längd efter antalet humida månader (Bilaga II). Växtsäsongen definieras här efter det antal dagar  $P > PET$ , d.v.s. endast de dagar som FAO betecknar som humida. För ett och samma område blir därför den potentiella växtsäsongslängden kortare enligt ICRISAT:s indelning, jämfört med FAO:s indelning.

Försök görs även att definiera växtsäsongens längd efter markens vattenhållningsförmåga. Venkateswarlu refererar försök av Virmani (1978) från det semi-arida Hyperabad i Indien, som beroende på sannolikhet för P och texturen på jorden får växtsäsongslängder som varierar mellan 15 och 23 veckor (Venkateswarlu, 1987) (tab 3).

**Tabell 3.** Växtsäsongens längd i jordar med olika vattenhållande förmåga vid olika sannolika regnmängder

	Lagringskapacitet av växttillgängligt vatten i jordar med olika vattenhållande förmåga		
	Låg (50 mm)	Medium (150 mm)	Hög (300 mm)
Nederbörd	<i>veckor</i> <sup>2</sup>	<i>veckor</i> <sup>2</sup>	<i>veckor</i> <sup>2</sup>
medel P	18	22	26
75% <sup>1</sup>	15	19	23
25% <sup>1</sup>	20	24	30

Källa: Venkateswarlu, 1987 efter Virmani (1978)

<sup>1</sup>Lagringskapacitet beräknat på den regnmängd som faller med 75 % resp. 25 % sannolikhet (d.v.s. den sannolika regnmängden 3 år av 4 resp. 1 år av 4).

<sup>2</sup>Anger växtsäsongens längd i veckor.

Områden med samma regnmängder får därmed olika växtsäsongslängder, vilket även får effekt på val av odlingsystem. Grova jordar och problemjordar får kortare odlingsäsong och kan endast uppbära en gröda under regnsäsongen, medan djupare jordar kan odla grödor under alternativt efter regnsäsongen.

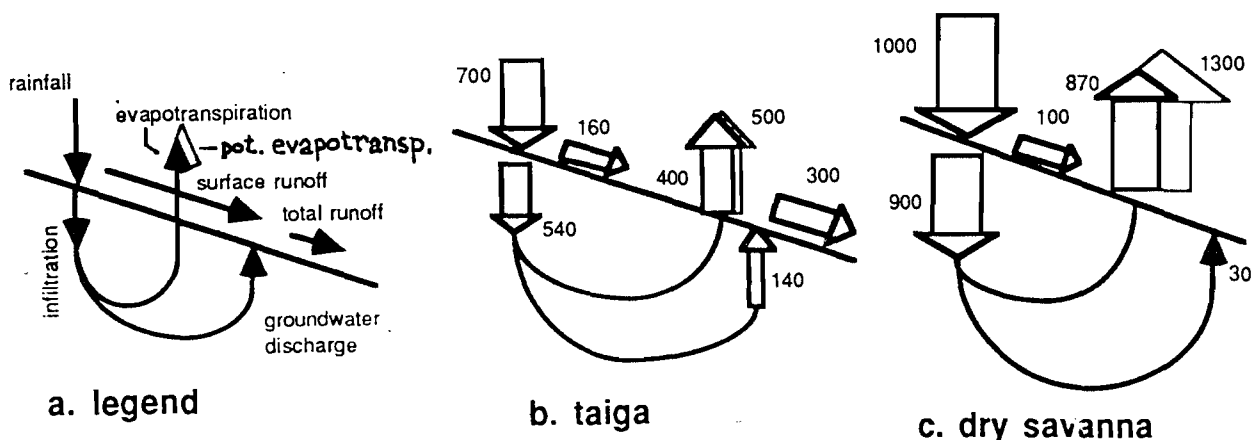
### 3.2. Regnets variation och flödesbanor

Här presenteras synen på vattnets flödesbanor i de "torra" regionernas regnförsörjda jordbruk. Regnets fördelning ovan och under mark avgör tillgången på vatten för produktion av biomassa. Frågan är hur stor vattentillgången är under en odlingssäsong och vilka vattenflöden som kan användas i jordbruksproduktionen.

#### 3.2.1. Regnets fördelning

Av världens totala vattentillgång utgör endast 2 procent sötvatten, som fördelar sig på grundvatten, vattendrag och markvatten (L'vovitch, 1979). Vattnet ingår i ett cirkulerande kretslopp mellan land, hav och atmosfär. Regn bildas när varm luft stiger, som får vattenånga att kondensera till regndroppar vid kontakt med kallare luft (Unesco, 1990). Genom att ingå i ett dynamiskt system som ofta kallas den hydrologiska cykeln intar vatten en central roll för andra ämnens kretslopp i naturen.

Regn som når marken fördelas på ytavrinning eller infiltration. Det infiltrerade vattnet får antingen en kort flödesbana tillbaka till atmosfären genom att bilda ET, eller en lång flödesbana i form av grundvattenbildning som eventuellt når något vattendrag (fig 12). Regnvatten som inte når marken utan bildar interception på växters bladytor, återförs till atmosfären i form av E. I figuren framgår de stora återflöden av vatten till atmosfären som förekommer "torra" regioner.



**Figur 12.** Principskiss över vattnets långa och korta flödesbanor i den hydrologiska cykeln. Delfigur b och c anger genomsnittlig fördelning av vatten (i millimeter) för taiga (temperad klimatzon i norra barrskogsbältet) respektive torr savann (semi-arid klimatzon). Återflödespil med fet stil anger evapotranspiration, den med tunnare stil potentiell evaporation (efter Falkenmark & Chapman, 1989)

Det finns ett brett spektrum av synsätt på det hydrologiska kretsloppet, med allt ifrån vattenbalanser som utgår från förändringar i markvattenflöde som funktion av P, till enkla förhållanden mellan P och PET tillämpade på försöksrutor. Den minst detaljerade utgångspunkten för bedömning av vattentillgången utgår från den globala vattenbalansen (tab 4). Här beskrivs genomsnittliga relationer mellan nederbörd, evaporation och

avrinning för olika kontinenter. Denna bild ger inte en korrekt uppfattning av den oerhörda variation som råder när det gäller det tillgängliga vattnet, både vad gäller tid och rum (Biswas, 1978).

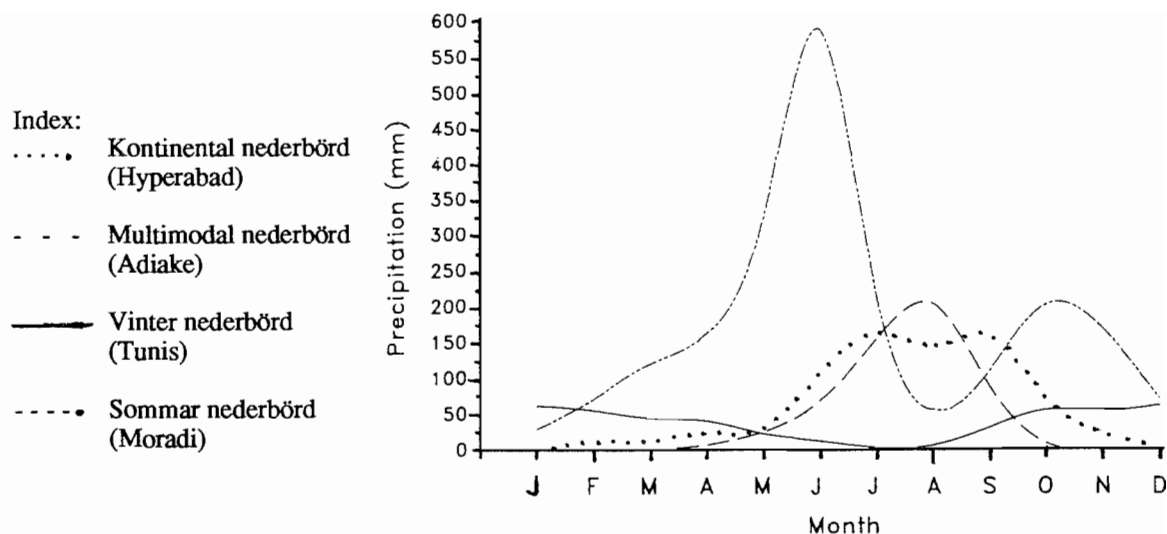
**Tabell 4.** Den globala vattenbalansen

Regioner	Vattenbalans för världen Volym (1000 km <sup>3</sup> )		
	Nederbörd	Evaporation	Avrinning
Afrika	20,7	17,3	3,4
Asien	30,7	18,5	12,2
Australien	7,1	4,7	2,4
Europa	6,6	3,8	2,8
Nordamerika	15,6	9,7	5,9
Latinamerika	28,0	16,9	11,1
Antarktis	2,4	0,4	2,0
Total från marken	111	71	40
Hav	385	425	40
Total världen	496	496	0

Källa: Biswas, 1978

Mängden regn som faller på en region utgör inte en fast storhet på lång sikt. Expansionen av arida regioner inträffade under en period av relativ torra några tusen år sedan. Eftersom mängden vattenånga, i form av ET, som återförs till atmosfären styr storleken på P, kommer markanvändningen att påverka regnmönstret. Mängden vattenånga kan minska som ett resultat av minskad ET vid exempelvis skogsskövling. I regnskog utgör ET ca 70 procent av P. Försök visar att skog återför 10 ggr mera vatten till atmosfären jämfört med bar mark och dubbelt så mycket som grästäckt mark. Orsaken är framförallt effektivare ET från ojämna ytor med vegetation som samtidigt kan utnyttja en stor andel av markvattenförrådet. Studier visar att under torråren 1981-1983 i Sahel-regionen var de humida luftmassorna från regnskogsområden vid ekvatorn lägre än normalt. Luftmassor som normalt är en källa till P (Unesco, 1990). Bodyko (Bodyko, 1982) konstaterar att drygt 12 procent av P härstammar från "lokal ET", d.v.s. genom konvektiv transport av vattenånga.

Det finns inte ett generellt mönster för hur regnet faller i världens "torra" regioner. Istället kan fyra olika mönster urskiljas som i sig skapar olika förutsättningar för jordbruksproduktion; vinter-, sommar-, kontinental-, och multimodalt- regn (fig 13) (Hatfield, 1990 efter Dregne, 1982).



**Figur 13.** Dominerande mönster för regnfördelning i världens semi-arida områden (Hatfield 1990 efter Dregne, 1982).

Skillnader i faktiska regnförhållanden varierar starkt mellan "torra" regioner som tillsynes har samma P. ICRISAT har jämfört semi-arida områden i Indien och Västafrika präglade av kort regnperiod, intensiva regn, med mellanperiod av oförutsedd torka och stor variation i P under den våta perioden (vanligt klimat i semi-arida regioner). Trots dessa likheter är skillnaderna i odlingsbetingelser stora. I Indien är regnperioden längre (samma P men olika mönster) och PET-kurvan är unimodal jämfört med Västafrika där den är bimodal (Bilaga III). Jordarna var likartade, vertisoler och alfisolers, men skillnaderna lokalt var stora i form av ytskorpa m.m., vilket påverkade regnets fördelning mellan avrinning och infiltration (FAO, 1988b).

### 3.2.2. Vattenbalans och vattenflöden

Utifrån den generella vattenbalansen ( $P + \text{Irri} = ET + R + D + S$ ) identifierar Krantz (Krantz, 1981) "verkliga vattenförluster" och "tillgängliga vattenförluster" för arida områden. Verkliga vattenförluster består av E och T, flöden till oceaner och flöden till grundvattenakviferer med hög salthalt (delar av dräneringen, D). Dessa kan inte användas i jordbruksproduktionen. Ytavrinning (R), grundvattenflöde (delar av D) och förändringar i markvattenmagasinet (S), utgör den tillgängliga vattentillgången. Liknande uppdelning görs av Bouwer (Bouwer, 1988).

Fördelningen mellan infiltration, ytavrinning och direkt evaporation dels från marken och dels i form av interception är av central betydelse för att kunna bedöma tillgången på vatten. Därefter är det viktigt att bedöma andelen infiltrerat vatten som går den korta banan och bildar ET, vilken del som dränerar till grundvattnet och sedermera till vattendrag, och vilken del som bildar markvattenmagasin.

Infiltrationens storlek styrs av jordmånen, markens initiala vätning, regnets intensitet och volym, topografin, mängden odlad gröda och växtrester på markytan, samt markytans beskaffenhet. Mätning av infiltration blir därför ett svårt företag. Den kombinerade effekten av de processer som styr infiltrationen är enligt Flitcroft inte tillräckligt förstådd (Flitcroft et al,

1991). Denna uppfattning förstärks av de ofta svårfångade faktorerna som styr vattnets närvaro och fördelning i vattenbalansen. Vattnets tillgänglighet är en funktion av P, ytavrinning, lagrat markvatten, dränering och atmosfärens evaporativa krav, den sista en funktion av solstrålning, temperatur, relativa luftfuktigheten och vinden (Rijks, 1986).

Det interceperade vattnets roll, omfattning och betydelse förs sällan fram och ingår därför inte i beräkningar av vattenbalansen (jämför exempelvis FAO:s kartläggning av agro-klimatologiska zoner som utgår från relationen mellan P och PET). Evaporationsförluster från interceperat vatten ökar proportionellt med den odlade grödans bladyta. Försök i veteodling visar att 40 procent av P under en försöksperiod bildade interceptionsvatten som förlorades i form av E. Speciellt från ojämna ytor kan detta ske med en intensitet som är flera gånger högre än evaporationen från en fri vattenyta (Jackson, 1989).

Utveckling av bärkraftig jordbruksproduktion i en semi-arid zon som Sudano-Sahel regionen i Afrika förutsätter systematiska studier av markens vattenbalans. Att förstå olika komponenter i vattnets flödesbanor i marken och vilket inflytande dessa har på växters tillväxt är en förutsättning för att uppnå högre vatteneffektivitet (WUE, se kapitel Växtens vattenbehov) och för att hantera vattenresurser på ett sätt som ger bästa möjliga resultat i växtodlingen (Sivakumar & Wallace, 1991).

I litteraturen läggs ofta tonvikten på olika flöden i vattenbalansen. Målet för jordbruksproduktionen är ofta klar. Det primära är att maximera infiltrationen och minimera förluster i form av ytavrinning. Därefter gäller det att undvika E och eventuellt dränering, till förmån för T som är en förutsättning för växtproduktion. Vid beräkning av dessa flöden i vattenbalanser ses åkern eller den studerade landytan generellt som ett isolerat studieobjekt, en parcell. Inflöde och utflöde av grundvatten antas då vara försumbart. Generellt blir det därför svårt att genomskåda underlagen för bedömning av tillgång/förändring av grundvattenbildning och tillgänglig ytavrinning, eftersom flöden från exempelvis avrinningsområdet som helhet eller näraliggande vattendrag, sällan tas med i beräkningarna. För semi-arida och arida områden gör L'vovitch antagandet att den låga nettotillgången på infiltrerat vatten inte ger utrymme för någon grundvattenbildning alls (L'vovitch, 1979).

Transpirationen delas av vissa författare upp i en inproduktiv förlust via ogräs ( $T_w$ ) och ett produktivt flöde via den aktuella grödan (Lal, 1991).

Försök finns att utgå från förändring i markvatteninnehåll vid beräkning av vattenbalanser i semi-arida områden. Med utgångspunkt från följande vattenbalans utvärderar Hoogmoed m.fl. (Hoogmoed et al, 1991) möjligheter att beräkna markvattenförändringar ( $dS$ ) i Sudano-Sahel området i Afrika:

$$dS = P + Irr + G + R_{on} + ET - D - R_{off} \quad [3]$$

Irr anger eventuell bevattning,  $R_{on}/R_{off}$  utgör inflöde respektive utflöde av ytavrinning, G kapillärt markvattenflöde till markytan, och D dränering. Studierna görs på hela avrinningsområden. Eftersom  $R_{on}/R_{off}$  avgörs av ett dynamiskt förhållande mellan infiltrationskapacitet, markytans lagrings-



kapacitet och regnets egenskaper, är de svåra att beräkna (faktorerna är beroende av varandra; ökar regnets intensitet förändras markytans infiltrationskapacitet beroende på jordmånens textur) (Hoogmoed et al, 1991).

Liknande försök att skapa en modell ur vattenbalansen för beräkning av markvattenförändring (dS) har gjorts av Konijn (Konijn, 1988). Ytavrinning beräknas, förutom på basis av regndata, även med hänsyn till markens vattenhållningsförmåga (*recharge capacity*), interceptionen och markytans pölbildning. Vattenhållningsförmågan fås genom jordmånsdata över porositet och markvatteninnehåll (ur bindningskurvor, Bilaga III). Modellen tar därmed sikte på att beräkna fördelningen mellan ytavrinning och infiltration utifrån avrinningsområdets aktuella relation mellan regn och markkaraktäristiska.

Matematiska modeller har utarbetats som med olika detaljeringsgrad beskriver markens vattenhushållning utifrån markprofilens fysikaliska egenskaper, växternas rotutveckling och rådande klimatförhållanden (se exempelvis Janson, 1987).

FAO använder genomgående generella formler för beräkning av regnets fördelning. Förhållandet mellan P och PET som underlag för LGP har redan beskrivits. Vid beräkning av bevattningspotentialen i Afrika, antas den potentiella tillgången på vatten för bevattning vara 50 procent av den totala avrinningen, definierad som differensen mellan P och PET (FAO, 1987). Detaljgraden i dessa beräkningsmetoder är låg jämfört med vattenbalansmodeller som utgår från markens fysikaliska egenskaper för beräkning av ändringar i markvattenflöden. Det blir därför svårt att ta ställning till i hur hög grad metoderna speglar den reella tillgången på vatten.

Liknande svårigheter uppstår vid försök att bedöma tillgången på förnybart grundvatten, d.v.s. det årliga inflöde av dräneringsvatten som skulle kunna användas i jordbruksproduktionen. FAO/FN gör exempelvis bedömningen att det semi-arida till arida landet Mali, i Afrikas Sahelområde, årligen skulle ha tillgång till 55 miljarder m<sup>3</sup> förnybart grundvatten. Av detta görs bedömningen att endast 100 miljoner m<sup>3</sup> används idag, vilket öppnar stora expansionsmöjligheter för bevattning (FAO/UN, 1990). På liknande sätt grundas antaganden om Afrikas framtida bevattningspotential. Exemplet Mali är märkvärdigt eftersom landet enligt Bodyko har ariditetsindex 2 - 3, d.v.s. den potentiella evapotranspirationen är 2-3 ggr större än P, vilket ger ett genomsnittligt underskott på vatten (Bodyko, 1982). Som bekant antar L'vovitch att D, i detta fall källan till vattentillgången, är försumbar i dessa klimatzoner. En möjlig förklaring är att grundvattentillgången består av exogent vatten som tillförts från intilliggande avrinningsområden.

### **3.2.3. Brist på regn i relation till Evaporation**

Globalt faller i genomsnitt en meter nederbörd per år, eller 200 mm över marken. I "torra" regioner faller 200 - 1000 mm regn varje år. Den årliga genomsnittliga regnmängden borde tillsynes kunna räcka för en, och i många fall två goda skördar per odlingsssäsong. Men så är inte fallet. Problemet i världens semi-arida och arida områden är inte den genomsnittliga regnmängden utan regnets otillförlitlighet och dess kraftiga intensitet, samt

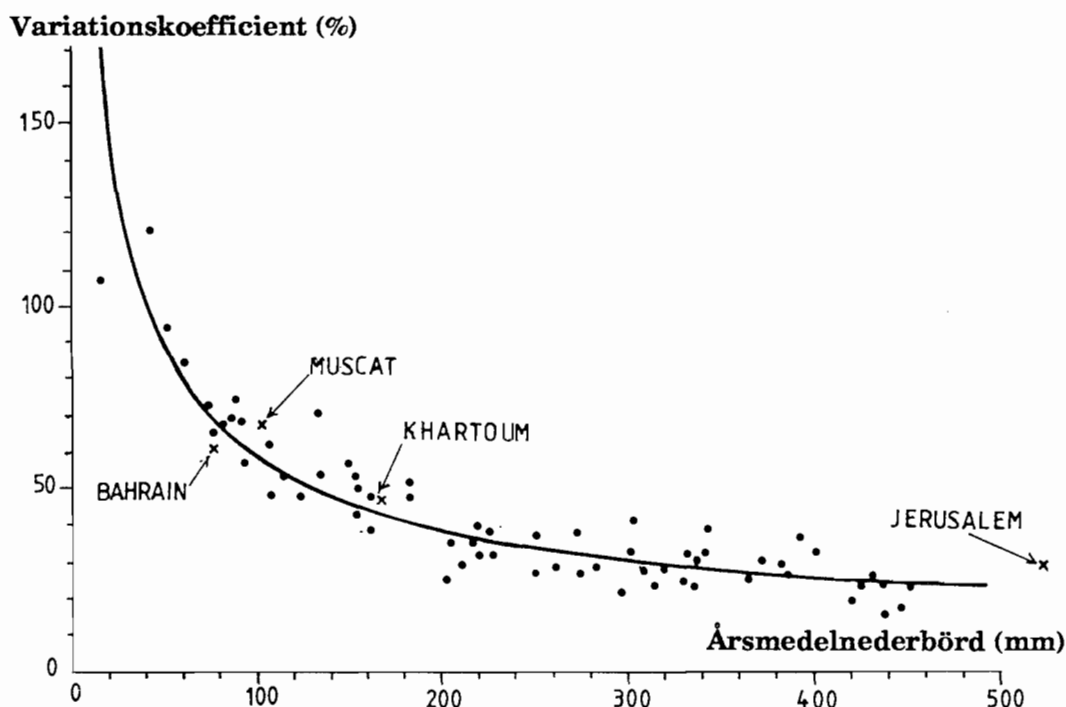
de stora vattenförlusterna, framförallt i form av E (Krantz, 1981; Monteith, 1991).

I inledningen refererades att 50 - 70 procent av den årliga nederbörden förloras till atmosfären som E i flera semi-arida regioner (Jalota & Prihar, 1990). Från mark i hirsfälta i Sudano-Sahel regionen uppgår E under en hel växtsäsong till 35 - 45 procent av P, med ökande andel ju mindre P blir (Wallace, 1991). Den årliga regnmängden i semi-arida tropiker ligger i intervallet 500 - 1200 mm (annan indelningsgrund än ovan), samtidigt som  $PET = 1200 - 2000$  mm, vilket beskriver klimatets potentiella krav på återflöde av vatten till atmosfären (Kanemasu, 1990).

Förutom att vara mycket högt i "torra" regioner, varierar atmosfärens evaporativa krav under ett och samma år. Det normala är att PET når sitt högsta värde innan regnsäsongen. Evaporationskravet och det osäkra regnet leder till långa perioder av vattenunderskott. Det är endast under regnsäsongen då  $P > PET$  som inflöde till markvattenmagasinet kan ske (2-4,5 månader) (Kanemasu et al, 1990).

### 3.2.4. Interannuella fluktuationer

Regnet i "torra" regioner är otillförlitligt och karaktäriseras av stora variationer i volym, intensitet och frekvens. Det generella mönstret är att regnen är korta och mycket intensiva. I semi-arida regioner är den relativa avvikelser från den årliga medelnederbörden, korrelationskoefficienten (CV, se Bilaga III) minst 25 procent och ökar kraftigt vid minskad regnmängd (fig 14) (FAO, 1987).

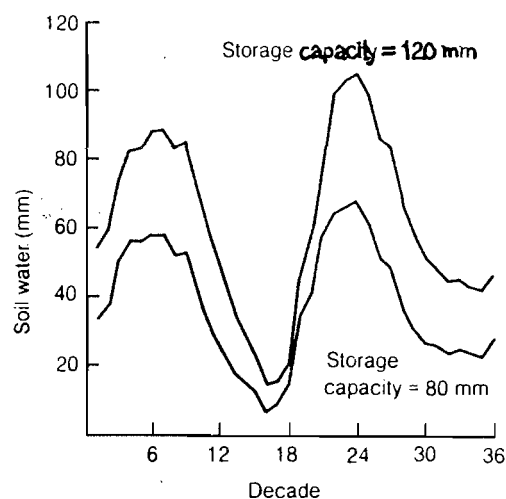


**Figur 14.** Den relativa avvikelser i årlig nederbörd (CV) som funktion av den årliga medelnederbörden. Data från Västasien och Nordafrika (FAO, 1988b efter FAO, 1981b).

I tempererade områden ligger nederbörden 19 av 20 år inom 75-125 procent av medelvärdet. I semi-arida områden med en årlig medelnederbörd på 200-300 mm, kommer regnet att avvika 40-200 procent från medelvärdet under 19 av 20 år (FAO, 1981b). Den faktiska regnmängden ligger oftare under än över den årliga medelnederbörden. I det arida Karachi, Pakistan, hamnar regnmängden 2 år av 3 under årsmedelvärdet (Dregne, 1976). Begreppet "medelnederbörd" kan därför visa sig vara mycket vilseledande vid planering av jordbruksproduktion (Morales, 1977). Avvikelser från medelnederbörd är så vanliga i "torra" regioner att de bör betraktas som normala inslag i det klimatologiska mönstret (Gustafsson, 1977; Morales, 1977).

Regnet varierar även mycket kraftigt under ett och samma år, geografiskt och inom ett avrinningsområde. Variationen i månadsnederbörd är så stor att Jackson t.o.m. anser att dessa värden är för oprecisa och i det närmaste suspekta som grund för bedömning av växstsäsongens längd. Regnmängderna följer inte kalendermånader och variationerna dag för dag är stora och kritiska för odlingsresultatet. Ju större regnets interannuella fluktuation blir, desto mindre användning har man av "medelvärden" i jordbruksproduktionen (Jackson, 1989). Förekomsten av "medelvärden" är enligt Rijks mycket sällsynt. För planering av odlingsystem och dagligt jordbruksarbete är frekvensfördelning av klimatdata mycket viktigare (Rijks, 1986).

Fem-dagarsperioder, s.k. *pentades*, är en metod som används för beräkning av regnmängder och som ger en mera rättvisande bild av växstsäsongen (Jackson, 1989). Robertson har analyserat markvatteninnehåll under tiodagarsperioder, s.k. *decades*, i semi-arida regioner i Pakistan. För två jordar med vattenhållningsförmåga på 120 respektive 80 mm får han stora variationer under växstsäsongen (fig 15) (Robertson, 1988).



**Figur 15.** Fluktuation i markvatten under ett år mätt i tio-dagarsperioder. Den övre kurvan är från en jord med vattenhållningsförmåga på 120 mm/m (m = meter markprofil), den undre på 80 mm/m (Robertson, 1988).

Jackson refererar en metod av Virmani (1975) där växstsäsongen byggs upp av de antal veckor där det P som faller med 70 procent sannolikhet överstiger 10 mm/vecka och där P vid sådd överstiger 20 mm under minst 2 dagar under så-veckan (Jackson, 1989).

P varierar kraftigt inom en och samma region, vilket har stor inverkan på jordbruksproduktionen (Jackson, 1989). I samband med försök i Niger 1985/86 har Flitcroft visat att P varierade med en faktor 2,1 inom ett område på 10 x 10 km. Variationen under kortare perioder var större. Hans slutsats är att den lokala topografin spelar en avgörande roll för regnets fördelning mellan ytavrinning, markvattenlagring, evaporation och dränering. Att anse punktvärden på agrohydrologiska data som representativa över större områden är därför omöjligt (Flitcroft, 1990).

FAO:s beräkning av LGP är intressant ur detta perspektiv. Om årsmedelvärdet på P under ett antal dagar hamnar under  $0,5PET$  inom en LGP-period, subtraheras dessa bort från det totala antalet dagar. En LGP på exempelvis 210 dagar som enligt medelstatistiken har  $P < 0,5PET$  under dag 100 till 120, får en LGP på  $210 - 20 = 190$  dagar (FAO, 1978). Problemet är förstås att om växtsäsongen startar på förväntad dag 1 och 20-dagars perioden med allvarlig vattenbrist infrias, kommer grödan att lida av vattenstress.

### 3.2.5. Avrinningsområdet

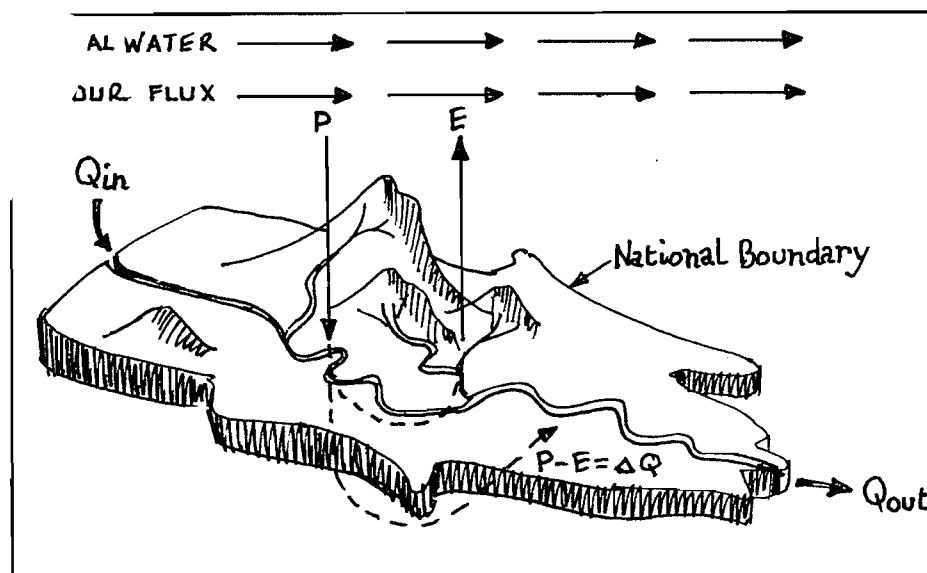
Avrinningsområdets betydelse, som källa till ytavrinning och grundvattenbildning för jordbruksproduktionen, är större i "torra"- än i humida regioner. För att få ett vattenutflöde ( $Q_{ut}$ ) på  $1000 \text{ m}^3/\text{dag}$  i en sandig jord i en humid zon med 50 procents grundvattenflöde ( $Q_{in}$ ) och 750 mm regn/år, krävs ett avrinningsområde på  $1 \text{ km}^2$ . För att få samma vattenflöde under samma hydrogeologiska betingelser i en arid klimatzon, med 75 mm regn/år och ett inflöde på max 5 procent, behövs ett avrinningsområde på  $100 \text{ km}^2$  (Schneider, 1982).

Ytavrinningens storlek, intensitet och tidpunkt för pik-flöden (eng *peakflow*, se Bilaga III) kommer därmed att styras, förutom av regnets mönster, även av avrinningsområdets storlek, topografi och markanvändningen. Beräkningar av ytavrinning kan därför inte ske enbart på partiell nivå, i parceller eller enskilda åkrar.

Tidsförskjutningen mellan ett regn och ytavrinningens pik-flöde ökar med avrinningsområdets storlek. Floder på stora avrinningsområden kan ofta vara ett resultat av flera regntillfällen. En förutsättning för floder är därför ofta att P måste överstiga medelnederbörden, så att basflödet mellan pik-flöden blir högre än "normal"-året. I små avrinningsområden däremot, med kortare tidsintervall mellan P och pik-flöde, bildas ofta floder under år med regnbrist (Jackson, 1989). Även grundvattenbildningen är direkt kopplat till avrinningsområdets storlek, topografi och ytbeskaffenhet. Ett större avrinningsområde ger ökad grundvattenbildning men också en fördröjning i tiden (Monteith, 1991).

För att beräkna vattentillgången inom en region är det praktiskt att skilja på "exogent" och "endogent" vatten. Endogent vatten tillförs inom ett visst område, t.ex. ett land eller ett avrinningsområde. Exogent vatten tillförs från ett annat område än det som studeras ( $Q_{in}$ ), men kan även utgöra vattenflöde från det aktuella området till "nedströms" placerade regioner ( $Q_{ut}$ ). Ur politiskt perspektiv bör betydelsen av begreppet endogent vatten utvidgas till att omfatta "vatten som användare inom ett avrinningsområde

har kontroll över", i motsats till exogent vatten som innebär vatten "användare saknar kontroll över". Vattentillgången i regnförsörjda områden styrs helt av mängden endogent vatten, medan bevattnat jordbruk ofta utnyttjar exogent vatten. Samhällets vattentillgång kommer att bestå av  $Q_{in}$  och det eventuella grundvattenflöde som bildas ( $\Delta Q$ ) (fig 16).



**Figur 16.** Princip för uppdelning i exogent,  $Q_{in}$ , och endogent,  $\Delta Q$ , vatten. Samhällets tillgängliga vattenmängd motsvarar  $Q_{in} + \Delta Q$  (efter Falkenmark, 1987).

### 3.2.6. Agrohydrologiska data

Beräkningar av växtsäsongens längd och försök att beräkna mängden växttillgängligt vatten förutsätter tillgång på agrohydrologiska data. Här ingår meteorologiska data över  $P$  och  $PET$ , data för beräkningar av regnets fördelning i vattenbalanser och information om markegenskaper.

För att dra nytta av markens växttillgängliga vatten, som bland annat buffrar grödor mot de otillförlitliga regnen i "torra" odlingsområden, krävs en integration mellan klimatdata och markkaraktäristiska, och applikation av hydrologiska teorier på representativa jordmåner (Stewart & Steiner, 1990). Markfysikaliska data utövar en dominerande styrning av vattenbalansens fördelning, växtproduktionen, och vattneffektiviteten ( $WUE$ ) i regioner som drabbas av torkstress. Viktiga markegenskaper är infiltrationskapacitet, mängden växttillgängligt vatten ur bindningskurvor och mättad respektive omättad hydraulisk konduktivitet (Bilaga III). Trots de allvarliga följderna av återkommande torra, och försummelse och utarmning av markresurser, råder det en märkbar brist på tillförlitliga data, och fysikaliska och hydrologiska karaktäristiska över de dominerande jordmånerna i Sudano-Sahel området i Afrika (Lal, 1991; Sivakumar & Wallace, 1991).

Eswaran menar att den fundamentala begränsningen som gjort att internationella forskningscentra misslyckats i försöken att utveckla Afrikas jordbruk är bristen på kunskap om Afrikas jordar och deras utbredning. Endast i få regioner i Afrika grundas jordmånsdata på systematiska studier (Eswaran, 1987).

Bristen på agroklimatologiska data är enligt Rijks en viktig orsak till att det råder ett stort gap mellan den faktiska och den potentiella jordbruksproduktionen i det regnförsörjda jordbruket. Bristen på data innebär att odlingsåtgärder inte blir effektiva, det vill säga fel åtgärd vidtas vid fel tidpunkt, alternativt vidtas inte alls. "Timing" av odlingsåtgärder är viktigare i semi-arida områden än någon annanstans eftersom odlings-säsongen är så kort och regnen varierar kraftigt (Rijks, 1986). Biswas och Thanh lyfter fram behovet av hydrologiska-, meteorologiska-, geologiska- och markanvändningsdata för planering av jordbruk i utvecklingsländerna, men konstaterar samtidigt att det saknas data och att de sällan är tillförlitliga (Thanh & Biswas, 1990).

Även FAO som grundar sina studier på *Soil map of the World* och de agrohydrologiska data som finns, konstaterar ofta i sina metodavsnitt att tillgången på information och data är begränsad. I studien *World agriculture towards 2000* konstaterar man att det är förvånansvärt att så många länder, vars framtida utveckling kommer att bero huvudsakligen på jordbruksproduktion, inte har tagit det viktiga steget att genomföra en grundlig inventering av tillgången på naturresurser och en klassificering av agroklimatologiska zoner med olika produktionspotential (FAO, 1988a).

### 3.3. När vattnet roten?

Bristen på regn i förhållande till återflödet av vatten till atmosfären är som tidigare sagts en grundläggande begränsning i de "torra" regionernas jordbruk. Utgår man ifrån att nettotillgången på vatten (P-PET) är en given och fast storhet, måste jordbruksproduktionens problem härstamma från andra faktorer. För att undersöka detta görs en granskning av synen på relationen mellan mark, vatten och växt, och vilken betydelse processer som styr markvattenflöden har för jordbruksproduktionen i "torra" regioner.

Det är till sist mängden växttillgängligt vatten i rotzonen som avgör odlingsresultatet. Detta innebär att brist på infiltration och låg vattenhållningsförmåga i jorden är viktiga faktorer som kan styra in vattnet på andra flödesbanor än de som leder till rothåren.

Vattenrelaterade problem i jordbruket är inte begränsade enbart till regnmängder utan det finns en "månghövdad Hydra" av faktorer som växer fram ur hanteringen av markvattenmagasinet. Forskning kring Afrikas semi-arida områden indikerar att P per ytenhet inte nödvändigtvis är den yttersta begränsningsfaktorn i jordbruksproduktionen, utan snarare andelen av P som tränger ned i markvattenmagasinet och dessutom blir tillgängligt för den odlade grödan (Sivakumar & Wallace 1991).

Det är i denna zon av ekosystemet som blickpunkten skall fästas för att (1) bedöma vilka begränsningar/möjligheter till biomassaproduktion som finns och (2) utveckla effektiva odlingsmetoder. Mängden växttillgängligt vatten i rotzonen avgörs av en rad faktorer i mark-, växt-, och klimatsystemet, och är därmed ett resultat av ett samspel mellan meteorologi, markvetenskap och hydrologi.

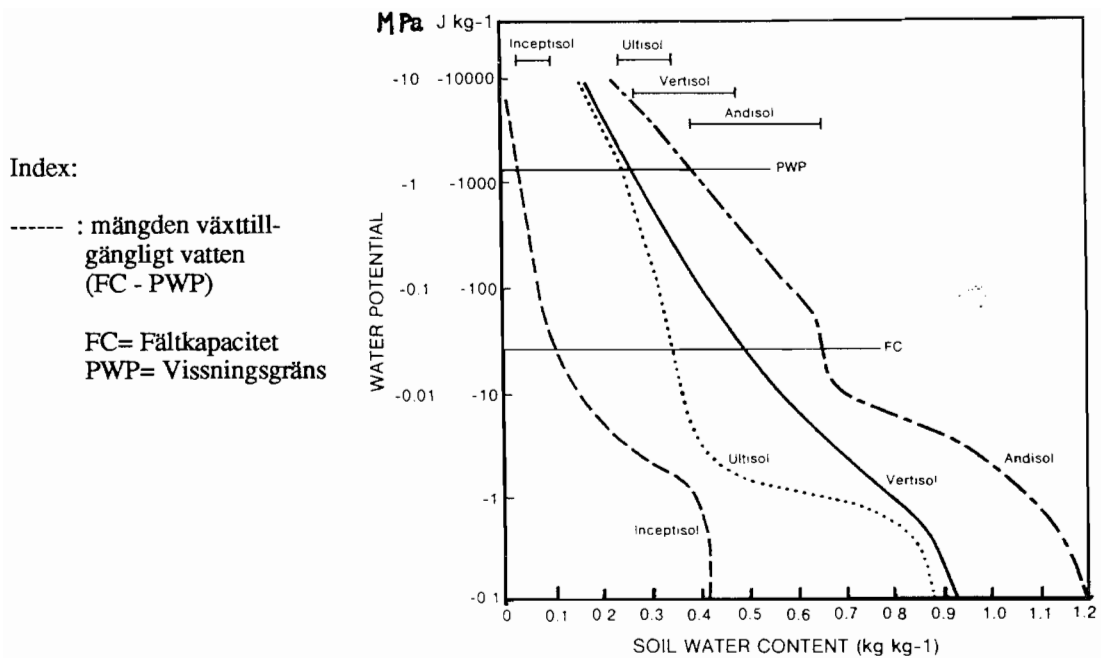
### 3.3.1. Markvattenflöden

Att öka infiltrationen och därmed minimera ytavrinningen utgör grundstommen i de "torra" regionernas jordbruk. Infiltrationen fyller på magasinet av växttillgängligt vatten, ökar grundvattenbildningen och minskar ytavrinningen och därmed erosionen. Markens permeabilitet styr hur stor andel av P som tränger ned igenom markytan och markens egenskaper avgör hur fort detta sker och vilken volym vatten som når rotzonen. I "torra" regioner, med små regnmängder under kort period av året, är markens vattenhållningsförmåga en mycket viktig faktor (Krantz, 1981; Parr, 1990).

Vatten hålls kvar i marken på tre olika sätt; (1) vatten bundet som vattenfilmer runt markpartiklar genom adsorption, (2) kapillärt bundet vatten i kapillära markporer, och (3) vatten i form av vattenånga. Hur stor del av (1) och (2) som är tillgänglig för växten avgörs av vattenhalten och den hydrauliska potentialen ( $\psi_h$ ) i marken. Kunskap måste finnas om de olika formerna av markvatten och deras relation till olika marktyper för att kunna utvärdera effekter av olika vattenkontrollerande åtgärder som dränering, jordbearbetning, marktäckning och bevattning (Cook & Ellis, 1987). Detta innebär att kunskap måste finnas både om processerna som styr vattnets rörelser och hur dessa processer förändras i olika jordmåner.

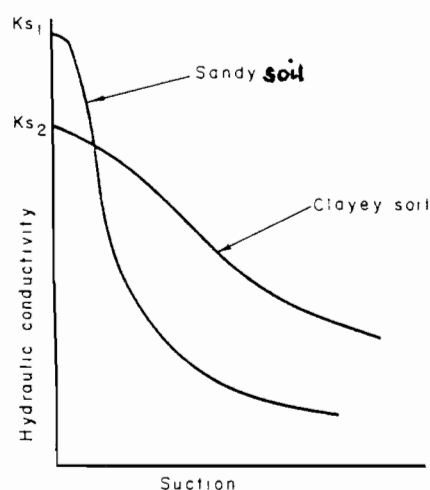
En jordmån består av ett modermaterial som under kortare eller längre tid utsatts för olika jordmånsbildande processer. Dessa innefattar utsträckta geologiska vittringsprocesser och påverkan av flora och fauna, som resulterar i jordar med en viss partikelsammansättning (textur) och en viss struktur (Birkeland, 1984). Markens textur och innehåll av organiskt material är viktiga faktorer bakom jordens aggregatbildning och strukturstabilitet, och därmed dess vattenhållande förmåga.

Bindningskurvorna i figur 17 illustrerar mängden växttillgängligt markvatten i jordmåner vid olika potentialförhållanden. Vid fältkapacitet (Bilaga III) innehåller en lerig vertisol drygt 50 procent växttillgängligt vatten, medan en sandig inceptisol endast innehåller drygt 10 procent. Denna markanta skillnad i förmåga att lagra markvatten som kan tas upp av växtrötter har mycket stor betydelse i vattenbegränsade områden (Jackson, 1989).



**Figur 17.** Relationer mellan vattenpotential ( $\psi_h$ ) och vatteninnehåll i markprofilens ytskikt hos sandig inceptisol, ultisol, lerig vertisol och andisol. Klassificering enligt Soil Taxonomy (Jackson, 1989).

Att mäta markvatteninnehållet är svårt, framförallt beroende på skillnader i olika markskikt och horisontella variationer (Jackson, 1989). Vattenflödet i marken styrs förutom av rådande vattenhalt av jordens omättade konduktivitet, d.v.s. mängden vattenfyllda porer med olika porradie (Bilaga III). Vattenflödet sjunker snabbt vid övergång från mättade till omättade förhållanden. Det totala vattenflödet avgörs således av markens tryckförhållanden ( $\psi_h$ ) och markens hydrauliska konduktivitet. Båda dessa faktorer styrs av jordmånen, dess hantering och rådande regnförhållanden. Konduktiviteten varierar mellan olika jordmåner, men generellt gäller att lerrika jordar har låg mättad och hög omättad konduktivitet, medan det motsatta gäller för sandjordar (fig 18).



**Figur 18.** Förhållandet mellan konduktivitet ( $K_{s1}$ : sandjord,  $K_{s2}$ : lerig jord) och tension ( $\psi_h$ , engelskans suction) i jordar med olika textur (sand och lera) (Hillel 1980b).



Dessa förhållanden har stor betydelse i områden med regnbrist. Med sin höga mättade konduktivitet har sandjordar en hög infiltrationshastighet vid intensiva regn. Samtidigt innebär sandens låga omättade konduktivitet att evaporationsförluster kan undvikas vid torra eftersom upptransport av vatten till markytan hålls tillbaka. Leran däremot har lägre infiltrationskapacitet vid mättade förhållande, samtidigt som en relativt sätt större andel vatten kan gå förlorat som kapillärt transporterad evaporationsförlust vid torra, d.v.s. omättade förhållanden. Detta är ett allvarligt problem i de "torra" regionernas jordbruk. Leror försörjer i högre grad atmosfären med evaporationsvatten under torra förhållanden jämfört med sandjordar (Hillel, 1980a).

Det är förhållandevis lätt att finna markhydrologiskt inriktad litteratur som lyfter fram betydelsen av de processer som styr markvattnets rörelser och lagring för grödornas tillväxtpöjligheter. Madaukor klargör detta mycket tydligt i en uppsats publicerad av IAHS, International Association of Hydrological Sciences, där han bland annat konstaterar att "markvatten är antagligen den viktigaste avkastningsbegränsande faktorn i Sudano-Sahel området" (Madaukor 1991).

Den känsliga situationen i "torra" regioner, orsakad av korta regnperioder följt av dominerande torra, förvärras enligt Madaukor av den stora koncentrationen av jordmåner med låg vattenhållande förmåga.

Jordar med grov textur har för låg vattenhållande förmåga och för svag näringsstatus för att uppnå toppskördar (Owonubi et al, 1991).

Slutsatsen av ovanstående är att aktuell jordmån i samspel med rådande klimatförhållanden och odlingssystem, styr rotzonens vattenbalans och kommer därmed att ha ett stort inflytande på odlingsresultatet.

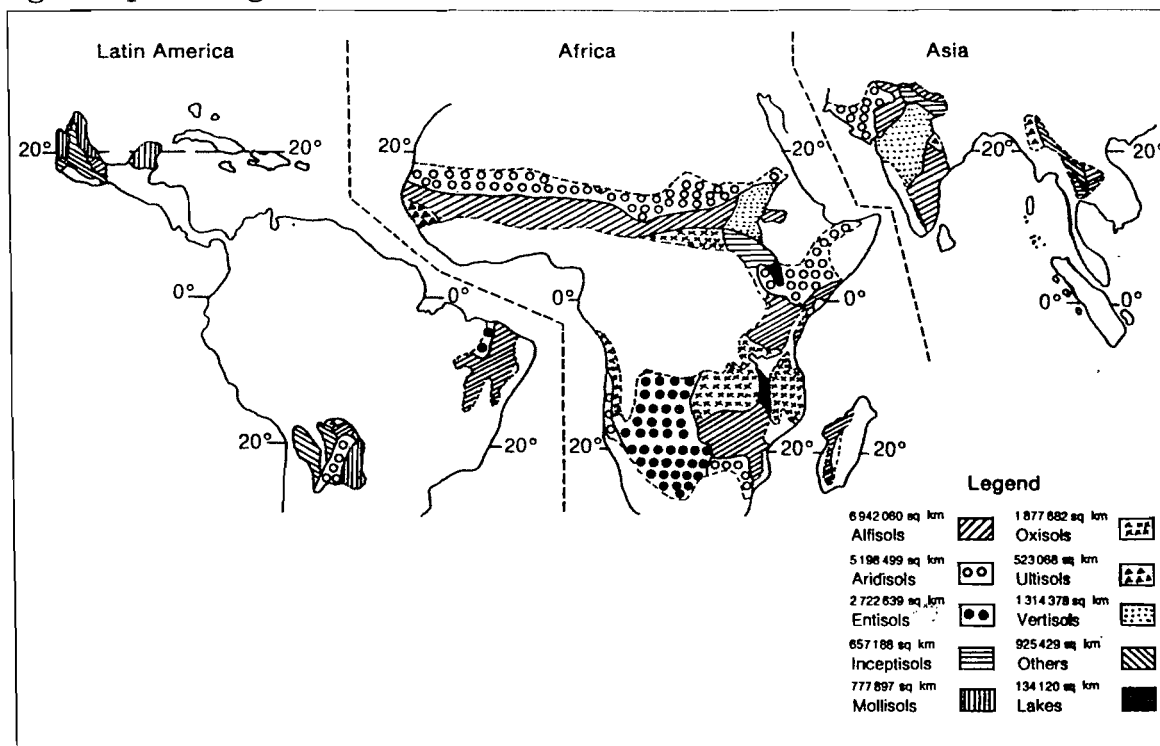
Korrekt information om markytans vattenbalans är avgörande för att förstå variationer i avkastning, vattentillgång och klimat i semi-arida och arida regioner (Wallace, 1991). För att kunna utveckla jordbruksproduktionen i "torra" regioner måste därmed jordmånerna och deras fysikaliska och kemiska egenskaper sättas i fokus.

### **3.3.2. Jordmånsanpassad odling**

Alfisoler och vertisoler är de två dominerande jordmåner i semi-arida områden. Dessa är klassificerade efter det amerikanska systemet "Soil Taxonomy". Alfisoler är en bred huvudgrupp, s.k. *soil order*, och den vanligaste undergruppen i "torra" regioner är ustalfs. Ustalfs är de mera vittrade alfisolerna och kallas ofta för "röda jordar" p.g.a. järnanrikningar. I FAO:s klassificeringssystem ingår de "torra" regionernas alfisoler bland luvisoler (ferric), lxisolter, nitisolter och arenosolter (luvic). Vertisolerna har samma beteckning i båda system (Kanwar, 1985; FAO-Unesco, 1989; USDA, 1988). Kanwar påpekar att klassificeringen av alfisolter i "torra" regioner inte är tillräcklig för att göra en detaljerad kartläggning (Kanwar, 1985).

Det finns en stor spridning av olika jordmåner i "torra" regioner. Samtliga huvudgrupper i Soil Taxonomy finns representerade (FAO, 1987). Aridisolter dominerar i arida regioner, oxisolter och ultisolter i de humida tropikerna.

Entisoler, med stark koncentration i Afrika utgörs av jordar med mycket grund profil (figur 19).



**Figur 19.** Jordmåner i semi-arida och torra sub-humida regioner (Kanwar, 1985).

Trots spridningen går det att identifiera grupper av jordmåner med likartade egenskaper. Den största gruppen utgörs av alfisoler (30 procent) och de nära relaterade jordmånerna aridisoler (ca 25 procent) och entisoler (ca 13 procent). Totalt omfattar således alfisoler och relaterade jordar ca 70 procent av jordarna i "torra" regioner (El-Swaify et al, 1983).

Alfisoler bildas i regioner med fluktuation mellan torra och fuktiga perioder under året. Jordarna, som har genomgått lång vittring, har en textur som generellt kan betecknas som sandig morän med leranriktning (Venkateswarlu, 1987). Klimatet gör att markprofilen normalt har ökad lerhalt i djupare markskikt, orsakat av lervandring i samband med fluktuerande vattenflöde. Skiktet som kallas *argillic horizon* kan ge upphov till ogenomträngliga så kallade "clay-pans" (ler-lock). Lervandringen och stark känslighet för erosion leder ofta till kraftig uppgrundning av markprofilen. Eftersom alfisoler ofta har ett distinkt gruskikt i djupare skikt kommer detta att närma sig markytan och förhindra rotutveckling. Mekaniska hinder som stoppar rotutveckling och hydrauliska hinder för vattenflöden, är därmed vanliga i dessa jordar.

De allvarligaste fysikaliska bristerna i alfisoler och relaterade jordmåner är deras grova och svaga struktur som leder till låg vattenhållande förmåga och hög känslighet för erosion och ytavrinnig. Risken är stor för markskorpor och mekaniska hinder. Orsaken är den låga lerhalten i ytan (3 - 10 procent), lerans låga bindningsaktivitet (låg jonbyteskapacitet orsakat av höga halter av det inaktiva lermineralet kaolinit) och låga halter organiskt material. Under regnsäsongen slammar ytan igen för att under torrperioden

bilda skorpa. Ytavrinningen kan bli hög, där en mätstation i Indien (Hyperabad) beräknat att 40 procent av P går förlorat. Erosionen är ett problem med en årlig genomsnittlig förlust på ca 40 ton/ha vid ICRISAT, Indien. Med dålig infiltrationskapacitet och låg vattenlagringsförmåga minskar grundvattenbildningen och innehållet av markvatten (El Swaify et al, 1983).

Vertisol, de semi-arida och torra sub-humida regionernas lerrika "svarta bomullsjordar" (*black cotton soils*), täcker ca 6 procent av odlingsjorden. I Indien täcker vertisol 25 procent av odlingsarealen, och anses utgöra den huvudsakliga markresursen i det regnförsörjda jordbruket (Swindale, 1984; FAO, 1988b). Vertisol är relativt djupa jordar, drygt 15 - 240 cm och innehåller 30 - 70 procent lera som domineras av det aktiva lermineralet montmorillonit (smektit). Jordmånen har därför hög vattenhållande förmåga (ca 300 - 350 mm), men också extrema svällnings- och krympningsegenskaper. Under torrperioder krymper jorden, bildar drygt en meter djupa sprickor och hård ytskorpa. Under dessa förhållanden är infiltrationskapaciteten hög. Vid vätning sväller leran och blir till sist i princip helt ogenomtränglig (Dreissen & Dudal, 1989).

Trots hög produktionspotential, tack vare god näringsstatus och hög vattenhållningsförmåga, är vertisol en oexploaterad resurs. Svåra odlingsproblem orsakas av jordens klibbighet, dess svaga infiltrations- och dräneringsförmåga vid svällning, samt hårdhet vid torra. I traditionella odlingsystem måste tidpunkten för odlingsåtgärder anpassas helt efter jordens vätningstillstånd. I Indien betyder detta ofta odling endast efter regnperioden (*rabi*) på lagrat markvatten (Vandenbeltdt, 1990). Tabell 6 ger en bild av olika jordmånsrelaterade begränsningar hos dominerade jordmåner i tropikerna.

**Tabell 6.** Generella markrelaterade hinder för intensivt utnyttjande av typiska jordmåner i "torra" regioner

Markrelaterade problem	Oxisol*	Ultisol*	Alfisol*	Inceptisol*	Verti-sol*
Erosion	±	±	-	-	-
Packning	-	-	-	±	±
Skorpa	+	+	-	-	±
Torka	±	±	-	+	±
Litet rottdjup	-	-	-	+	±
För hög temp.	+	±	-	-	±
Näring	-	-	±	+	±

\*Grad av problem: stort (-), måttligt (±), litet (+)

Källa: Lal, 1986

Markrelaterade problem påverkar över 60 procent av odlingsarealen i Afrika, Sydamerika, Australien och Sydostasiens "torra" odlingsregioner (Bentley et al, 1979).

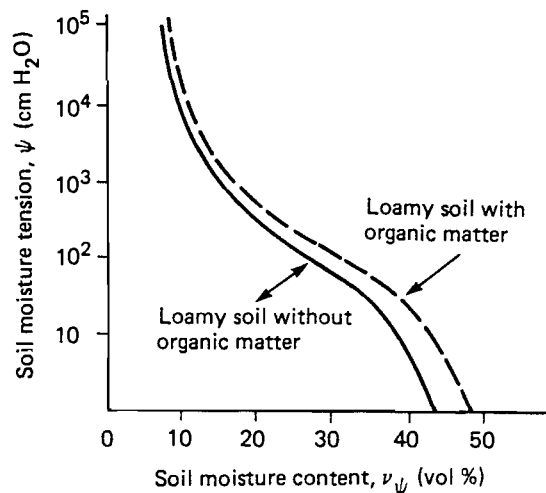
Tidigare beskrevs trädans roll som vattenlagringsperiod i det regnförsörjda jordbruket. Samtidigt innebär träda att jordarna kommer att bestå av

barmark när regnen kommer. Studier vid ICRISAT visar att upp till 60 procent av regnet under regnsäsongen kan förloras som ytavrinning på en vertisol som legat i träda. Detta kan reduceras till 19 procent om en gröda etableras tidigt under de första regnen. För alfisolers däremot förloras 35 procent av regnen som ytavrinning även om marken odlas (Gregory, 1989). Detta visar att i områden med regnbrist måste valet mellan träda och kontinuerlig odling, eller balansen mellan de två, utgå från aktuell jordmån.

Det finns som tidigare belysts många jordmåner i "torra" regioner och egenskaperna hos dem varierar. För alfisolers och vertisolers konstaterar ICRISAT att de hydrologiska skillnaderna är så stora att de kräver helt olika bearbetningsmetoder (Pathak et al, 1985). Gemensamt för de vanligaste jordmåner är att vattenhållningsförmågan är låg och att de lätt drabbas av sänkt permeabilitet. Regnet har svårt att komma ned i marken och när det lyckas mättas snart markprofilen.

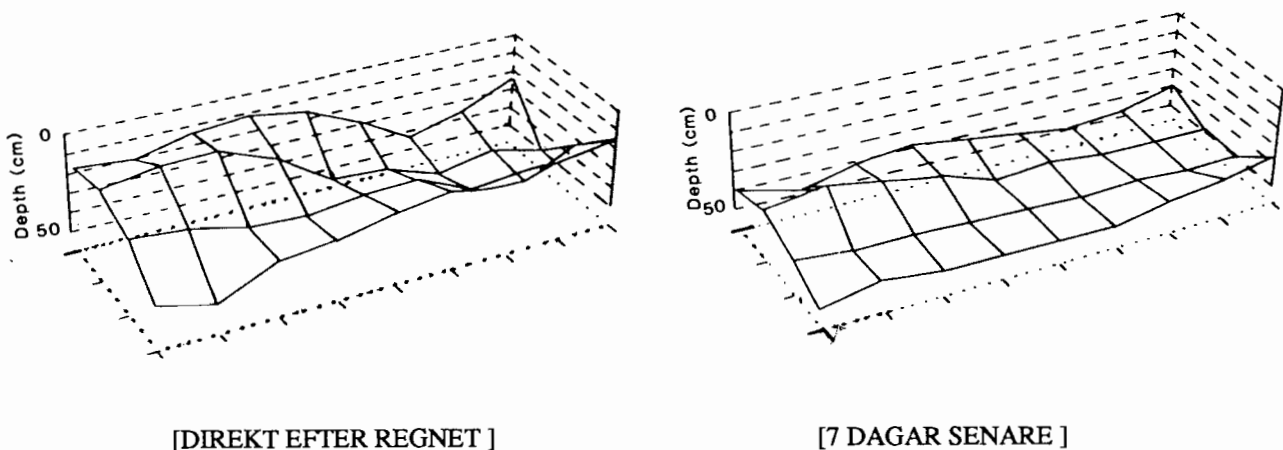
Kvaliteten och mängden organiskt material i marken har stor betydelse vid aggregatbildning och för jordens strukturstabilitet. I Semi-arida och arida områden är andelen organiskt material mycket låg, ungefär 0,5 - 3 procent (vanligen ca 1 procent). Orsaken är det torra och varma klimatet. Effekten blir att jordarna förutom svag struktur har sämre näringsstatus och därmed lägre produktionspotential. Bildningen av organiskt material styrs av markens mikrobiella aktivitet. Denna avtar dock drastiskt vid vattenpotentialer under -5 bar, vilket är vanligt i "torra" regioner (Smith & Elliot, 1990).

Idag saknas kunskap om relationen mellan vattenpotential och bildning/nedbrytning av organiskt material (Smith & Elliot, 1990). Att organiskt material har stor betydelse för mängden växttillgängligt vatten är dock väldokumenterat. Figur 20 illustrerar bindningskurvor för samma moränjord med och utan organiskt material (Konijn, 1988).



**Figur 20.** Bindningskurvor för moränjord med och utan organiskt material (Konijn, 1988).

I försök att beräkna vattenbalanser och vattenflöden i mark antas ofta marken vara homogen och isolerad. Detta "parcell"-baserade angreppssätt går inte att applicera i fält. Speciellt inte i "torra" regioner där mer eller mindre täta markskikt ofta förekommer (leranrikning, markskorpa m.m.). Efter intensiva regn varierar infiltrationshastigheten inom små områden vilket resulterar i olika nivåer på markprofilens vätning. Under sådana omständigheter är det omöjligt att bedöma vattentillgången på ett korrekt sätt (fig 21) (Gregory, 1991).



**Figur 21.** Varierande djup på perkolerande vattennivå i en tvåskiktjord (grov sand på kaolinitrik lera) i västra Australien efter ett 36 mm regn (Gregory, 1991).

### 3.3.3. Utarmnings processer

Olika former av utarmningsprocesser (eng. degradation) i landskapet pågår kontinuerligt. Här råder stor variation, för att inte säga förvirring, när det gäller terminologi, oenighet om utarmningens utbredning och betydelse, och ofta divergerande åsikter om utarmningens bakomliggande orsaker.

Detta kapitel gör inte anspråk på att reda ut dessa begrepp i detalj, utan syftar till att beskriva den allmänna synen på de huvudsakliga utarmningsprocesser som är förknippade med vatten i jordbruksproduktionen. Vad är orsaken till utarmning, hur stor omfattning har den och vilken betydelse har utarmning för tillgången på vatten? Utarmning av odlingsmark påverkar möjligheten att öka skördarna och är därmed en viktig faktor att belysa vid försök att ta ställning till uppsatsens hypotes.

Ofta används termerna *desertification* och *degradation* synonymt och betecknar då olika former av produktivitetssänkning i marken. Här kommer termerna att betecknas som ökenutbredning respektive utarmning (Bilaga III).

1986 gjorde UNEP, United Nations Environmental Programme, bedömningen att ca 2 miljarder ha biologiskt aktiv mark, blivit obrukbar genom utarmning under årtusenden (UNEP, 1986). FAO/UNEP har bedömt utarmningen till 5 - 7 miljoner ha/år (FAO/UNEP, 1983). Unesco gjorde

1981 bedömningen att ungefär 3,5 miljoner ha odlingsbar regnförsörd mark påverkas varje år av det ständigt ökande hotet att drabbas av ökenutbredning. Fram till år 2000 bedömdes 200 miljoner ha, en yta motsvarande Frankrike, övergå till "icke-jordbruksmark". Hälften av detta skulle härstamma från urbanisering, 25 procent från förorening och 25 procent från ökenutbredning (Unesco, 1981).

Utarmning av mark är allvarligare i arida och semi-arida klimatzoner i Afrikas Sub-sahara områden, än någon annan region i tropikerna (Lal, 1988). FAO lyfter fram ökenutbredningens stora omfattning och betydelse i sin *International Action Programme on Water and Sustainable Agricultural Development* (FAO, 1990a). Här konstaterar FAO att utarmning accelereras genom den ökade befolkningen och djurpopulationen, vilket resulterar i överbetning, buskbränder, överexploatering av åkermark och skogshuggning i samband med ökat behov av bränsle. Denna utarmning (*degradation*) definierar FAO i semi-arida och arida områden som ökenutbredning (*desertification*). 1983 gjorde FAO bedömningen att ökenutbredning påverkade nära 75 procent av all produktiv regnförsörd odlingsmark (3500 miljoner ha av totalt 4500 miljoner ha) (FAO, 1990a).

Ett allvarligt osäkerhetsmoment i PPSC, som antar jordbruksproduktion på all odlingsmark, och senare studier som antar en expansion av odlingsmarken, är omfattningen och den framtida utvecklingen av markens utarmning (FAO, 1988a; Unesco, 1990).

### 3.3.3.1. Erosion

Erosion är en huvudfaktor bakom vida spridd markutarmning och ökenutbredning. Enligt vissa bedömningar eroderar 0,7 procent av markytelagret varje år (Lal, 1986).

Förlust av markens ytlager kan leda till dramatiska skördeminskningar, med exempel på halverade skördar i Nigeria. Orsaken är att markens översta 20 cm innehåller största delen av växtens tillgängliga näring. Om erosionen får fortsätta opåverkad fram till år 2000 (räknat från 1975) gör FAO bedömningen att 18 procent av den regnförsörjda odlingsmarken i utvecklingsländerna kommer att förloras. Markens produktivitet kommer att falla med drygt 29 procent (FAO, 1984). Den accelererande markerosionen beräknas ha lett till irreversibel förstörelse av 430 miljoner ha i olika länder. Detta motsvarar ungefär 30 procent av den odlade arealen i världen. Den naturliga erosionen bedöms till 9,9 miljarder ton/år, medan erosion orsakad av människan anses vara 2,5 ggr högre, d.v.s. 26 miljarder ton/år (Lal, 1990).

Markens erosionskänslighet styrs av en rad egenskaper hos jordmånen. Jordens textur spelar en stor roll, där erosionsrisken generellt ökar med ökat sandinnehåll och minskar med ökad mängd finmo och finare partiklar (partikeldiameter < 0,02 mm). Jordmånens aggregatbildning, mängden organiskt material, mängd och typ av kalciumkarbonat (kalkrika ytskikt ökar erosionsrisken), är andra faktorer som styr jordens erosionsrisk. De mest erosionskänsliga jordarna har stor andel finmo och grövre partiklar, låg lerhalt och lågt innehåll av organiskt material (Dregne, 1976).

Vattenerosion är troligen det allvarligaste hotet mot de "torra" regionernas erosionskänsliga jordmåner. Orsakerna till den höga erosionskänsligheten är (1) de låga skördarna och svaga växtligheten, vilket ger för lite skyddande marktäckning, (2) låg andel organiskt material vilket resulterar i låg vatten- och aggregatstabilitet, som i sin tur leder till dispergering vid regnstormar, (3) intensiva regnstormar och (4) felaktig markhantering (Unger, 1990). Den höga ytavrinningen i semi-arida områden leder till kraftiga floder och omfattande erosion. "Gully"-erosion, djupt eroderade diken, anses exempelvis vara en nationell katastrof i Nigeria (Lal, 1990).

Det finns klara skillnader i synen på erosionens omfattning och faktiska effekter på jordbruksproduktionen. Dregne (Dregne 1990) framför att information om erosionens permanenta effekter på markens produktivitet till stor del är anekdotisk. Han presenterar "vad man faktiskt vet" om erosionens utbredning i Afrika, vilket resulterar i en beskrivning av vissa punktvise drabbade områden. Exempelvis framförs Lesotho som världens mest erosionsdrabbade land, orsakat av en kombination av hårda regn, låg infiltrationskapacitet, utebliven markhushållning, överbetad mark och kraftig skogsskövling. Hans slutsats är att erosion är ett problem, där vattenerosion lyfts fram som det dominerande hotet mot den långsiktiga produktionen och människans förmåga att försörja sig. Frågan är dock hur utbredd erosionen är och vilka långsiktiga effekter den får (Dregne, 1976; Dregne, 1990).

### 3.3.3.2. Ökenutbredning

Det råder diametralt olika uppfattningar om ökenutbredningens omfattning. FAO lyfter fram ökenutbredning som ett stort och växande problem. Andra författare anser att frågan är en myt och menar att årliga variationer i vegetationens utbredning kan uppstå, men att på lång sikt har inga större förändringar i ekosystemet skett.

I UNEP:s Desertification Control Bulletin gör Dregne och Tucker (Dregne & Tucker, 1988) en kritisk genomgång av de bedömningar över ökenutbredningen som presenterats sedan 1921 då begreppet "encroaching Sahara", Saharas ökenutbredning, föddes. Fortfarande framläggs uppsatser där ökenutbredningen presenteras som ett växande fenomen orsakat av regnbrist. Saharas årliga utbredning söderut bedöms av Smith (Dregne & Tucker, 1988 efter Smith, 1986) till 1,3 miljoner ha vilket motsvarar staten New Yorks yta. En annan studie som ligger till grund för större delen av dagens bedömningar av ökenutbredningen gör gällande att Sahara avancerade med 90 till 100 km mellan 1958 och 1975, vilket motsvarar ca 5,5 km/år. Meteorologiska satellitobservationer kan dock påvisa stora interannuella variationer i biomassaproduktion i Saharas södra regioner. Dessa resultat kastar ett tvivlets ljus över ökenutbredningens verkliga omfattning. Permanenta skiftningar i vegetationen kan ske eller har skett, men det saknas data för att verifiera detta (Dregne & Tucker, 1988).

### **3.3.4. Orsak till utarmning**

Bristen på regn lyfts ofta fram som en huvudorsak till utarmning och ökenutbredning. Det motsatta, att utarmningen är en process orsakad av människan framförs dock i flera referenser. En viktig fråga är i vad mån en

människoinducerad produktivitetssänkning i landskapet är reversibel eller irreversibel.

I en uppsats om ökenutbredning i Australien vid en MAB-konferens (Man And Biosphere, MAB, program initierat av Unesco) i Kina, framförs att det är nonsens att hävda att Australiens ökenutbredning skulle orsakas av regnbrist. Det kan snarare ses som ett farligt påstående som tenderar att reducera människans ansvar för ökenutbredningen. Ökenutbredningen blir tydligare under år med regnbrist, men är inte en effekt av torka utan dess verkliga orsak är en felanpassad hantering av mark, både under och mellan torrperioderna. Markhanteringen är inte anpassad till de naturliga klimatvariationerna (Perry, 1984).

I en studie i Sudan dras slutsatsen att ökenutbredningen är ett allvarligt problem orsakat av överexploatering av betes- och odlingsmark. Effekterna fick tragiska dimensioner under torråren 1968-73 och 1980-84 då jordbruksproduktionen sjönk drastiskt med svältkatastrofer som följd. Dessutom startas en utarmande spiral när växtligheten på marken försvinner, eftersom det ökar erosionen som i sin tur påskyndar ökenutbredningen (Suliman, 1988). Ökenutbredning skulle således vara en människoinducerad process som förstärks under år med återkommande regnbrist.

FAO konstaterar i studien *World agriculture toward 2000* att ökenutbredning i en "distant past" var ett resultat av klimatvariationer, men att den idag i huvudsak är människoinducerad. FAO bedömer att en felaktig användning av markresurserna ansvarar för 80 procent av ökenutbredningen (FAO, 1988a). Denna syn överensstämmer med den ovanstående redogörelsen av FAO/FN:s internationella aktionsprogram (FAO/UN, 1990). Huvudfaktorerna bakom resursutarmning är enligt FAO en felaktig mark- och vattenhantering som leder till erosion, försaltning och alkanisering, försurning och spridning av vattenburna sjukdomar genom expansion av bevattning (FAO, 1988a).

I Kina görs liknande bedömningar över storleken av den mänskliga aktivitetens ansvar för ökenutbredningens omfattning. I Kina finns ungefär 1,5 miljoner km<sup>2</sup> öken (inkl. Gobi-öknen) och bedömningen är att ungefär 1000 km<sup>2</sup> årligen förloras i form av ökenutbredning. 85 procent orsakas i huvudsak av överbetning, avskogning och intensiv odling. Forskning gör gällande att det endast tar 5 - 10 år att odla upp denna människoinducerade öken. Sedan 1978 har 6 miljoner ha återplanterats genom flygsådd vilket borde resultera i en ökning av skogsbeståndet från drygt 6 till 8 procent av landarealen. Träden fungerar sedan som "vindfångare" vilket minskar erosion och återför lägre vegetation (Sulimar, 1988).

I regioner norr om Sahara där det inte finns någon indikation på klimatförändringar, anser experter att människans intervention i miljön och sätt att hantera marken, har mycket stor skuld till de ökade effekterna av torka och den påskyndade ökenutbredningen (Unesco, 1990).

Mänskliga ingrepp genom avskogning (eng. deforestation), mekaniserad jordbearbetning, monokulturer och minskning av ekosystemens artrikedom utgör de övergripande huvudfaktorerna bakom markens utarmning. Dessa sätts i rörelse av det ökade demografiska trycket i kombination med svåra



klimatförhållanden och marginella jordar som är grunda, branta eller försurade och som lider brist på essentiella näringsämnen. (Lal, 1986; Thanh & Biswas, 1990).

Sammanfattningsvis framgår av ovanstående att det är svårt att bedöma omfattningen av och orsaker till utarmning och ökenutbredning. Det står dock klart att det pågår en försämring av markens produktionsförmåga i flera "torra" regioner, vilket påverkar den framtida möjligheten att försörja ökade befolkningar.

### 3.4. Hur skall avkastningen höjas?

"Torra" regioner i världen har i genomsnitt de lägsta skördarna, den svagaste tillväxttakten i jordbruksproduktionen och den snabbaste befolkningsökningen i världen (FAO, 1988a). De globala genomsnittliga spannmålsskördarna minskade under perioden 1972 - 1976 från 1,91 ton/ha till 1,84 ton/ha. I Afrika var medelskörden för spannmålsgrödor endast 1,05 ton/ha jämfört med 3,5 ton/ha i tempererade industriländer (Unesco, 1990). Risskördarna i flera semi-arida och torra sub-humida regioner når endast upp till 10 procent av Japans skördar på 8 - 10 ton/ha. Durraskördarna i Niger ligger under 300 kg/ha jämfört med 4000 kg/ha i USA. Den nationella medelskörden av majs i Sudan är 800 kg/ha. Motsvarande skörd i USA är 7500 kg/ha (Lal, 1988).

I kapitlet *Framtidens livsmedelsproduktion* beskrivs de betydande skördeökningar som måste ske för att jordbruksproduktionen skall hålla jämna steg med befolkningsökningen. I detta kapitel kommer olika metoder för effektivare hantering och utnyttjande av vattnet att belysas. Frågan som inställer sig är "hur skall man kompensera sig för orsakerna till sjunkande skördar, hur skall per capita produktionen ökas och vilken roll har vatten i dessa försök?"

Världen kan enligt optimistiska bedömare försörja 40 miljarder människor, medan pessimistiska utsagor gör gällande att 7 miljarder människor utgör den globala smärtgränsen (Unesco, 1990). Oavsett grad av optimism när det gäller balansen mellan jordbruksproduktion och befolkningsökning, förutsätter FAO:s prognoser att en mycket stor del, två tredjedelar till tre fjärdedelar, av den nödvändiga ökningen av jordbruksproduktionen kommer att uppnås genom ökad avkastning. Resten kommer att ske genom expansion av odlingsarealen (FAO, 1988a). Dessa avkastningsökningar handlar i stor utsträckning om övergång från "traditionell" till "intensiv" odlingsteknologi.

För att uppsatsens hypotes skall gälla; *att vatten inte är den begränsande faktorn för den framtida jordbruksutvecklingen*, måste orsakerna till låga och minskande avkastningsnivåer förklaras på något annat sätt än genom genuin vattenbrist, d.v.s. att det inte finns tillräckligt med vatten. Dessutom måste det finnas bärkraftigt underlag till stöd för att vatten inte kommer att vara ett absolut hinder för de kraftiga ökningarna av avkastningen som prognoserna förutsätter.

Detta innebär att orsakerna till uteblivna avkastningsökningar måste övervinnas och framförallt att jordbruksproduktionens vattenbehov skall

kunna lösas inom ramen för den faktiska, av klimatet bestämda, vattentillgången.

De vattenrelaterade åtgärderna för att öka avkastningen kan delas upp i två områden; (1) öka den totala växttillgängliga vattenmängden och (2) effektivisera växtens vattenanvändning. Fyra huvudområden kan identifieras inom vilka man kan tänka sig att påverka dessa två:

- Öka infiltrationen genom olika former av markyteskötsel som ökar markens permeabilitet (1)
- Öka mängden växttillgängligt vatten genom att dirigera vattnet till rotzonen. Här ingår allt ifrån bevattning med exogen vatten till insamling av endogen ytavrinning (1)
- Växtföljder och odlingssystem (1 & 2)
- Öka grödans prestanda genom förädling, insatsmedel eller teknik (2).

En rad olika mark- och vattenbevarande åtgärder föreslås för att öka grödans vattentillgång, effektivisera vattenanvändningen och minska utarmningen av mark. *Water- and soil conservation* används genomgående som en paraplybeteckning på dessa åtgärder och innefattar allt ifrån vattenlagring till markyteskötsel. I uppsatsen översätts *water- and soil conservation* till *mark- och vattenbevarande åtgärder*. I detta kapitel görs en generell beskrivning av vilka mark- och vattenbevarande åtgärder som vidtas eller föreslås inom de fyra områden som beskrevs ovan.

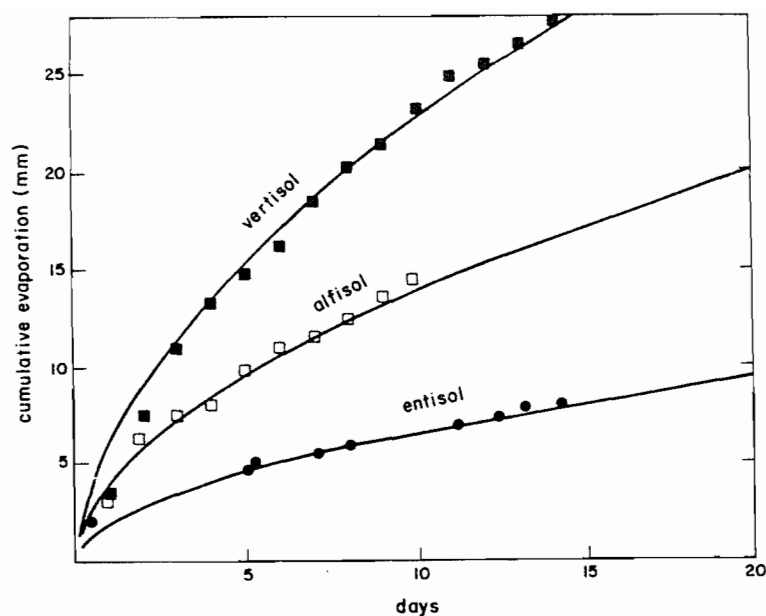
I FAO:s utsikter om en omfattande övergång från "traditionell" till "intensiv" odlingsteknik, ingår även förutsättningen att "*complete soil- and water conservation measures*" utnyttjas (FAO, 1983). Detta betyder att optimal mark- och vattenhantering införs, som resulterar i att markens långsiktiga produktivitet inte minskar och att regnet används så effektivt som möjligt. Frågan är hur stor betydelse denna visserligen opreciserade förutsättning, har för möjligheterna att uppnå de projicerade skördeökningarna?

### **3.4.1. Markyteskötsel för ökad produktion**

Markytans egenskaper kommer att ha stort inflytande på infiltrationsförmågan och hur stor andel av P som förloras till atmosfären. Den del av mark- och vattenbevarande åtgärder som rör markyteskötsel behandlas här.

#### **3.4.1.1. Minimera inproduktiva förluster**

Vattenförluster genom E från marken styrs i stor utsträckning av markprofilens hydrauliska egenskaper och vattenmängden i marken. Jordens vattenhållande förmåga och konduktivitet kommer att avgöra hur mycket vatten som infiltrerar och markens kapacitet att kapillärt transportera vatten från djupare markskikt till en evaporerande markyta. Evaporationsförluster varierar därmed kraftigt mellan olika jordmåner (fig 22).



**Figur 22.** Adderad evaporation från vertisol, alfisol och entisol i semi-arida klimatzoner (Monteith, 1991).

Vattenförluster från vertisoler ökar kraftigt, enligt försök med 12 - 30 procent, i samband med sprickbildning. Orsaken är att sprickväggarna bildar vertikala evaporationsytor. Förlusterna kan dessutom ske även sedan markytan "torkat" eftersom djupare markskikt är fuktigare och kan försörja sprickytan med vatten (Hillel, 1980a).

En vanlig metod för att minska evaporationsförluster är att lämna ett lager med växtrester (eng. mulch, mulch farming) på markytan, här betecknat som marktäckning (Bouwer, 1988; David et al 1981; Venkateswarlu, 1987; Jalota & Prihar, 1990).

Marktäckning framförs även som ett effektivt system att öka permeabiliteten, minska ytavrinning och därmed erosionsskador (Lal, 1986; Lal 1991; Jackson, 1989; FAO, 1988b). Ett par ton växtrester per ha på sluttande åkrar i sub-humida områden kan minska ytavrinningen med 15 - 20 procent (Dregne, 1990). Den kritik som framförs mot metoden är att det inte finns tillräckligt med växtrester i "torra" odlingsområden, metoden passar inte alla grödor och framförallt ger den varierande resultat med ibland även sänkt avkastning på vissa jordmåner (Jackson, 1989; Venkateswarlu, 1987; Darryl et al, 1986; Prasad & Power, 1990).

Ogräsbekämpning för att minska inproduktiv transpiration och olika former av jordbearbetning (eng. tillage) är andra huvudmetoder för att minska vattenförluster till atmosfären. Framförallt framförs *no-tillage* alternativt *minimum tillage*, d.v.s. utebliven eller minskad jordbearbetning som effektiva system att minska evaporationsförluster. *Tillage* översätts till plöjning respektive jordbearbetning beroende på syftning i litteraturen (Bilaga III).

I flera jordar med svag struktur och i täta leror med dålig dränering behövs jordbearbetning (t.ex. alfisol, oxisol, vertisol, flera inceptisol och jor-

dar med s.k. ironpan), och då framförallt djupplöjning som ökar porositeten och därmed gynnar rotutveckling och infiltration (FAO, 1988b; Lal, 1986).

Jordbearbetning innan sådd är den traditionella odlingsmekaniken i "torra" odlingsområden. Resultatet av metoder med minskad eller utebliven bearbetning för att öka vattentillgången, beror på klimat, jordmån och grödval. En viktig fråga är i hur hög grad utebliven jordbearbetning blir beroende av kemisk ogräsbekämpning. Lal har gjort studier över olika former av jordbearbetning i olika klimat och jordtexturer. Han konstaterar att för jordar i humida och sub-humida zoner med grova ythorisonter kan plöjningsfri odling tillämpas. I semi-arida och arida områden måste någon form av jordbearbetning ske. Behovet ökar i jordar med finare textur och dålig dränering (Lal, 1986). Jalota och Prihar (Jalota & Prihar, 1990) framför att jordbearbetning är en väletablerad metod att sänka förluster i evapotranspiration genom att ogräsmängden minskas. Unger betonar att ogräs är en stor "vattenkonsument" i semi-arida och torra sub-humida odlingszoner (Unger, 1990). Plöjningsfri odling ökar mängden växtrester, vilket minskar ytavrinning och erosion. Problemet är att det medför ofta krav på användning av insekticider och herbicider vilket kan vara svårt i flera "torra" utvecklingsländer (McCool & Renard, 1990). I ogräsfri miljö råder det däremot delade meningar om jordbearbetningens fördelar.

En viktig uppgift för jordbearbetning i "torra" regioner vid sidan om förbättrad permeabilitet och minskning av ogräs, är att bryta kapillärt drivna evaporationsförluster. Med jordbearbetning skapas ett grovt ytlager som bryter markporer och förhindrar vattentransport upp till markytan. Här råder dock delade meningar om metodens effekter på olika jordmåner. Enligt Jalota har jordbearbetning större förutsättningar att lyckas i jordar med fin textur, som har flera kapillära flödesbanor att bryta än i grova jordar. I försök har han även kunnat visa negativa effekter, d.v.s. ökade vattenförluster, vid jordbearbetning av grova jordar (Jalota & Prihar, 1990). Doolette är kritisk till olika metoder av jordbearbetning eftersom de inte garanterar ökad infiltration men däremot ofta ökade evaporationsförluster. Dessutom riskerar kortsiktiga förbättringar att leda till igenpackning av marken på lång sikt (Doolette, 1986). Även Jalota refererar försök som visar att jordbearbetning ökar evaporationsförluster genom att markens totala solbelysta yta ökar.

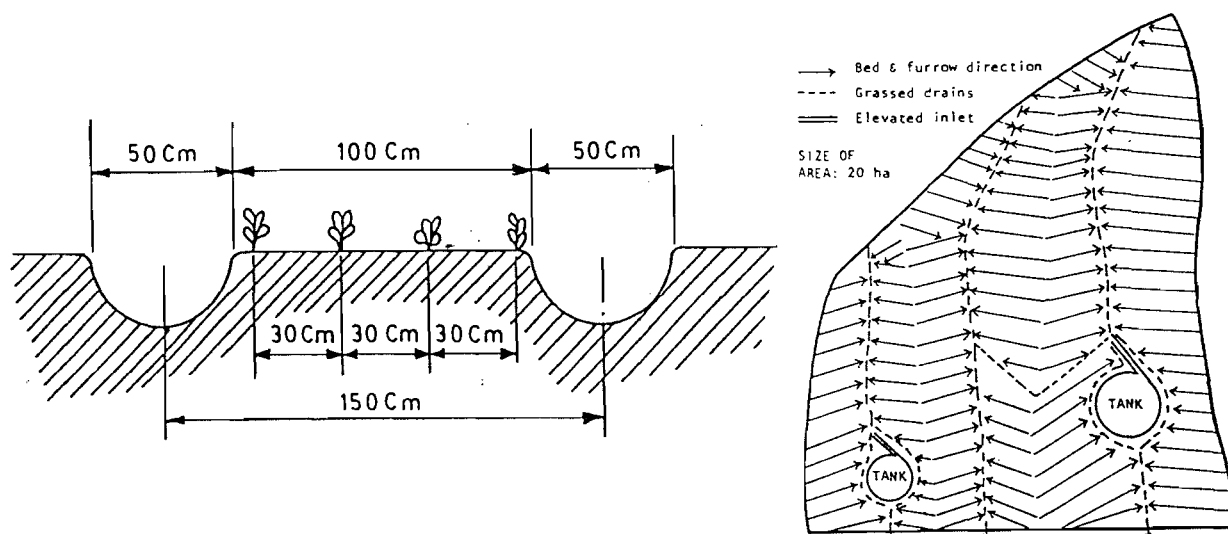
Samtidigt innebär jordbearbetning i jordar med god struktur att dess vattenhållande förmåga ökar vid låg tension (d.v.s. andelen stora porer ökar) och minskar vid hög tension. Detta kan vara en fördel eftersom infiltration underlättas vid regn och risken minskar för kapillärt drivna förluster av vatten vid torka (Jalota & Prihar, 1990).

Användning av kemikalier för att minska växters transpiration utan att nämnvärt minska avkastningen, exempelvis med kaolinit-baserade preparat, föreslås från vissa håll (Rajat De, 1981). Det finns även exempel på evaporationsminskande metoder genom marktäckning med plast och täckning av vattenytor med plastkolor (Cluff, 1982).

### 3.4.1.2. Öka infiltrationen

Att öka mängden vatten som tränger ned i marken är som tidigare nämnts ett av de viktigaste målen vid regnförsörjt jordbruk i "torra" regioner. I Burkina Faso har medelavrinning på 30 - 40 procent uppmätts, som under enskilda regnstormar når upp till 70 procent av regnmängden (FAO, 1988b). Tidigare i uppsatsen har ytavrinningsnivåer på 25 - 50 procent av P refererats.

De system för jordbearbetning och marktäckning som tagits upp tidigare har även till syfte att öka infiltrationen. Odlingssystem och växtföljder har infiltrationshöjande effekter genom att ytavrinningen minskar. ICRISAT försöker utveckla jordmånsanpassade odlingsmetoder som syftar till att öka mängden vatten som når rotzonen. Det s.k. *broad bed and furrow system*, där vatten fångas upp i upplöjda fåror med ca en meters mellanrum där grödan odlas, är ett system som minskar vattenerosionen och ökar vattenhalten i marken. Detta system tillämpas på hela avrinningsområden där raderna sätts tvärs markens lutning (fig 23) (Smith & Laryea, 1989).



**Figur 23.** Princip för *broad bed and furrow*-systemet tillämpat på ett avrinningsområde (Krantz, 1981; Smith & Laryea, 1989).

Från flera håll framförs behovet att se vattnets flöde på basis av hela avrinningsområden. Ett viktigt sätt att öka infiltrationen är att planera vegetationen på avrinningsområden efter rådande nederbördsmonster och topografi. Val av odlingsystem och odlingsteknik bör därför anpassas efter regnets variation, intensitet och frekvens, avrinningsområdets storlek och topografi, jordmånerna och den lokala odlingstraditionen (Sivanappan, 1989; FAO, 1988b).

Casenave och Valentin redovisar markytans betydelse för infiltrationen i Afrika:s Sahel region. De har identifierat 9 typer av infiltrationshinderande marktyper på grundval av en rad faktorer; olika typer av skorpa (orsakad av cementering, markstruktur, uttorkning, erosion), olika textur, flora och fauna. Marktyperna har olika hydrologiska karaktäristiska och därmed skilda förutsättningar för odling (Casenave & Valentin, 1989).

Även om vattnet infiltrerar är det inte säkert att det blir växttillgängligt. Omfördelning av vatten (eng. redistribution) där infiltrerat vatten fördelas av gravitation och tension till djupare och torrare delar av markprofilen är viktiga processer i områden med låga vattenmängder. Omfördelning innebär ofta mindre vattenmängd i rotzonen men kan även minska evaporationsförluster från markytan. Denna process är särskilt framträdande i "torra" regioner där vattenhalten ofta är låg i marken. Omfördelning kan "suga" vatten från rotzonen till djupare markskikt under lång tid (Hillel, 1980a; Jalota & Prihar, 1990).

### 3.4.2. Dirigera vattnet till grödan

I regnförsörjt jordbruk i Sudano-Sahel regionen menar Sivakumar och Wallace att skördeökningar kommer att bero på möjligheten att uppnå den mest effektiva användningen av begränsade regnmängder (Sivakumar & Wallace, 1991). Denna syn på möjligheterna att öka avkastningen är tillämpbar på alla "torra" regioner.

Här beskrivs olika försök att dirigera regnvatten, som av någon anledning inte fångats upp av rotzonen, tillbaka till grödan. Inom ramen för vattenbevarande åtgärder, *water conservation*, ingår det vida begreppet *water harvesting* som innefattar alla former av insamling av ytavrinning i syfte att förbättra utnyttjandet av regnvatten i jordbruket (Reij et al 1988; Karacili, 1988; FAO, 1988b). *Water harvesting*, som i uppsatsen översätts till vatteninsamling, tillhör tillsammans med alla system att utnyttja grundvatten och vattendrag genom brunnar och bevattning, de två huvudmetoderna att styra regnvatten till rotzonen. En viktig distinktion bör göras mellan vatteninsamling och utnyttjande av grundvatten och vattendrag. Vatteninsamling förutsätter regnförsörjt jordbruk och måste därför baseras på endogent vatten från avrinningsområden. Bevattning och brunnar bygger på transport av vatten som kan vara både endogent och exogent (Krantz, 1981).

#### 3.4.2.1. Ytvattenodling

*Runoff-farming* och *runoff collection*, här definierat som ytvattenodling, är kanske de viktigaste formerna av vatteninsamling. Ytvattenodling innebär att ytavrinning samlas vid överskott på P, dirigeras direkt till grödan eller lagras i små dammar, cisterner eller tankar för att användas som kompletterande bevattning vid regnbrist. I denna uppsats har de två engelska definitionerna slagits samman eftersom de ofta används samtidigt i praktiken. *Runoff farming* innebär i strikt mening odlingsteknik där ytavrinning leds direkt till den odlade grödan, *runoff collection* innefattar ett moment av vattenlagring (ofta används *water harvesting* även här). Krantz betonar betydelsen av ytvattenodling på alfisol där vattenhållningsförmågan är låg. Under regnperioden uppgår ytavrinningen ofta till 50 procent av P eftersom markprofilen snabbt mättas med vatten och risken för ytskorpa är stor. Försök i en semi-arid region i Indien resulterade i en fördubbling av skörden, då 50 mm insamlat ytavrinningsvatten lades på en hirsgröda odlad på en alfisol under torrperioden. Vatteninsamling blir därmed ett viktigt system för att stabilisera effekterna av fluktuerande P (Krantz, 1981). Försök med insamling av ytavrinning genom V-formade vattenbarriärer i sluttningar gav över 200 procents skördeökning under år

med sänkt regnmängd. Markvattenhalten ökade från ca 60 mm till 100 mm (Singh, 1978).

FAO påpekar hur viktigt det är att man i områden med lågt P har stora uppsamlade avrinningsområden i förhållande till åkerns storlek. I semi-arida området refererar FAO försök som visar att avrinningsområdet i regnförsörjt jordbruk måste vara minst 5 ggr större än åkerarealen. Detta för att den odlade grödan skall försörjas med tillräckliga mängder växttillgängligt vatten (FAO, 1988b).

Flera olika system av vatteninsamling tillämpas i "torra" regioner. Användning av s.k. *micro-catchments* där ytavrinning styrs med hjälp av val-lar till enskilda träd, åkrar eller grödor, och *contour dykes*, tvärställda stenvallar i diken där ytavrinningen normalt bildar floder, s.k. wadis, är exempel på system för att styra regnvatten till grödan (Orev, 1988). Biswas menar att dessa former av ytvattenodling är ett viktigt mål i Nigerias jordbruk. Problemet är att metoderna är kostnadskrävande vilket innebär att avsalugrödor som oliver, druvor, fikon och mandel bör odlas (Biswas, 1988).

Av ovanstående framgår att flera gamla och nya metoder används för att styra ytavrinning till grödor. Systemen ger störst resultat i grova jordar med låg vattenhållande förmåga och i skorpbenägna jordar. Ytvattenodling är kostnadskrävande och förutsätter stora "vattenfångande" markytor. Försök visar att skördeökningar är möjliga att uppnå speciellt under torrår. FAO/FN framför att ytvattenodling i semi-arida och torra sub-humida regioner i Afrika, bedöms kunna öka jordbruksproduktionen på 10 miljoner ha på kort sikt och 50 miljoner ha på längre sikt (FAO/UN, 1990).

#### 3.4.2.2. Avrinning och grundvatten för bevattning

Vilka möjligheter finns att öka jordbruksproduktionen genom en snabb expansion av bevattningen? Svaret på den frågan varierar. Viktigt att ha i åtanke är att bevattning sällan tas upp isolerat utan ingår som en del av, eller en förutsättning för, utveckling av ett intensivare jordbruk (FAO, 1988a; Harrison, 1984). Bevattning är dyrt och måste därför kombineras med ett mekaniserat jordbruk med insatsmedel och förädlade sorter. Omvänt är en stabil vattentillförsel via bevattning en förutsättning för att intensivare odlingsmetoder skall ge tillfredställande resultat.

FAO gjorde 1979 bedömningen att 13 procent av jordens odlade areal bevattnades, vilket motsvarar ungefär 270 miljoner ha. Samma areal stod för 34 procent av världens totala livsmedelsproduktion, vilket visar bevattningens enorma potential (Stewart, 1989). Omfattningen enligt FAO 1988 (FAO, 1988a) varierar på olika kontinenter. Asien bevattnade 32 procent av sin odlade areal, Latinamerika 12 procent och i Afrika bevattnades endast 5 procent. Variationen mellan länder är mycket stor där exempelvis Nordost- och Nordafrika bevattnade 29 procent medan länderna i Sub-sahara endast bevattnade ca 3 procent av odlingsarealen. Tillväxttakten har sjunkit bland utvecklingsländerna och ligger idag på ca en procent per år. FAO:s prognoser från 1988 förutspådde att bevattningen i utvecklingsländerna skulle öka från 22 till 29 procent av odlingsarealen. I samband med en studie över bevattningens potential i Afrika konstaterar FAO att bevattning måste spela en viktig roll i utvecklingen av Afrikas jordbruk. Bevattning

kan vara det enda sättet att stabilisera jordbruksproduktionen i regioner med låga och fluktuerande regnmängder. Dessutom kan stödbevattning i det regnförsörjda jordbruket visa sig vara ett avgörande sätt att öka intensiteten i jordbruket (FAO, 1987a).

FAO:s förväntade tillväxttakt har inte uppfyllts och istället har den bevattnade arealen i princip hållits konstant i flera länder. Orsakerna bakom misslyckade bevattningsprojekt är enligt FAO i huvudsak brist på pengar, felaktig hantering och svårighet att integrera bevattningen i det övriga samhället. Nu menar FAO och FN att expansionen inte kommer att uppnås och att regnförsörjt jordbruk måste få utvecklas parallellt med bevattningen. Eftersom bevattning fortfarande anses vara det enda sättet att uppnå stora produktionsökningar i flera arida och semi-arida regioner, ges även fortsättningsvis högsta prioritet åt expansion av bevattning (FAO/UN, 1990).

Vid en FN-konferens om ökenutbredning 1977 framförde Dove att det är en myt att ökenområden alltid har begränsande vattenresurser. Han pekar på 7 grundvatten-akvifärer i Sahara och Nordafrika som skulle kunna försörja jordbruket med stora vattenmängder under flera tusen år, även om uttaget var större än inflödet av vatten (Dove, 1982). Samtidigt pekar Schneider på svårigheten att bedöma arida regioners grundvattenbildning. Orsaken är varierande regnmängder och svaga jordmåner. Tekniska data visar ofta bara volymen grundvatten och inte det tillgängliga inflödet av vatten (Schneider, 1982). I UNEP:s Desertification bulletin skriver Dr Ahmad att det traditionella regnförsörjda jordbruket i Sahel-området i Afrika inte kan försörja den snabbt ökande befolkningen. Lösningen är att bekämpa effekterna av torkan genom exploatering av grundvattenresurser. Det finns goda möjligheter att utvinna stora mängder vatten ur exempelvis akvifärer under oaser (utströmningsområden) i Sudan och Tchad (Ahmad, 1988).

Flera av dagens bevattningsprojekt fungerar sämre än väntat. Försaltning, höjda grundvattennivåer, stora spill och igenslamning kännetecknar flera bevattningsanläggningar. Av den totala bevattnade arealen 1990 på 270 miljoner ha bedömde FAO/FN att 20- 30 miljoner ha var drabbade av allvarlig försaltning och att 60 - 80 miljoner var påverkade av försaltning (FAO/UN, 1990).

Egypten och Indien är exempel på länder med utbredd bevattning i semi-arida och arida områden. I Egypten bevattnas över 90 procent, eller 2,5 miljoner ha av den odlade arealen, som är koncentrerad till en 10 km bred remsa längs Nilens dalgång. Befolkningen väntas öka från 46 miljoner (1982) till 75 miljoner år 2000. I stort sätt all bevattnad areal löper risk att försaltas och minst hälften av arealen är drabbad. Försaltningen leder till produktionsförluster på ca 20 procent (Perry, 1984).

Den ökade risken för försaltning vid bevattning är väl etablerad. Risken ökar i jordar som redan innan bevattning har hög salthalt. Dessa "saltjordar" (främst jormånerna solonetz och solonchack, FAO:s klassificering) har stor utbredning i arida och semi-arida regioner. Enligt Szabolcs är omfattningen av odlingsbar mark som utarmats till öken p.g.a. felaktig bevattning lika stor som dagens omfattning av saltjordar. Dessa utgör ca 1000 miljoner ha och är därmed potentiella "offer" för fluktuerande grund-



vattenrivåer vid eventuell bevattning. Den stora omfattningen av känsliga saltjordar i "torra" regioner måste beaktas innan en expansion av bevattningen sker (Szabolcs, 1986). Charreau och Rouanet ställer sig tveksamma till möjligheten att expandera bevattningen i Afrika trots den nuvarande låga omfattningen. En genomgående trend är att bevattningens andel av den totala odlingsarealen sjunker i länder med en befolkningsökning som överstiger 2 procent per år (Charreau & Rouanet, 1986).

I en kritisk granskning av Indiens dammbyggen drar Singh slutsatsen att sedimentproblemen är så stora att de två närmaste årtionden måste ägnas åt underhåll av befintliga bevattningsanläggningar (Singh, 1988).

Överexploatering av grundvattentillgången rapporteras från flera håll i världen. FAO/FN uppmärksammar Kina som fått problem med sjunkande grundvattennivåer i områden med omfattande brunnbevattning (ca 23 procent av den totala bevattnade arealen). Liknande problem med vattenuttag som överskrider grundvatteninflödet finns i Indien (FAO/UN, 1990).

Det årliga uttaget av grundvatten får enligt Schneider inte överstiga grundvattenbildningen (Schneider, 1982). Vid en genomgång av Afrikas grundvattentäkter drar Ayensu slutsatsen att det idag knappast är möjligt att ta reda på grundvattentillgångens storlek (Ayensu, 1985). Trots den stora ökningen av antalet brunnar saknas tillräcklig information. Akvifärer av samma sort kan ge allt mellan 0,1 och 2000 m<sup>3</sup> vatten per brunn. Det är därför knappast möjligt att framhäva en intensiv jordbruksutveckling grundad på bevattning som mera signifikant än utveckling av regnsfördjt jordbruk (Ayensu, 1985).

Stora delar av odlingsarealen i "torra" regioner kommer oavsett expansionstakt att förbli regnförsörjda. Indien utnyttjar idag all tillgänglig vattentillgång för bevattning, som omfattar ca 50 procent av den odlade arealen. Den andra hälften av markarealen kommer att vara beroende av otillförlitligt regn som kommer i korta perioder på 3 - 4 månader. I dessa områden lever de fattigaste människorna som under överskådlig tid kommer att vara beroende av regnförsörjt jordbruk (Sivanappan, 1989; Singh, 1985).

I regnförsörjt jordbruk är det alldeles klart att regn inom ett avrinningsområde skall "fångas" och lagras för senare användning genom ytreservoarer, i markprofilen och i akvifärer. Denna odlingsteknik, baserad på mark- och vattenbevarande åtgärder, kanske är lika viktig som de mera glamorösa och välkända metoderna att hantera vatten genom statsfinansierade dammbyggen och långväga transportsystem för exogent vatten till arida områden (David, 1981).

### **3.4.3. Växtföljder och odlingssystem**

Med 2 - 5 månaders potentiell växtsäsongslängd och odling i vanligtvis näringsfattig och struktursvag jord blir växtföljden; kombinationen och valet av grödor, en faktor som påverkar hur stor andel av regnet som utnyttjas av växten. Detsamma gäller olika odlingssystem, där årligen odlas med vindskyddande eller näringsfixerande träd, såtider varierar, eller där grödor överlappar varandra. Här görs inget försök att beskriva alla olika växtföljder och odlingssystem i "torra" regioner. Syftet är snarare att peka

på det faktum att flera referenser lyfter fram växtföljder och odlingssystem som en viktig komponent i försöken att effektivisera vattenutnyttjandet.

ICRISAT genomför flera försök på alfisolering och vertisolering i Afrika och Indien. Ett viktigt mål är att utnyttja regnet effektivare genom att alltid ha grödor i jorden när det finns regn. *Dry seeding*, eller *response farming*, tidig sådd av grödan en kort tid innan de första regnen, ökar möjligheten att snabbt få igång groddningsprocessen och därmed transpirationen. Svårigheten är att förutse regnets start. Försök pågår att med klimatmodeller söka *the onset of rain*, d.v.s. att med sannolikhetsmodeller förutsäga regnmönster (Sivakumar, 1989; Stewart, 1989; Kanemasu et al, 1990).

Att odla två grödor istället för en gröda per växtsäsong, s.k. *sequential cropping*, genom att kombinera grödor med olika så- och mognadstider, är ett annat försök att minska evaporationsförluster i början och slutet av växtsäsongen. *Intercropping*, här kallat samodling, där exempelvis durra alternativt hirs odlas med kvävefixerande baljväxter, ger ett tätare växttäckande, ökar kvävehalten i marken och lämnar större mängd växtrester på åkern (Smith & Laryea, 1985; Pathak et al, 1985; Virmani, 1989). Osäkerheten om skördeutfall gör att jordbrukare i torra regioner sällan använder mineralgödsel. Växtföljder där kvävefixerande grödor varvas med exempelvis hirs kan öka skörden med 10 - 20 procent (Rajat De, 1981).

Val av såtid, radbredd och plantpopulation framförs som strategiska frågor. Rätt såtid för grödor som odlas på lagrat markvatten från monsunregn kan ge stora skördevinster (Rajat De, 1981; Jackson, 1989). Val av optimal växtpopulation och radbredd vid odling fortsätter att vara en av de svåraste utmaningarna för regnförsörjt jordbruk i "torra" odlingsområden (Stewart & Steiner, 1990).

I sin rapport om mark- och vattenbevarande metoder presenterar FAO starka argument emot möjligheten att införa konventionell jordbruksteknik i "torra" odlingsområden (FAO, 1988b). Målsättningen skall vara att uppnå *biological conservation*, biologiskt bevarande, vilket sker genom olika mark- och vattenbevarande metoder kombinerat med lokalt anpassad teknik och växtföljd. För att uppnå detta föreslår FAO olika former av samodling (definierat som *mixed cropping*), grödor med olika så- och mognadstider, odling på terrasser m.m. (FAO, 1988b).

Olika former av agroforestry och *alley cropping* (odling av matgrödor varvade med alléer av träd) där perenner, årliga och eventuellt bete blandas, framförs ofta som skördehöjande odlingssystem i "torra" regioner (Lundqvist, 1989). Ur vattensynpunkt är syftet med dessa odlingssystem att förbättra vattenhållningsförmågan (minska evaporationsförluster), minska ytavrinningen och öka infiltrationen, skydda bevattningsanläggningar och öka lagringen av vatten i form av biomassa. Odlingssystemen anses även öka cirkulation av näring från djupare markskikt upp till de grunda årligerna och minska risken för erosion. Konkurrensen om vatten och näring blir liten eftersom rötterna försörjer sig på olika djup i markprofilen (Vandenbeldt, 1990; Cook & Ellis, 1987). I näringsfattiga jordar i Senegal, Afrika, har samodling med det djuprotade och kvävefixerande Acacia-trädet (*Acacia albida*) tillsammans med durra respektive hirs givit skördeökningar på 500 - 1000 kg/ha (FAO, 1986b). Cook som rapporterar skörde-

ökingar på 30 procent menar att Acacia trädet, här betecknat som "magic tree", skapar en oas kring hirsgrödan som ger lägre temperatur och därmed lägre PET (Cook & Ellis, 1987).

Lal är mycket kritisk till möjligheten att införa olika former av agroforestry och *alley cropping* i "torra" regioner. Han menar att blandningen av djuprotade perenner och grunda matgrödor skapar konkurrens om näring och vatten. En konkurrens som i regioner med vattenbrist och näringsfattiga jordar, riskerar att leda till utarmning och sänkta skördar. Särskilt känsliga är vittrade jordar och saltjordar med låg näringshalt. Han presenterar flera försök i semi-arida regioner där skördarna av cassava och majs sjunkit vid samodling med olika perenner. I humida regioner däremot rapporteras framgångsrika försök. Lal menar att det saknas tillräcklig kunskap till stöd för att det verkligen går att uppfylla det ökade vatten- och näringsbehovet vid agroforestry och *alley cropping* i arida och semi-arida regioner (Lal, 1991). Liknande kritik framförs av Van der Beldt som pekar på kraftiga skördeminskningar av durra vid *alley cropping*. Dessa odlings-system kräver god vattentillgång och tillförsel av näring (Van der Beldt, 1989). Från försök i torra regioner i Thailand (P under 3 - 4 månader/år) rapporterar MacDicken om sänkta skördar av ris vid odling med eucalyptus (*eucalyptus camaldulensis*) (MacDicken et al, 1990).

#### 3.4.4. Förädling

Uppsatsen har tidigare refererat olika förespråkare för möjligheten att förbättra grödors vatteneffektivitet genom förädling. Det råder dock delade meningar om det är möjligt att minska en grödas vattenanvändning per producerad mängd biomassa. Det visar sig vara svårt att förbättra vatteneffektiviteten genom ökad tork-resistens och förkortade mognadstider hos grödor i "torra" regioner (Ludlow & Muchow, 1988). Det är troligen inom dessa områden; tork-resistens och kortare mognadstider, som förädling på grödor i "torra" regioner måste inriktas för att uppnå skördeökningar.

En avgörande orsak till livsmedelsproblemen i Afrika är enligt Harrison att avkastningen från stapelgrödor har minskat. Detta i sin tur beror på fortsatt skiftesjordbruk och odling utan insatsmedel, samtidigt som trädesperioderna blir allt kortare. Sänkta skördar kan därför förklaras genom utebliven teknologi-överföring. Under 1980-talet blev Indien självförsörjande, tack vare IRRIs arbete med rissorter som inleddes 1966. Detta efter ett 70-tal med livsmedelsbrist som liknar dagens situation i Afrika. Forskningscentra för utveckling av grödor i Afrika inrättades inte förrän på 80-talet (t.ex. ICRISAT i Niger 1981), vilket innebär att Afrika enligt Harrison ligger ungefär 20 år efter Indien. Lösningen är att intensifiera denna forskning i syfte att införa en grön revolution i Afrika (Harrison, 1984).

Upchurch betonar de strålande möjligheter som finns att utveckla nya grödor anpassade till arida regioner (Upchurch, 1981). Alexandratos pekar på förädlingens och framförallt bioteknikens möjligheter. Utvecklingen av förädlade grödor kommer även fortsättningsvis att förse jordbruket med ökade skördar (FAO, 1988a). Biokemin lyfts fram av FAO (FAO, 1986c) som en lovande väg mot förädlade arter som kan ge högre skördar i Afrika. Unesco presenterar i *Feeding tomorrows world* en genomgång av gröna revolutionens resultat och dagens förädlingsarbete. Införandet av HYV:s, med

högavkastande ris- och vetesorter förädlade av IRRI och CIMMYT i spetsen, har resulterat i stora skördeökningar i Asien, Latinamerika, Mellanöstern och Afrika. Variationer mellan länder är stor där framförallt Afrika står för kontrasterna. I Sudano-Sahel regionen används mycket liten andel förädlade sorter. Under 80-talet har skördarna t.o.m. sjunkit något. Samtidigt uppgår skördarna av hybridmajs till 4 ton/ha i Kenya och Zimbabwe (Unesco, 1990). I rapporten från Unesco framgår även att förädling inriktad på de "torra" regionernas nyckelgrödor, hirs och durra, har varit blygsam. Dessutom är det svårt att uppnå resultat när det gäller minskad känslighet för vattenstress (Unesco, 1990). Bristen på förädling på durra och hirs i semi-arida och arida områden betonas även av Davis (Davis, 1986).

FAO/FN konstaterar att HYV-konceptet för ris kanske måste revidera från högavkastande men vattenkänsliga sorter, till vatten-toleranta sorter (FAO/UN, 1990). I exempelvis Afrika där efterfrågan på ris är stor, odlas endast ca 14 procent av arealen med förbättrade rissorter (Unesco, 1990). Om det är realistiskt att inom en överskådlig tid uppnå denna "kursändring" berörs inte.

### 3.4.5. Kombination av metoder. Hur mycket ökar avkastningen?

Venkateswarlu talar om "untapped yield potentials in drylands", outnyttjad avkastningspotential, som i Indiens "torra" regioner skulle orsakas av:

- användning av traditionella lågavkastande sorter
- brister i odlingsteknik, som såtider o.s.v.
- de lokala sorternas svaga gensvar på mineralgödning
- felaktig markhantering.

I försök på olika jordmåner och klimatzoner i Indien har han kunnat påvisa upp till 8 ggr högre skördar genom kombinerade förbättringar i växtodlingen (tab 7). I förbättringarna ingick: rätt jordbearbetning, tidig sådd, val av rätt grödor och sorter, optimal plantpopulation, tidsberäkning av ogräs- och sjukdomsbekämpning, samt balanserad användning av gödningsmedel.

**Tabell 7.** Skördeökningar vid förbättrad odlingsteknik för durra och hirs odlad på olika jordmåner i Indien

Jordmån	Klimatzon	Gröda	Avkastning [kg/ha]	
			Traditionell odling	Förbättrad odling
Aridisol	Arid	hirs	300	1800
	Arid	hirs	300	3400
Entisol	Semi-arid	hirs	700	2000
Inceptisol				
Vertisol	Semi-arid	durra	500	1800
	Semi-arid	durra	300	2400
Alfisol	Semi-arid	durra	400	3600
	Semi-arid	durra	300	1400
	Semi-arid	hirs (finger)	1000	3700

Källa: Venkateswarlu 1987 efter Venkateswarlu, 1981

Tabellens resultat visar vilka potentiella möjligheter som finns att öka skördarna inom ramen för det tillgängliga regnvattnet. Enligt Venkateswarlu går det att urskilja de olika åtgärdernas bidrag till skördeökningarna. Effektivare odlingsteknik och mark- och vattenhantering bidrar med upp till 22 procent av skördeökningen. Nya sorter med upp till 40 procent och mineralgödning 50 procent av skördeökningen. Synergieffekten när dessa åtgärder kombineras blir en skördeökning på upp till 164 procent. Hans slutsats är att effektiv hantering av mark och vatten i syfte att maximera mängden växttillgängligt vatten är den primära uppgiften i det "torra" regionernas jordbruk. Steg två är att införa förbättrade grödor och insatsmedel (Venkateswarlu, 1987).

FAO redovisar framgångar med sitt s.k. *Fertilizer programme* i Afrika. Förbättrad mark- och vattenanvändning i kombination med ökad tillförsel av mineralgödsel har på fält i exempelvis Burkina Faso i Afrikas Sahel region, resulterat i ökning av hirsskörden från riksgenomsnittet på 430 kg/ha till 1160 kg/ha (FAO, 1986b).

Rees m.fl. rapporterar om förbättrad WUE och skördeökningar på upp till 30 procent i veteodling vid kombination av ytvattenodling och fosforgödning i Indien (Rees et al, 1988).

Unger har kunnat påvisa skördeökningar på upp till 1 ton/ha genom att kombinera minskad jordbearbetning, växtrester och kemisk ogräsbekämpning. Resultatet uppnåddes genom att det växttillgängliga markvattnet ökade med 50 - 70 mm (Unger, 1990).

Perrier framför de stora möjligheter som finns att öka och stabilisera jordbruksproduktionen i semi-arida regioner genom kombination av småskalig bevattning, vatteninsamling och ytvattenodling. Jordbruket baseras på användning av hela avrinningsområden som "vatten-källa" och beroende på regnets frekvens och volym utnyttjas de olika metoderna för att säkra en stabil tillförsel av vatten till rotzonen. Stabiliseringen kan sedan lägga grunden för en intensivare och mera risktagande odling med insatsmedel och förädlande sorter. Avkastningen kan höjas avsevärt (Perrier, 1988).

AICRPDA (All Indien Coordinated Dryland Agriculture Project) och ICRISAT kan redovisa skördeökningar i försöksstationer i Indiens arida och semi-arida regioner som överstiger lantbrukarnas medelskördar med 5 - 10 ggr för både hirs och durra (Kanwar, 1978). ICRISAT presenterar i senare försök stora skördeökningar vid odling av två grödor per säsong på vertisol. En gröda odlas under regnsäsongen (som normalt ligger i träda) och nästa gröda odlas efter regnen. Denna förlängning av odlingssäsongen, som normalt innebär blandning av en spannmålsgröda och en baljväxt, i kombination med förbättrade odlingsmetoder, minskade förluster i evaporation och djupdränering från 46 till 20 procent av P. ET ökade från 30 till 67 procent och skördarna ökade från drygt 1000 till 3000 kg/ha för spannmålsgrödan (durra alternativt hirs) och från drygt 500 till 1000 kg/ha för baljväxten (någon ärtväxt) (Virmani et al, 1989). Viktigt att ha i åtanke när det gäller dessa försök är att de utförs på vertisol som vid god hantering (vilket kan förutsättas vid en försöksstation) har mycket hög vattenhållningsförmåga. I regionen där försöken utförs är P>750 mm och

växstsäsongens längd 6 - 7 månader, vilket ligger i den "våtare" marginalen av det torra sub-humida klimatet.

Det är svårt att säga hur tillämpbara de beskrivna försöken är utanför försöksstationerna. Flera referenser menar att odlingsresultat från parceller med optimal kombination av odlingsbetingelser aldrig går att uppnå från de praktiserande jordbrukarnas åkrar (Reij et al, 1988; Lal, 1990). Däremot visar denna typ av försöksresultat att det finns möjligheter att öka avkastningen genom förbättrat utnyttjande av vattentillgången.

#### **4. VATTENTILLGÅNGENS BETYDELSE: ANALYS OCH DISKUSSION**

Hypotesen förutsätter att det finns tillräcklig mängd växttillgängligt vatten i marken för att försörja de "torra" utvecklingsländernas framtida skördeökningar. För att kunna göra en bedömning om detta är möjligt har uppsatsen hittills beskrivit: växternas behov av vatten; vattenbristens effekter på avkastningen; det otillförlitliga och fluktuerande regnet; regnets flödesbanor; markens betydelse för vattentillgången; jordmånernas egenskaper; samt olika möjligheter att höja avkastningen i "torra" regioner. Med detta som utgångspunkt görs här en analys av hypotesens riktighet.

##### **4.1. Hur mycket vatten behövs för att öka skördarna i Afrika?**

En kärnfråga för att kunna analysera hypotesen är *hur mycket vatten måste åberopas i ökad ET för att genomföra skördeökningar som täcker de "torra" utvecklingsländernas försörjningsbehov?* I uppsatsen har flera referenser med varierande uppgifter om grödors vattenbehov presenterats (Doorenbos & Kassam, 1979; FAO/UN, 1990; Falkenmark, 1986). Det genomsnittliga behovet av vatten för de huvudsakliga stapelgrödorna (durra, hirs, majs) i semi-arida och torra sub-humida regioner hamnar i storleksordningen 700-1500 m<sup>3</sup> (70 - 150 mm) per ton producerad torrs substans. För att uppnå 2 - 4 gånger högre skördar måste vattenstress, d.v.s. perioder då  $ET_a < ET_m$ , undvikas. I uppsatsen refereras effekterna av minskad  $ET_a$  i form av sjunkande avkastningsnivåer (Doorenbos & Kassam, 1979), och stadier under olika grödors tillväxt som är särskilt känsliga för vattenstress (L'vovitch, 1979; Doorenbos & Kassam, 1979).

I FAO:s prognoser över nödvändiga skördeökningar i utvecklingsländerna görs inget försök att bedöma hur mycket vatten som skulle åberopas. Eftersom detta är en avgörande fråga i försöket att ta ställning till hypotesens riktighet, har jag genomfört en approximativ beräkning över vattenåtgången för att genomföra FAO:s bedömningar av nödvändiga skördeökningar i Afrika. Syftet är att få en uppfattning om hur stor andel av den totala vattentillgången som skulle behövas för att uppnå skördeökningar som håller jämna steg med befolkningsökningen. Beroende på hur stora vattenmängder som behövs bör det gå att få en indikation om vattentillgångens betydelse.

I beräkningen ingår alla arida, semi-arida och sub-humida länder i Afrika och beräkningar är gjorda för år 2000 och 2025. Uppgifter över nödvändiga intensitetshöjningar i jordbruket är hämtade ur FAO:s PPSC och FAO:s

*Consultation on irrigation in Africa* (FAO, 1987a). Enligt dessa studier kommer 16 av de 31 länder som ingår i beräkningen att vara oförmögna att försörja sina befolkningar år 2000 med "traditionell" teknik. 12 länder är kritiska med "extensiv" teknik och 3 länder kan inte försörja sina befolkningar med "intensiv" teknik.

Detaljerad beskrivning av beräkningar, antaganden och resultat finns i Bilaga I. Länder kritiska vid "traditionell" teknik måste övergå till "extensiv" teknik vilket innebär en fördubbling av skörden från 1 till 2 ton/ha. Länder kritiska vid "extensiv" nivå måste gå från den ursprungliga skörden på 1 ton/ha till en fyrdubblad skörd vid "intensiv" teknik. Länder kritiska vid "intensiv" teknik måste genomgå motsvarande fyrdubbling som länder kritiska vid "extensiv", men här antas vattenåtgången vara högre. Vid skördeökningar (intensitetshöjningar) antas 1000 m<sup>3</sup> vatten återgå till atmosfären i form av ET för varje producerat ton spannmål. Genom att utgå från FAO:s siffror över odlad areal 1982 (för beräkning av vattenåtgång år 2000) och den potentiella arealen (beräkning år 2025), förväntade befolkningar och vattentillgången per capita enligt L'vovitch och Harrison (Falkenmark, 1989 efter L'vovitch 1979; Harrison, 1984), går det att göra en approximativ bedömning av hur stor andel av vattentillgången som måste åberopas.

Beräkningarna visar att i genomsnitt 18 procent av den totala vattentillgången i Afrikas arida, semi-arida och sub-humida länder måste användas för att uppnå nödvändiga skördeökningar fram till år 2000. Tunisien ingår inte i medelvärdet på 18 procent eftersom landet skulle behöva hela 150 procent av sin vattentillgång redan år 2000. Libyen, Marocco, Burundi och Niger skulle åberopa över 40 procent av sin vattentillgång för att klara skördeökningarna. Tar man bort de 14 länder som klarar skördeökningarna med mindre än 10 procent av tillgången blir den genomsnittliga vattenåtgången 30 procent.

År 2025 har situationen förvärrats betydligt. Av den totala vattentillgången skulle 49 procent användas för att uppnå de nödvändiga skördeökningarna (exklusive Tunisien som skulle behöva 350 procent). 7 länder måste utnyttja 70 procent eller mer av sin vattentillgång. Endast Egypten och Namibia skulle kunna använda mindre än 20 procent av sin vattentillgång för att klara produktionsökningen.

Egypten och Libyen är exempel på två länder som kan ge missvisande värden vid denna form av beräkningar. Egypten bevattnar över 90 procent av sitt jordbruk och utnyttjar redan idag nära 100 procent av sin förnybara vattentillgång. Libyen utnyttjar sedan flera år långt över sin förnybara vattentillgång genom att exploatera fossila vattenförekomster (Falkenmark, 1986).

Frågan är om det är realistiskt att en så stor andel av den totala vattentillgången kan utnyttjas endast till skördeökningar? Beräkningen ger en indikation om att hypotesens förutsättning; att vattentillgången räcker för att öka skördarna, rent teoretiskt skulle kunna uppfyllas. Falkenmark och Lindh (Falkenmark, 1990; Lindh, 1979) menar att ett realistiskt vattenuttag i utvecklingsländer är 10 - 20 procent av vattentillgången. Med "realistiskt" i detta sammanhang menas att det saknas kunskap, resurser

och yrkeskompetens för att klara ett ökat vattenuttag. Det råder således inte ett direkt fysiskt hinder för ökat vattenutnyttjande. Alla länder utom Egypten och Namibia kommer enligt beräkningen att passera gränsen för realistiskt vattenutnyttjande år 2025.

I detta avseende är det viktigt att skilja på den vattentillgång som jag syftar till ovan och i beräkningen, med det vatten som faktiskt används för ET. Vattentillgången i beräkningen består av L'vovitch data över avrinningsvatten, det vill säga ytavrinning och dränerat vatten som bildar grundvatten och vattendrag. Detta är den tillgängliga och förnybara vattentillgången som används i hushåll, industri och det övriga samhället. Evapotranspirationen i det regnförsörjda jordbruket utnyttjar delar av den övriga vattentillgången, d.v.s. vatten som infiltrerat och som tar den korta flödesbanan genom växten, eller vatten som evaporerar från marken eller växtens bladtytor. Effekten blir att beräkningen inte direkt visar andelen av den totala vattentillgången som grödorna skulle göra anspråk på, utan den del av vattentillgången övriga vattenanvändare *måste avstå ifrån*. Enkelt uttryckt innebär det att ju större del av regnet som används till ET vid skördeökningar, desto mindre vatten når grundvattnet och vattendrag. Vattentillgången minskar i samhället.

Beräkningen illustrerar den samlade effekten av de förväntade befolkningsökningarna. Vattentillgången per capita minskar och behovet av vatten till ET för att klara nödvändiga skördeökningar ökar. Resultaten är förknippade med ett antal antaganden och grundas på oprecisa data, vilket minskar möjligheten att dra några långtgående slutsatser. Beräkningen ger dock en indikation om den stora andel av vattentillgången som måste uppoffras för att försörja växternas ökade återflöde av vatten till atmosfären. Denna typ av överslagsberäkning väcker därför frågan om prognoserna över de "torra" regionernas expansiva jordbruksproduktion är realistiska? En fråga som borde leda till en fördjupad granskning av relationen mellan den faktiska vattenåtgången vid skördeökningar i "torra" regioner och den faktiska tillgången på vatten.

Även om FAO:s kriterier för "intensiv" teknik gick att uppfylla; att optimal mark- och vattenbevarande åtgärder införs och att utarmning i princip undviks, innebär en vattenåtgång på ca 50 procent av vattentillgången år 2025, ett mycket stort uttag enbart för skördeökningar. Trots att de arealer som använts i beräkningarna understiger den expansion som förutsattes i exempelvis PPSC, vilket i detta avseende gör beräkningen konservativ eftersom ökad areal innebär ökad vattenåtgång, visar beräkningen att vattenfaktorn inte går att bortse ifrån vid försök att öka jordbruksproduktionen.

Om beräkningarna stämmer; att en stor andel av vattentillgången måste försakas för att klara skördeökningarna, måste en av de mest centrala uppgifterna i utvecklingen av de "torra" regionernas jordbruk vara att minimera vattenförluster. Det är här mark- och vattenbevarande åtgärder kan spela en avgörande roll. Genom att minimera evaporationsförluster, och maximera grödornas transpiration genom kompletterande bevattning vid torka, skulle skördeökningar kunna ske utan att konsumera en så stor andel av vattentillgången. Jordbruket skulle öka avkastningen genom att använda tidigare förluster istället för avrinningstillgången.



## 4.2. Hur mycket vatten behöver växten?

Det finns skillnader i utgångspunkt för beräkning av tillgången på växttillgängligt vatten under odlingsäsongen, det vill säga grunden för bedömning av odlingspotentialen. I den tidigare refererade IAHS-publikationen konstaterar Gregory (Gregory, 1991) att markens djup och textur är de huvudsakliga faktorer som påverkar lagring av markvatten, vilket har direkt effekt på odlingsäsongens potentiella längd. Flera referenser betonar att en relevant planering av jordbruksproduktionens potential i "torra" regioner, förutsätter en kombination av nederbördsdata och data över jordmånens infiltrationskapacitet och vattenhållande förmåga (Venkateswarlu, 1987; Payne, 1991; Lal, 1991; Hillel, 1980b; Jackson, 1989).

Växstsäsongens längd blir således två olika storheter beroende på om utgångspunkten är markens fysikaliska och strukturella sammansättning, eller endast förhållandet mellan P och PET.

I definitioner som LGP kan inte hänsyn tas till olika jordmånens infiltrationskapacitet, ytavrinning och markens vattenhållande förmåga. Eftersom dessa storheter styrs av regnets intensitet och frekvens (som avgör markens initiala vätning och därmed konduktivitet och hydrauliskt tryck), blir årsmedelvärden av P applicerade på stora regioner mycket osäkra (Jackson, 1989). ICRISAT definierar växstsäsongens längd efter antal månader som P överstiger PET, medan LGP anges efter de antal dagar P överstiger halva PET. Effekten bör bli att de på pappret potentiella odlingsmöjligheterna minskar med ICRISAT:s indelning, eftersom längden på förväntad odlingsäsong blir kortare. Dessutom kommer LGP att innefatta perioder med låg eller obefintlig mängd växttillgängligt vatten då  $P=0,5PET$ . Dessa infaller under groning och mognad/skörd som i uppsatsen lyfts fram som de mest kritiska perioderna under grödans tillväxt. Eftersom grödans vattenbehov generellt är lägre vid början och slutet av odlingsäsongen är det svårt att sluta sig till att någon av definitionerna skulle vara felaktig. Frågan är om FAO:s beräkningsgrunder för växstsäsongens längd är tillräckligt detaljerade för att ge en korrekt bild av mängden växttillgängligt vatten i marken.

I regnförsöjt jordbruk styrs  $ET_a$ , förutom av PET, även av regnets intensitet och frekvens, dess fördelning ovan och under mark och hur stor del av det infiltrerade vattnet som blir växttillgängligt för rötterna. Det är viktigt att ha i åtanke att den i uppsatsen beskrivna modellen för beräkning av relationen mellan avkastning och vattentillgång (kapitlet *vatten och avkastning*), förutsätter att det inte förekommer någon ytavrinning eller dränering. Ett antagande som snarare är regel än undantag vid olika vattenbalansberäkningar. Detta kan vara sant i små avgränsade försöksrutor (parceller) men samtidigt utgöra huvudflöden av vatten på större fält eller hela avrinningsområden (Lal, 1990). Marken i semi-arida och arida områden har generellt låg andel organiskt material, låg-aktiva lermineral och är känslig för skorpbildning. Med korta intensiva regn innebär detta att en stor del av regnet kan gå förlorat som ytavrinning. Något som i fält med en ytavrinning på 50 procent av P och med eventuell dränering vid intensiva regn, försvårar möjligheten för  $ET_a$  att uppnå  $ET_m$ . Effekten blir att växten riskerar att drabbas av produktionssänkande vattenstress.

En växt som drabbas av torkstress uppvisar sänkt vattenpotential, slutning av stomata, bladrollning, avstannad tillväxt och sedermera vissning. Kunskap finns om relationer mellan markvattnets flödesprocesser och växternas upptag och beroende av vatten. Däremot saknas forskningsinformation om reaktioner hos de huvudsakliga stapelgrödorna hirs (*pennisetum typhoides*), durra (*Sorghum bicolor*), jordnöt (*arachis hypogea*) eller "dov-ärt" (eng *pigeon pea*) (*Cajanus cajan*), vid brist på markvatten under fältförhållanden (Lal, 1991).

Det är svårt att bedöma huruvida definitioner på växtsäsongens längd anger en period då växttillgängligt vatten verkligen finns för att möjliggöra skördeökningar. Dessutom saknas tillräcklig kunskap om relationen mellan vattenbrist och skördeökningar hos de "torra" regionernas stapelgrödor.

#### 4.3. Hur stor är vattentillgången?

Trots stora misslyckanden med bevattningsprojekt och det faktum att den starka expansionen på 70-talet dalat till ett *status quo*, finns det genomgående en stark tro på möjligheterna att öka den bevattnade arealen. Enligt FAO:s prognoser 1988 skulle 2/3 av den ökade odlingsarealen uppnås genom expansion av bevattning. 55 miljoner ha ny mark skulle bevattnas och andelen redan odlad mark under bevattning skulle öka från 132 till 204 miljoner ha. Frågan om vattentillgången finns för att försörja denna expansion ställdes aldrig. Expansionen kommer som tidigare nämnts inte att uppnås enligt senare rapporter från FN och FAO (FAO/UN, 1990), men fortfarande skall ny bevattning som möjliggör intensivare odling ha högsta prioritet.

Uppgifter om storleken på förnybara och icke förnybara grundvattenförekomster går starkt isär. Medan vissa hävdar att det är en mycket osäker källa till bevattning (Ayensu, 1985; Charreau & Rouanet, 1986), framför exempelvis Ahmad att torkan i Afrika främst skall bekämpas genom exploatering av outnyttjade grundvattentäkterna (Ahmad, 1988). FAO och FN konstaterar att ökenjordbruket i länder som Saudi Arabien, Bahrain, Oman och Kuwait är helt beroende av icke förnybart grundvatten. Alla länder i västra Asien har enligt rapporten problem med utarmning av yt- och grundvattenförekomster. Även i Indien och Kina konstateras problem med överutnyttjande av grundvattnet (FAO/UNDP/UN DTCD, 1991).

Bristen på hydrologiska data över de regnförsörjda regionernas vattenbalanser förstärker bilden av att det saknas tillräcklig kunskap om den verkliga tillgången på vatten i "torra" regioner.

Att indela torra sub-humida, semi-arida och arida områden efter förhållandet mellan P och PET, tycks vara ett vedertaget system, även om det finns olika beräkningsmetoder (Bilaga II). Den begränsande ramen, med i genomsnitt ca 2-7 månader då P överstiger en viss andel av PET, som ingångsvärde vid försök att öka produktionen av biomassa är väl etablerad. Frågan är snarare i hur stor utsträckning hänsyn tas till alla de flödesbanor denna "nettotillgång" på vatten kan välja förutom att nå rotzonen? Denna fråga är oerhört viktig eftersom underlag för bedömning av odlings- och bevattningspotentialer, måste utgå från vattenmängden i rotzonen. Frågan

är även hur tillförlitliga de data som finns över PET och P är, och hur stor den lokala och årliga variationen är i dessa data?

Förhållandet mellan P och PET är ett för oprecist mått för att självständigt kunna ligga till grund för bedömning av odlingsbetingelser. Trots detta förekommer generella jämförelser mellan olika regioner, där likartade värden på P och PET används som intäkt för att kunna överföra odlingsmetoder och teknik från den mera framgångsrika regionen. Ett exempel är när framgångarna vid odling av hybridmajs i Zimbabwe lyfts fram till stöd för möjligheten att utveckla jordbruksproduktion i Sahel-regionen (FAO, 1986b). Indiens skördeökningar på 2,4 procent per år från mitten av 60-talet, jämförs med Afrikas tillväxt på 0,1 procent. Orsakerna till skillnaderna anses i huvudsak vara brist på teknologiutveckling (FAO, 1990b).

#### **4.4. Synen på vattnets roll för att uppnå skördeökningar**

Vattnets plats i studier och prognoser över den framtida jordbruksproduktionen varierar. Samtliga studier av internationell karaktär som undersökts (FAO, Unesco, FN, Världsbanken o.s.v.), innehåller något/några kapitel om mark- och vattenbevarande åtgärder och betydelsen av att det finns tillräckligt med växttillgängligt vatten i marken. Problemet är att de mark- och vattenbegränsningar som lyfts fram sällan påverkar studiernas slutsatser och prognoser över framtidens jordbruksproduktion.

PPSC-studien förutsätter att mark- och vattenbevarande åtgärder ökar med ökad intensitet i produktionen. Jordbruk som bedrivs med "intensiv" teknik saknar i princip utarmning och använder sig av optimal vattenhantering (FAO, 1983). Om det går att uppnå optimal mark- och vattenhantering, och om detta skulle tillföra tillräckliga mängder vatten för att försörja den ökade jordbruksproduktionen framgår inte. Alexandratos konstaterar i studien *World agriculture toward 2000* att 80 procent av utvecklingsländernas potentiella odlingsmark finns i sub-humida och semi-arida områden, samt att dessa kännetecknas av osäkra och varierande regnmängder. Teknologi för att bättre förstå förhållandet mellan mark, växter och atmosfär måste utvecklas om bärkraften och vatteneffektiviteten hos de regnförsörjda odlingsystemen skall kunna förbättras (FAO, 1988a). Trots denna osäkerhet är huvudbudskapet i studien att jordbruksproduktionen skall höjas genom ökad bevattning och mekanisering, bättre utsäde, mer än en fördubbling av mängden mineralgödsel, intensivare odlingsmetoder (mindre träda) och expansion av odlingsarealen.

I länder som saknar ny mark att exploatera måste intensiteten enligt studien öka snabbare. Detta gäller i synnerhet Nordost- och Nordafrika, där "*desert lands and rainfed lands must be drawn in for irrigation*", vilket innebär att den enda källan till skördeökning blir genom ökad bevattning av regnförsörjda regioner och ökenområden (FAO, 1988a). Varifrån vattnet skall komma ifrån; det vatten som på sidorna 132-133 och 238-239 konstateras vara en begränsande faktor i "torra" regioner, framgår inte i dessa prognoser över framtidens expansiva jordbruksutveckling.

Afrika behöver sin egen gröna revolution, konstaterar Harrison i sin bok *The greening of Afrika* (Harrison, 1984). Liknande resonemang förs av Davis, men han betonar även vikten av att anpassa teknologiutvecklingen i "torra" regioner till rådande agroekologiska förhållanden (Davis, 1986).

Harrison konstaterar senare i sin bok att utvecklingen i Afrika inte kan följa Asiens exempel. Klimatvariationerna gör att utvecklingen måste bygga på låga kostnader och små risker, lågt importberoende och små mängder insatsmedel. Förädling bör inriktas på stapelgrödorna hirs, durra och cassava, där man hittills inte lyckats uppnå några större framsteg. I ett symposium om *Arid zone development* (Amiran et al, 1977) framförs att nya högavkastande grödor i kombination med sofistikerad teknik, insatsmedel och sjukdomskontroll, kommer att öka exempelvis skörden av vete från 1 till 4 ton/ha. Detta utan att insatsbehovet kommer att öka. Det betonas dock att denna "insatsfria" ökning förutsätter tillgång på vatten.

Ett antal "men", orsakade av olika kontinenters skillnader i klimat och odlingskultur, framträder således i dessa försök att med förädling och teknologi öka avkastningen i "torra" regioner.

FAO konstaterar i rapporten *African agriculture the next 25 years*, att lösningen på Afrikas problem finns bland de fyra I:na: *Incentives, Inputs, Institutions, och Infrastructure* (FAO, 1986a). Orsakerna till den låga avkastningen och den svaga utvecklingen i Afrikas jordbruk består således av bristen på socio-ekonomiska *incitament*, för lite *insatsmedel*, avsaknaden av fungerande *institutioner* i samhället, och till sist Afrikas svaga eller obefintliga *infrastruktur*. Den minskade takten på Afrikas arealexpansion måste brytas, och fram till år 2010 skall odlingsarealen öka från 215 till 265 miljoner ha. Detsamma gäller bevattningen som skall öka från det blygsamma och sedan ett årtionde stabila 9,5 miljoner ha till 14,5 miljoner ha.

Denna FAO-studie klargör mycket tydligt Afrikas agroklimatologiska begränsningar (Annex II, *The land resource base*). Av den totala arealen på 2884 miljoner ha är 46 procent eller 1312 miljoner ha fullständigt olämpliga för direkt regnförsörjt jordbruk (LGP = 0 - 74), vilket bevisligen sällar bort de arida regionerna. Regioner med LGP från 75 - 119 dagar, d.v.s. de 8 procent av arealen som består av semi-arida regioner, lider av allvarlig brist på markvatten. 16 procent lider av överskott på markvatten (LGP > 269), vilket innebär att endast 30 procent, eller 544,5 miljoner ha med LGP från 120 - 269 dagar är väl lämpade för regnförsörjd odling av stapelgrödorna hirs, durra och majs (FAO, 1986b). Innebörden av detta är att studien *de facto* höjer stora frågetecken kring möjligheten att säkra en stabil jordbruksproduktion i exempelvis hela Sudan-Sahel regionen som har 233 miljoner ha inom den semi-arida klimatzonen (LGP = 75 - 119) och 488 miljoner ha i arid klimatzon (LGP = 1 - 74). Orsaken är naturlig vattenbrist, orsakad av extrema interannuella fluktuationer och långsträckta torrperioder. Regelrätta torrår som leder till allvarlig vattenstress inträffar enligt studien 4 av 5 år, d.v.s. vid den medelnederbörd som infaller med 80 procents sannolikhet. Den övergripande slutsatsen blir enligt studien att de flesta semi-arida områden tenderar att drabbas av långsträckta torrperioder inom ramen för sitt naturliga regnmönster (FAO, 1986b). FAO/FN:s rapport från 1991 om vattenanvändning i jordbruket (*Agricultural water use - Assessment of progress in the implementation of the Mar del Plata Action Plan*) refererar till ovanstående bedömning om potentiell odlingsareal i Afrika (FAO/UNDP/UN DTCD, 1991). Denna bedömning av klimatologiska begränsningar för jordbruksproduktion i Afrika skall jämföras med PPSC som kommer fram till att 53 procent av Afrikas areal är lämpad för regnförsörjt jordbruk ur klimatsynpunkt.

FAO-studien *African agriculture: the next 25 years* innehåller därmed motstridiga uppgifter i förhållande till PPSC både vad gäller omfattningen av den potentiella odlingsarealen och möjligheterna att bedriva jordbruk i arida och semi-arida regioner. Det som förvånar i denna studie är förstås att trots den klara markeringen av både vattnets och markens begränsning (visserligen i en bilaga till huvudrapporten), anses hindren att nå framgång i Afrikas jordbruksutveckling främst vara av socio-ekonomisk natur (slutsats i huvudrapporten). Frågetecknen förstärks när studien senare gör en prognos över markbehoven år 2010. Där konstateras att markbehovet för växtodling, bete och skog i 4 av 6 regioner i Afrika överstiger den befintliga marktillgången (semi-arida och sub-humida regionerna i Nordafrika, Sudano-Sahel, Östafrika och Sydafrika). Markbristen är beräknad vid "traditionell" teknik. Lösningen på denna markbrist blir att "*promote multiple land use*", d.v.s. att öka intensiteten i jordbruket genom minskad träda, ökad samodling, olika former av agroforestry och *alley cropping* .

Unesco drar liknande slutsatser som FAO och konstaterar att de vanligaste hindren i försöken att öka jordbruksproduktionen i tropiska och subtropiska regioner är av politisk, social och ekonomisk karaktär. Lantbrukaren behöver lära sig ny odlingsteknik och måste även kunna låna pengar för att köpa mineralgödsel, utsäde och utrustning (Unesco, 1990). Unesco framhåller de stora möjligheterna att liksom Indien, Kina och Japan, öka jordbruksproduktionen drastiskt genom förädling och intensivare odling. Genom att odla flera grödor per säsong, bevattning under torrperioder, effektiv odlingsteknik och ökat utnyttjande av insatsmedel, kan skördarna i de mest fördelaktiga situationer öka från 2 till 20 ton/ha under en odlingssäsong. Produktionen av majs har fyrdubblats under 30 år och produktionen ökar fortfarande med 1 - 2 procent per år. Detta illustrerar den stora potential som finns, och ett problem för de flesta "torra" områden där avkastningen inte ökat är att jordbruksforskningen varit *otillräcklig* eller *felriktad*. Förädling av grödor som hirs, durra och cassava har varit obefintlig och den ökade produktionen har främst fått ske genom ökad areal (Unesco, 1990).

Det finns flera exempel på uppsatser från internationella symposier och forskningslitteratur som förlitar sig på teknologins möjligheter att *få ökenområden att blomstra*. Israel tas ofta upp som en ledstjärna. Ett land med semi-arid till arid klimatzon som lyckats utveckla en tillfredställande försörjningsnivå genom intensiv odling och vattenplanering. Införande av växthus och odling av högvärdiga grönsaker, avsaltningsteknik, växtförädling, artificiellt framkallad nederbörd, användning av stomataslutande kemikalier och framförallt ett definitivt övergivande av det traditionella jordbruket, är några av de huvudområden som skall lyfta det "torra" jordbruket ur sitt ineffektiva gissel. Vattenbehov täcks genom ökat utnyttjande av grundvattenförekomster, effektivare bevattning och torkresistenta sorter (Singer & Mundlak, 1975; Rajat De, 1981; Uppchurch, 1981; Cluff, 1982).

"Torra" regioners problem skall därmed lösas med i huvudsak "torra" lösningar, d.v.s lösningar som baseras på teknologisk- och socio-ekonomisk utveckling som utgår från produktionshöjande insatser som förutsätter att tillgängligt vatten finns. Den ovan refererade litteraturen skrevs under

slutet av 70-talet och början av 80-talet, vilket innebär att det är svårt att veta vilken giltighet den har idag. Senare litteratur trycker i högre grad på integration mellan teknologi och mark- och vattenhantering. Samtidigt innehåller Unesco-studien och FAO-studierna som beskrevs ovan, budskapet att ökad produktion går att uppnå genom intensivare odling baserad på ny teknologi.

Två viktiga förklaringar till Israels jordbruksutveckling är att vattenanvändningen per capita är låg, samtidigt som landet använder mer än 100 procent av vattentillgången (Falkenmark, 1989). Den odlade arealen ökade inte nämnvärt under perioden 1952-72 utan låg konstant mellan 0,88 och 1,05 miljoner ha. Samtidigt ökade det årliga vattenuttaget till jordbruket från 468 till 1275 miljoner m<sup>3</sup>. Detta innebär att Israel under perioden ökade vattentillförseln med hela 769 m<sup>3</sup>/ha eller 769 mm vatten per ha och år (Singer & Mundlak, 1975). Förädling och förbättrad organisation är förstås viktiga förklaringar till att Japan lyckats höja sina risskördar (paddy) från ca 2 till 10 ton/ha. Samtidigt måste rimligtvis tillgången på växttillgängligt vatten för att försörja skördeökningarna ha funnits. Enligt Doorenbos och Kassam kräver ris (paddy) en evapotranspiration på 900 - 1500 m<sup>3</sup>/ton kärnskörd (vattenhalt 15 - 20 procent), d.v.s. varje hektar måste tillföras 90 till 150 mm vatten för att öka skörden ett ton. Liknande resonemang bör kunna tillämpas på Indien och Kina där bevattningen ökat i takt med införande av högavkastande ris- och vetesorter.

En genomgående svaghet i studier över jordbruksproduktionen i utvecklingsländer är att det saknas reella försök att koppla de förväntade skördeökningarna, med den faktiska vattentillgången och den rådande vattenkonkurrensen. Studierna stannar vid frågan om hur mycket mark och vatten som behövs för att försörja den förväntade befolkningsökningen, istället för att ta steget vidare och fråga sig hur mycket växttillgängligt vatten som verkligen finns, och utifrån detta ta ställning till den *möjliga* jordbruksproduktionen. Som tidigare nämnts identifieras agrohydrologiska zoner på flera olika sätt, vilket gör att definitionen av arida, semi-arida och torra sub-humida regioner ofta blir godtycklig och schablonmässig. Tveksamheten till LGP-begreppet som grund för bedömning av odlingspotentialen, framförallt risken för vattenstress under torrår och bristen på koppling till den faktiska vattenmängden i rotzonen, har förts fram tidigare i uppsatsen. Osäkerheten över de "torra" regionernas växttillgängliga vattentillgång återspeglas inte i de prognoser över produktionsökningar som förväntas ske. Ofta tror jag att den stora osäkerheten och bristen på data över klimatförhållanden och markvatteninnehåll, gör att internationella organ som FAO i övergripande prognoser inte alltid tar hänsyn till de oerhörda skillnaderna i vattentillgång; exempelvis i en semi-arid region under det normalt återkommande torråret, jämfört med det mera sällsynta "normal"- året med P kring årsmedelvärdet. Effekten blir att flera av de teknologibaserade projekt som utarbetats och som skjutsats fram tack vare framgång på någon försöksstation i en angränsande klimatzon, i grunden är beroende av stabil vattentillförsel som överstiger *realistiska* regnmängder i flera arida, semi-arida och torra sub-humida regioner.

#### 4.5. Olika aktörer

I litteraturen går det att utläsa klara skillnader i synen på vattnets roll i försöken av öka avkastningen. Jag har försökt identifiera olika aktörer på

"utvecklingsländernas vatten-arena" och har funnit två huvudkategorier som utkristalliseras genom deras skilda perspektiv på vatten. Den ena kategorien kallar jag för *behovsriktad* och den andra för *tillgångsriktad*.

Bland *debehovsriktade* aktörerna ingår de internationella organ och symposier som försöker lägga prognoser om utvecklingsländerna framtida försörjningsförmåga. Här återfinns bland annat FAO:s studier om utvecklingsländerna framtida bärkraft (PPSC), Afrikas framtida utveckling (FAO, 1986a, b), Unesco:s *Feeding tomorrows world* (Unesco, 1990), Alexandratos *World agriculture toward 2000* (FAO, 1988), Världsbankens *Proceedings of the Sixth agricultural sector symposium* (Davis, 1986) och FAO/FN-rapporten *An international action programme on water and sustainable agricultural development* (FAO/UN, 1990). I dessa rapporter läggs tonvikten på strategier för att utveckla jordbruksproduktionen i takt med befolkningsökningen. Produktionshöjningen skall som tidigare refererats ske genom ökad bevattning, användning av insatsmedel, förädling och genom att överbrygga socio-ekonomiska hinder. Parallellt med detta skall vatten- och markbevarande åtgärder sättas in. Det överordnade målet är att uppnå en viss livsmedelsproduktion. Därefter ställs *eventuellt* frågan om hur stort vattenbehovet är. Alternativt tas LGP, statistik över årsmedelnederbörd, eller tidigare erfarenheter från liknande klimatområden, till intäkt för att vattenbehovet kan täckas.

Den andra aktörgruppen, de *tillgångsriktade*, består av en blandad skara mark- och vattenforskare som studerar odlingspotentialen utifrån ett tillgångsperspektiv. Här återfinns forskare som utgår från markens hydrauliska egenskaper och som menar att produktionen styrs av markens textur och struktur, samt rotzonens vatteninnehåll. Regnets flödesbanor, med utgångspunkt från lokala klimatmönster och avrinningsområden, styr den infiltrerade vattenmängden. Denna aktörgrupp består således av exempelvis agronomer, agrohydrologer och hydrologer som på regional eller lokal nivå försöker utveckla jordbruket efter rådande klimat, mark och växtförhållanden. Här finns forskare som försöker utarbeta metoder för jordbearbetning och odlingsystem anpassade efter aktuella jordmåner. Exempel på *tillgångsriktade* aktörer finns i referenser från serien *Advances in Soil science*, litteratur från ICRISAT och IAHS (Sivakumar & Wallace, 1990), och FAO:s *Soil Bulletin* (FAO, 1988b).

Här återfinns även den, vad jag kan förstå, breda kunskapen om vattenbalansens flöden, markens hydrauliska egenskaper, om relationen mellan jordmån, rotutveckling och växttillgängligt vatten, om de meteorologiska förhållanden som råder i "torra" odlingsområden, och insikt om bristen på klimat- och hydrauliska data. Bra exempel på denna litteratur är återigen serien *Advances in Soil Science*, litteratur från ICRISAT och IAHS, men även litteratur av Hillel (Hillel 1980a,b), Jackson (Jackson, 1989), Konijn (Konijn, 1988), Eswaran (Eswaran, 1987), Sivannappan (Sivanappan, 1989), Cook & Ellis (Cook & Ellis, 1987), Pathak et al (Pathak et al, 1985). Listan kan förstås göras längre.

Detta blir givetvis en mycket grov indelning, där specialiserade växtfysiologer, tekniker, och meteorologer som kan spela/spelar en viktig roll för jordbruksutvecklingen inte riktigt fångas upp. Syftet är inte att bygga upp

en detaljerad kunskapshierarki, utan snarare att identifiera övergripande skillnader i synsätt på vatten och produktion.

Jag har upplevt att skillnaden i synsätt mellan de beskrivna aktörerna är tillräckligt markant för att kunna hävda att det i flera avseenden tycks finnas "vattentäta skott" mellan behovsaktörer och tillgångsaktörer. Ett intressant exempel är FAO där man från vissa avdelningar, exempelvis *Technical reports* (t.ex. PPSC), producerar behovsinriktade studier, samtidigt som man tar fram *Soil bulletins* som talar ett tillgångsinriktat språk som strider mot behovsaktörernas slutsatser (FAO, 1986b; FAO, 1988b). En detaljerad kunskap om de arida, semi-arida och torra sub-humida regionernas hydrologiska-, mark-, och klimatbegränsningar för växtodling finns därför troligen. Problemet är att kunskapen är spridd bland ett stort antal personer och institutioner på flera ställen i världen. En ökad dialog mellan aktörerna skulle säkert skapa förutsättningar för ett effektivare vattenutnyttjande och därmed ökad jordbruksproduktion.

#### **4.6. Ökad areal och intensitet: räcker markvattnet?**

FAO framför i sina studier att "torra" regioner med stora utnyttjade arealer, exempelvis områden i Afrika söder om Sahara, måste expandera sin odlingsareal genom att exploatera ny mark. Regioner som utnyttjar större delen av sin potentiella odlingsareal, exempelvis Nordafrika, måste odla sin nuvarande åkerareal intensivare. Detta uppnås genom minskad träda och odling av fler grödor per odlingssäsong (FAO, 1988a; FAO, 1986a,b,c).

Avrinningsområdets betydelse för den faktiska vattentillgången och trädans roll som lagringsperiod av markvatten innan sådd och under växtsäsongen, har framförts i uppsatsen. Försöken att satsa på småskalig teknik och utveckling av regnförsörjt jordbruk, bygger till stor del på möjligheten att utnyttja avrinningsområdet som en vattenkälla (Krantz, 1981; FAO, 1988b; Smith & Laryea, 1989).

Trädans roll som vattenlagringsperiod skiljer sig ifrån dess huvuduppgift i tempererade områden, där trädor på 1 - 2 år i första hand används för att förbättra näringsstatusen i jorden. Denna syn på trädans betydelse i "torra" regioner är vanlig hos internationella organ som FAO, som föreslår intensivare odling genom minskad träda. Åtgärden skall i huvudsak kompenseras genom tillförsel av mineralgödsel (FAO, 1987a; FAO, 1988a). Problem med låg vattenhållningsförmåga i de "torra" regionernas jordmåner, ofta 50 - 120 mm vatten i den övre metern, gör att vattnet sällan räcker genom hela växtsäsongen.

Några försök att kartlägga hur stor areal som måste användas i det regnförsörjda jordbruket för att uppnå tillräcklig ytavrinning och vattenlagring i marken, görs inte i samband med de refererade prognoserna.

#### **4.7. Beror livsmedelsbristen på människan eller torkan?**

De fruktansvärda svältkatastroferna i framförallt Afrika under 70-talet och början av 80-talet framställs ofta som ett resultat av återkommande år med oförutsedd torka. I litteraturen finns ett starkt stöd för att så inte är fallet. FAO refererar Sir Joseph Hutchinson (1977) som menar att torka snarare bör ses som den torra extremen i ett spektrum av normal klimatvariation i



semi-arida och arida regioner. Problem med livsmedelsbrist orsakas av människans och husdjurens ökade tryck på begränsade resurser, som har förvärrats av den snabba befolkningsexplosionen. Katastrofer i jordbruksproduktionen befinner sig inom ramen för de normala klimatfluktuationerna. Historiskt har lagring av spannmål i Afrika haft avgörande betydelse för överlevnad. I den traditionella jordbrukskulturen var det socialt oacceptabelt att äta spannmål "yngre" än tre år, vilket innebar att de alltid hade minst tre års spannmålslager av beredskapsskäl inför perioder av minskat regn. Tack vare dessa lager utvecklades inte det svåra missväxtåret 1914 till en "torrkatastrof" (FAO, 1988b). Liknande iakttagelser görs av Harrison som menar att hungersnöden i Afrika 1983-85 inte var en plötslig isolerad katastrof utan det synliga symptomet på ett djupare sjukdomstillstånd (Harrison, 1987). Utarmning av landskapet framställs i en UNCED-rapport (UNCED, 1991) som ett större hot mot vattenföremästerna i världen än bristen på regn.

Unesco slår fast att de återkommande torråren: i Sahel, 1969-73; Australien, 1981-82; och i Sahel, Väst-, Öst- och Sydafrika, 1982-84, orsakades av en klimatcykel som förstärkte ariditeten. Den direkta orsaken till sänkta eller uteblivna skördar var de ovanligt låga regnmängderna. Effekterna av torkperioderna under dessa två decennier förstärktes dock av andra faktorer vid sidan av regnbristen och den sänkta grundvattentillgången:

- ökad exploatering och odling av områden med ännu osäkrare regnmängder än tidigare odlingsarealer
- sänkt och ibland totalt borttagande av vegetation, speciellt skog, som resultat av överbetning och trädfällning
- utarmning av marken förorsakad av i huvudsak vatten- och vinderosion
- parasitangrepp
- övergång från traditionella stapelgrödor till monokulturer av avsalugrödor
- överexploatering av mark för att försörja en växande befolkning.

Lal konstaterar att vattenbrist är den viktigaste enskilda faktor som styr jordbruksproduktionen i Sudano-Sahel området. Torka är ett normalt fenomen, vars effekter förvärras av ökat tryck på mark- och vattentillgången. Situationen förvärras av att det saknas tillräcklig kunskap om jordmånernas hydrauliska egenskaper, för att kunna tillämpa och utveckla bättre odlingsteknik och odlingssystem (Lal, 1990).

Falkenmark har definierat fyra olika orsaker till vattenbrist där två är naturliga och styrda av klimatet:

- A) *Ariditeten* som avspeglas i korta vegetationslängder
- B) *Återkommande torka*, orsakad av de kraftiga nederbördsvariationerna.

De övriga två är orsakade av människan:

- C) *Uttorkning av landskapet*, orsakad av utarmning
- D) *Befolkningstrycket*.

A och B fastställer de yttre ramarna för den möjliga odlingspotentialen i "torra" odlingsområden. När C och D samverkar förvärras effekterna av de naturligt förekommande torråren. För att ta ställning till huruvida jordbruksproduktionen kan öka oberoende av vattentillgången måste både A och B tas med i beaktande. Om orsakerna till kraftigt sänkta skördar beror

på befolkningstrycket och utarmning, och inte direkt av regnbrist, blir frågan var nivån för jordbrukets bärkraft under rådande vattenförhållanden finns? Är det så att jordbruket producerar vad *naturen tål* och att befolkningstrycket har överskridit denna nivå? Om återkommande torrår är ett naturligt inslag i klimatet, vilket det finns ett starkt stöd för, bör slutsatsen kanske bli att så kan vara fallet. Det som talar emot detta är den långa rad av forskare som menar att utarmningen kan stoppas med mark- och vattenbevarande åtgärder, att detaljerade klimat- och markdata skulle skapa nya förutsättningar till effektivare vattenutnyttjande, att ny odlingsteknik och nya odlingssystem kan minska vattenförluster, och att förädling och ökad intensitet kan höja avkastningen utan att nämnvärt öka vattenåtgången.

#### 4.8. Vattenkonkurrens

För att kunna göra en realistisk planering av jordbruksproduktionen i "torra" regioner måste man enligt Falkenmark inleda med att ställa frågan; *hur mycket vatten finns det och hur kan man bäst nyttiggöra detta vatten vid en realistisk bedömning av regionala begränsningar i vattentillgången?* (Falkenmark et al, 1989). Vatten är en begränsad resurs och med en befolkningsökning på ca 3 procent per år i flera utvecklingsländer, vilket innebär en fördubbling på 25 år, kommer vattenmängden per capita att sjunka snabbt. Samtidigt måste jordbruksproduktionen öka, vilket återför en stor andel av vattentillgången till atmosfären. I semi-arida områden används drygt 80 procent av vattentillgången i jordbruket för produktion av mat och biomassa. Eftersom regnen endast faller under 3 - 4 månader är vattenbristen ofta säsongsstyrd. Mycket låga vattenflöden under torrperioder kommer att ha allvarliga effekter på hushållens vattentillgång (Lundqvist, Sivanappan & Ramakrishnan, 1991). Allt fler människor blir beroende av en minskande och *osäker* vattentillgång. Samtidigt ökar trycket ytterligare på vattentillgången i utvecklingsländerna genom berättigade krav på välfärdsförbättringar och livsmedelstrygghet.

Vattenbehoven varierar starkt mellan tempererade områden och "torra" regioner. Med ett hushållsbehov på 100 liter per dag och person (H) har Falkenmark konstaterat att det totala vattenbehovet i bevattnade semi-arida utvecklingsländer är 20 - 100 H. Detta skall jämföras med tempererade industriländer som konstaterats använda 4 - 25 H. Enbart med prognoser över befolkningsökningen fram till år 2000 respektive 2025 har Falkenmark visat att 250 respektive 1100 miljoner människor i Afrika kommer att leva i regioner med allvarlig vattenbrist. Detta är 2/3 av kontinentens befolkning år 2025, som enligt bedömningen kommer att ha tillgång till 5 - 10 H.

En skörde fördubbling från 1 till 2 ton/ha för att försörja 2 personer skulle "konsumera" 1000 m<sup>3</sup> eller 100 mm vatten, vilket innebär 500 m<sup>3</sup> per person och år. Översatt till antal H innebär skördeökningen att vattenanvändningen ökar med ca 13 H per person. Detta är mer än den förväntade vattentillgången på 5 - 10 H som har satts upp som ett realistiskt tak för flera afrikanska länder med vattenbrist. En tillgång som dessutom skall räcka till *alla* vattenbehov.

Varje ökning av jordbruksproduktionen i länder med vattenbrist som innebär ett ökat utnyttjande av avrinningsvatten, kommer att minska tillgången på vatten till andra ändamål som industri, hushåll och det övriga

samhället. Det går därför inte att isolera vattenbehoven enbart till grödans ET, utan vattentillgången måste sättas i relation till samtliga konkurrenter om vattnet. Detta måste ske på alla nivåer, från det enskilda avrinningsområdet till hela länder. I skenet av den osäkra och låga vattentillgången och de stora mängder vatten som redan idag används i jordbruket, tycks det oundvikligt att omfattande skördeökningar skulle leda till en ökad konflikt mellan olika vattenbehov.

#### **4.9. Småskalighetens möjligheter**

Flera referenser uttrycker kritik mot tidigare misslyckanden med storskalig och ofta exporterad teknologi, och avsaknaden av mark- och vattenbevarande åtgärder. Frågan är om det går att skönja en allmän trend de senaste 20 åren till stöd för att utvecklingen går mot ett effektivare utnyttjande av vattentillgången. 60- och 70-talet var de storskaliga dammarnas era och i gröna revolutionens kölvatten skulle jordbruksutvecklingen ske genom överföring av teknologipaket från tempererade- till "torra" områden. Här finns huvuddelen av de artificiella lösningarna på jordbrukets problem, med förslag om export av isberg, enorma växthusbyggen och kemikaliskt alstrat regn, som ett litet axplock i mängden. 80-talet tycks i större grad präglas av realism. Isbergen blev kvar vid polerna. Storskalighet och ensidig export av kunskap kritiseras allt oftare. Litteraturen betonar starkare vikten av att utveckla på plats och att satsa på småskaliga lösningar. De traditionella odlingsmetoderna liksom de traditionella grödorna lyfts fram i större grad. Det regnförsörjda jordbrukets etablerade plats i utvecklingen betonas starkare. Bevattning skall utvecklas parallellt med ett effektivare regnförsörjt jordbruk, och inte som tidigare ersätta det. Det finns ett starkt behov av teknologiutveckling baserad på lokala klimat- och markförhållanden (Doolette, 1986; Swindale, 1989; Stewart, 1989b; Smith & Laryea, 1989; FAO/UN, 1990). Problemet är att den tillgängliga teknologin inte är avpassad för att uppnå ökade skördar och upprätthålla markens produktionspotential i det regnförsörjda jordbruket (Davis, 1986).

Om det har skett en kursändring från tron på exporterad storskalig teknik till förmån för lokalt utvecklad småskalig teknik är svårt att slå fast. Eftersom flera av de exporterade lösningar som genomfördes tidigare, idag ofta förs fram som "läxor att lära av", borde möjligheter finnas att skapa förutsättningar för ökad jordbruksproduktion inom ramen för Falkenmarks två naturliga orsaker till vattenbrist.

#### **4.10. Vatten- och markbevarande åtgärder frigör vatten till ökade skördar**

I uppsatsen har en rad naturliga faktorer förts fram som minskar de potentiella möjligheterna att bedriva högavkastande jordbruk i arida, semi-arida och torra sub-humida regioner. Det normala klimatmönstret består av korta, intensiva regn med tvära kast i regnmängd mellan och under åren, vilket leder till risk för torka och vattenstress under en majoritet av åren. Marken domineras av sturktursvaga jordmåner med en vattenhållningskapacitet under 150 mm vatten per meter markprofil, med risk för ytskorpa som leder till ytavrinning och erosion. Det accelererande befolkningstrycket ökar utarmningen, och exploatering av marginella jordar med ännu sämre vattenstatus än den nu odlade. Det går därför inte att bortse från att redan

svaga odlingsbetingelser dagligen försämras bland annat av det ökade befolkningstrycket. Dessa yttre betingelser som så kraftigt begränsar tillgången på växttillgängligt vatten och bördig mark, gör det mycket svårt att genomföra en snabb ökning av jordbruksproduktionen baserad på teknologiöverföring.

En viktig återstående möjlighet att höja avkastningen utan att vattentillgången blir den begränsande faktorn, vore att förbättra utnyttjandet av den existerande vattentillgången. Detta skulle kunna ske genom olika vatten- och markbevarande åtgärder, som knyts till en lokalt baserad småskalig teknikutveckling. Skördarna kan bli *säkrare* även under torrperioder, vilket skulle öka möjligheterna att höja intensiteten genom användning av mineralgödsel, dyrare utsäde o.s.v.. Detta eftersom lantbrukare i "torra" odlingsområden generellt prioriterar *säker* skörd alla år, d.v.s. även torrår, framför *hög* skörd vissa år med god vattentillgång. Detta har resulterat i svagt intresse för högavkastande, men torkkänsliga och kapitalkrävande grödor (FAO, 1988b). Om riskerna i odlingen kunde minska skulle intresset att investera i insatsmedel öka och därmed skulle den potentiella skörden kunna höjas. En ökning som i viss grad skulle kunna försörjas med vatten som tidigare gick förlorat.

Försök med odlingsteknik och odlingssystem som utgår från lokala jordmåner och hydrologiska förhållanden tycks vinna allt större mark. Flera referenser till dessa försök påpekar dock i nästa andetag att det saknas detaljerad information och data över markens egenskaper och hydrologiska förhållanden under växtsäsongen. Payne påpekar exempelvis att eftersom markvatten är den mest begränsande faktorn i växtodlingen (Sudano-Sahel) behövs hydrologiska data över *varje hirs-åker* (Payne, 1991).

Flera referenser betonar svårigheten att tillämpa resultat från avgränsade försöksrutor i det praktiska jordbruket. Krantz (Krantz, 1981) konstaterar att vattenresursutvecklingen i semi-arida regioner ofta resulterar i bildandet av *"islands of relativ wealth in a sea of poverty"*, vilket illustrerar riskerna med att dra generella slutsatser från skördeförbättringar i försöksrutor eller specifika regioner. Höga skördar på ett ställe kan vara resultat av koncentration av vatten just på den aktuella försöksytan eller åkern, vilket i sin tur minskar vattentillgången i avrinningsområdet som helhet. Hur den begränsade vattentillgången skall användas för att uppnå skördeförbättringar för samtliga jordbrukare i ett avrinningsområde är den verkliga utmaningen.

Det är svårt för att inte säga omöjligt att idag bedöma hur stora skördeökningar som skulle medges genom mark- och vattenbevarande åtgärder. Världsbanken konstaterar som tidigare nämnts att information om effekterna av olika metoder för vatteninsamling ofta saknas. Den information som finns stöder inte alltid den allmänna uppfattningen att stora mängder avrinningsvatten skulle frigöras och därigenom medge ökad avkastning (Reij et al, 1988).

ICRISAT konstaterar i sina jordmånsrelaterade försök att metoder för effektivare vattenanvändning måste anpassas till rådande mark-, växt-, och klimatförhållanden. Det blir därför svårt att dra generella slutsatser från

framgångsrika försök i en lokal och sedan applicera dessa som generella lösningar.

Olika mark- och vattenbevarande åtgärder, och odlingssystem som utgår från rådande klimatförhållanden och aktuell jordmån, har stora möjligheter att effektivisera vattenutnyttjandet. I uppsatsen refereras avsevärda skördeökningar från försök där olika mark- och vattenbevarande åtgärder kombineras. Det tycks dock vara svårt att få klarhet i metodernas tillämpbarhet och hur stor ökningen av det växttillgängliga vattnet i rotzonen verkligen skulle bli.

## 5. SLUTSATSER

Arida, semi-arida och torra sub-humida regioner i världen kännetecknas av låga regnmängder och hög potentiell evapotranspiration. Regnet är dessutom otillförlitligt, fluktuerar starkt och hamnar under en majoritet av åren under medelvärdet. Regionerna kännetecknas av svaga jordmåner, vilket leder till låg vattenlagring i marken och stora förluster av regnvatten i form av ytavrinning. Orsaken är låg infiltrationskapacitet och jordarnas låga vattenhållande förmåga.

Grödor är känsliga för ändringar i vattentillgång. Avkastningen sjunker med 50 - 70 procent om grödan evapotranspirerar på hälften av sin potentiella förmåga. Regnmönstret i "torra" regioner innebär stor risk för återkommande vattenstress och låga skördar. Kombinationen av regnbrist, svaga jordar och grödors känslighet för vattenstress förstärker risken för sänkt avkastning i de studerade regionerna.

Slutsatsen är att de agroklimatologiska förhållanden som styr jordbruksproduktionens potential i "torra" regioner försvårar möjligheten att genomföra ökningsåtgärder av avkastningen.

De prognoser över skördeökningar som finns skall i huvudsak uppnås genom: exploatering av ny mark, intensivare odling, ökad bevattning, ökad användning av insatsmedel, mekanisering och förädling. Dessa prognoser saknar beräkningar över hur mycket vatten som finns och hur mycket vatten som går åt. De baseras genomgående på bedömningar om växtsäsongens längd, t.ex. LGP, som inte avspeglar den fluktuerande växttillgängliga vattenhalten i rotzonen. Min approximativa beräkning över andelen av vattentillgången som måste åberopas för att uppnå de nödvändiga skördeökningarna i Afrika, indikerar att vattenåtgången i flera länder riskerar att överskrida den tillgängliga vattentillgången.

Slutsatsen är att en stor andel av vattentillgången måste åberopas för att höja skördarna 2 - 4 gånger i arida, semi-arida och torra sub-humida regioner genom en teknologibaserad utveckling av jordbruksproduktionen. En fördjupad granskning av den faktiska vattentillgången och vattenåtgången vid skördeökningar, bör genomföras på regional nivå innan prognoser över ökad jordbruksproduktion kan anses tillräckligt trovärdiga.

Vattenbehovet för att höja avkastningen och den minskade vattentillgången per capita i takt med befolkningstillväxten ökar konkurrensen om vattnet.

Ökad vattenåtgång i jordbruket riskerar att minska de övriga vattenkonsumenternas tillgång på vatten.

Min slutsats är att *även* om vattentillgången för en fördubbling och på sikt en fyrdubbling av skördarna är möjlig, är risken stor att konflikter skapas med andra samhällssektorer. Konflikter som riskerar att få internationella dimensioner när olika länder delar på gemensamma avrinningsområden eller vattendrag. Vattentillgången skulle därmed redan av denna anledning kunna visa sig vara en begränsande faktor i jordbruksproduktionen.

Från flera håll framförs möjligheten att utnyttja grundvattenförekomster för bevattning. Det råder starkt divergerande åsikter om grundvattentillgångens storlek och tillgänglighet.

Min slutsats blir att det saknas tillräcklig kunskap och information för att grunda en kraftig produktionshöjning på en eventuell grundvattentillgång.

Prognoserna förutsätter även en expansion av odlingsarealen och ett intensivare utnyttjande av den idag odlade arealen. Uppodling av ny mark ökar återflödet av vatten till atmosfären, minskar ytavrinningen och grundvattenflödet i avrinningsområdet. Intensivare utnyttjande av marken innebär att trädesperioder avkortas eller upphör och/eller att fler grödor odlas per säsong. I uppsatsen beskrivs trädans roll som lagringsperiod av växttillgängligt vatten och avrinningsområdets roll som källa till ytavrinning och grundvattenflöde för jordbruket. Betydelsen av dessa metoder ökar med minskade regnmängder.

Med detta som bakgrund är det befogat att ifrågasätta möjligheten att exploatera ny mark och minska trädesperioderna i framförallt arida och semi-arida regioner i den takt FAO förutspår i sina prognoser. Tveksamheten förstärks av jordmånernas känslighet, sannolikheten att den nyexploaterade jorden har ännu sämre vattenhållande förmåga än den nu odlade och den redan idag snabba utarmningen av landskapet.

Det finns en stark tro på möjligheten att kombinera förädling med teknologipaket i syfte att genomföra en ny grön revolution i "torra" regioner. Det saknas dock framgångsrik förädling på de "tork-resistenta" nyckelgrödorna hirs och durra. I många fall framgår även att det troligen är svårare att nå framgång genom förädling i regioner med vattenbrist, jämfört med de mera humida majs- och ris-regionerna där exempelvis Indiens och Kinas gröna revolution tillämpades.

Min slutsats är att det idag saknas belägg för att nya högavkastande grödor avpassade för de "torra" regionernas klimat skulle kunna tas fram inom en överskådlig tid.

Det står klart att många av de hittills genomförda försöken att öka avkastningen i "torra" regioner stupat på allt för storskalig teknologi-överföring. Stora möjligheter finns att effektivisera vattenutnyttjandet och därmed höja avkastningen genom småskalig teknologi kopplat till mark- och vatten-

bevarande åtgärder. I uppsatsen redovisas stora skördeökningar vid kombination av mark- och vattenbevarande åtgärder, odlingsteknik och tillförsel av mineralgödsel. I hur stor utsträckning dessa åtgärder kan bidra till den nödvändiga produktionsökningen utan att tillgången på vatten över-skrids är omöjligt att säga. Huvudorsakerna till detta är: att resultaten genomgående uppnås i försöksrutor där det är möjligt att eliminera faktorer som kan vara begränsande i det praktiska jordbruket; vattentillgången i försöken speglar kanske inte vattentillgången i större fält; och att analyser generellt saknas av hur stor den totala vattenåtgången skulle bli om försöksresultaten applicerades i större skala.

Min slutsats är att mark- och vattenbevarande åtgärder är ett av de viktigaste och mest effektiva sätten att på överskådlig tid effektivisera vattenanvändningen i "torra" odlingsområden. Denna slutsats omfattas av många, exempelvis Lester Brown, chef för World Watch Institute som menar att *"mark- och vattenbevarande åtgärder tillhör världens viktigaste aktiviteter"* (Brown, 1991).

Eftersom kunskap om metodernas tillämpbarhet generellt sätt saknas är det omöjligt att dra någon slutsats om hur stort tillskottet av vatten till rot-zonen skulle bli. Det är därför svårt att ta ställning till i hur hög grad åtgärderna skulle kunna bidra med vatten till de nödvändiga skördeökningarna.

Fem huvudfaktorer i uppsatsen talar emot möjligheten att lyckas med skördeökningarna:

- (1) En mycket stor andel av den totala vattentillgången (enligt överslagsberäkningen mer än 50 procent) skulle åberopas i flera länder med liten vattentillgång per capita, för att uppnå de nödvändiga skördeökningarna fram till år 2025 .
- (2) Vattentillgången per capita minskar drastiskt i takt med befolkningsökningen.
- (3) Den växttillgängliga vattenmängden från regnet räcker inte för att försörja växten under "torrår", och eftersom "torrår" är ett naturligt inslag i de arida, semi-arida och torra sub-humida regionernas klimat, kommer större skördeökningar att vara omöjliga att uppnå under alla år.
- (4) Befolkningstillväxten ökar exploatering av marginella jordar och utarmning av dagens odlingsareal. En utveckling som minskar mängden markvatten ytterligare.
- (5) Jordmånerna har generellt svag struktur och låg vattenlagringskapacitet, och möjligheten att tillföra vatten genom olika former av vattenlagring förutsätter stora avrinningsytor.

För att hypotesen skall vara bärkraftig förutsätts att de högre skördenivåerna går att uppnå även under år då regnmängden ligger under det genomsnittliga "normal"-året. Detta eftersom återkommande "torrår" snarare bör ses som ett naturligt inslag än ett undantag i klimatmönstret och att regnmängden under en majoritet av åren ligger under medelvärdet.

Vattentillgången måste räcka för att täcka återflödet av vatten till atmosfären även vid de höjda produktionsnivåerna. Dessutom förutsätter hypotesen att åtgärderna för att höja avkastningen är *realistiska*. Befolkningsökningen, svältkatastrofer, utarmningskador och sjunkande skördar tillhör *dagens* verklighet. Människor i länder med livsmedelsbrist måste ha mat *nu* och kan knappast slå sig till ro med strålande utsagor om bioteknikens framtida välsignelse, marknadsekonomis möjligheter, eller de tiofaldiga kvävegivornas skördesprång o.s.v.. Här handlar det om att utröna om de närstående produktionshöjningarna är möjliga att uppnå utifrån den tillgång på vatten som finns, vid införande av realistiska skördehöjande åtgärder.

Flera faktorer talar för att det finns möjligheter att öka skördarna:

- (1) Den yttersta begränsningsfaktorn i flera "torra" regioner behöver inte vara brist på regn utan brist på vatten som når rotzonen.
- (2) Den breda kunskap som finns om markhydrologiska egenskaper i arida, semi-arida och torra sub-humida regioner.
- (3) Alla försök som görs att tillämpa jordmånsanpassad odling baserad på småskalig teknik.
- (4) Möjligheten att med vatteninsamling genom exempelvis ytvattenodling stabilisera vattentillförseln.
- (5) Den långa raden av framgångsrika försök där effektivare vattenutnyttjande resulterat i högre skördar.

Gamla och aktuella problem måste övervinnas:

- (1) Studier över den faktiska vattentillgången och vattenåtgång vid skördeökningar, måste ingå i alla former av prognoser över de "torra" regionernas framtida jordbruksproduktion. Så är inte fallet idag.
- (2) Misslyckade försök med export av storskalig teknologi.
- (3) "Vattentäta" skott mellan *behovs-* och *tillgångs-* aktörer.
- (4) Bristen på mark-, klimat och hydrologiska data.
- (5) Tidigare brister i mark- och vattenhantering.

Det finns därmed en rad *osäkra* faktorer som talar för och emot uppsatsens hypotes. Genomgången av de "torra" regionernas brist på vatten och speciella förutsättningar för jordbruksproduktion, innebär att en fördubbling och på sikt en fyrdubbling av de stabila skördarna inom en rimlig tidsperiod är svåra att uppnå. Samtidigt indikerar alla de möjligheter till effektivare utnyttjande av vattentillgången att stora förbättringar går att genomföra. Frågan är om dessa insatser räcker?

Min samlade uppfattning är till sist att det saknas tillräckligt stöd för hypotesens förutsättning att den tillgängliga vattentillgången i "torra" regioner skulle räcka för att uppnå de nödvändiga skördeökningar som krävs för att försörja framtidens växande befolkningar.



## 6. SAMMANFATTNING

Dagens världsbefolkning på drygt 5 miljarder människor beräknas tillväxa med 90 miljoner människor per år, och uppgå till 8 miljarder år 2025. Av denna ökning kommer 90 procent att ske i utvecklingsländer. En dominerande andel av dessa länder är lokaliserade i världens "torra" klimatzoner; arida, semi-arida och torra sub-humida regioner, med vattenbrist som den huvudsakliga begränsningsfaktorn i jordbruket.

FAO har i olika studier gjort beräkningar av utvecklingsländernas förmåga att utifrån klimat- och markförhållanden försörja sina förväntade befolkningar år 2000 och 2025. 75 av de 117 länder som studerats skulle vara oförmögna att försörja sina befolkningar år 2000. Lösningen är att fördubbla skördarna genom att öka intensitetsnivån i jordbruket, vilket skall ske genom minskad träda, förbättrad teknik, ökad användning av insatsmedel, och en omfattande expansion av odlingsarealen. Totalt innebär det att den odlade arealen skulle öka med 114 miljoner ha, vilket motsvarar hela Västeuropas odlingsareal och skall jämföras med de 600 miljoner ha som odlades 1988. De 42 länder som fortfarande skulle vara oförmögna att försörja sina befolkningar efter en fördubbling av skördarna måste enligt FAO:s prognoser fördubbla skördarna (FAO, 1983; FAO, 1984; FAO, 1986a,b,c; FAO, 1988a; Unesco, 1990).

Uppsatsens hypotes är att vattentillgången räcker för att uppnå FAO:s prognoser över nödvändiga skördeökningar, d.v.s. 2 - 4 ggr högre skördar, i de "torra" utvecklingsländerna.

Klimatet i "torra" regioner kännetecknas av regn under en kort del av året, 2 - 5 månader, ofta i form av intensiva stormar där mängden avviker starkt från årsmedelnederbörden. Det regnar 200 - 1000 mm/år och den potentiella evapotranspirationen överskrider 1300 mm/år. Under en majoritet av åren regnar det mindre än årsmedelvärdet.

De dominerande jordmåner är struktursvaga, skorpbenägna, erosionskänsliga, har låg vattenhållande förmåga; ofta 50 - 120 mm, och är näringsfattiga. Låga regnmängder i förhållande till den potentiella evapotranspirationen och svaga jordmåner utgör de grundläggande förutsättningarna i stora delar av de "torra" regionernas jordbruk. Ytavrinningen är mycket hög och uppgår ofta till 50 procent av regnmängden och förlusten av vatten genom evaporation utgör ofta 25 - 50 procent av regnet i odlad gröda.

Växternas vattenbehov ligger inom intervallet 750 - 1500 m<sup>3</sup>/ton producerad torrsbstans för de huvudsakliga stapelgrödorna durra, hirs och majs. Den relativa skördeminskningen blir 50 - 70 procent då grödorna evapotranspirerar på halva sin potentiella nivå. Skördarna sjunker kraftigast vid vattenstress under groning, frösättning och blomning.

I uppsatsen görs en approximativ beräkning som visar att i genomsnitt 18 procent av vattentillgången i Afrikas "torra" regioner måste åberopas för att genomföra de nödvändiga skördeökningarna fram till år 2000. För att producera mat åt 2025 års befolkningar skulle 49 procent av vattentillgången åberopas. Beräkningen visar att det teoretiskt finns vatten för att

klara skördeökningarna, men frågan är om det är realistiskt att utnyttja upp till 50 procent av vattentillgången enbart för skördeökningar i jordbruket. Redan idag används drygt 80 procent av det utnyttjade vattnet i jordbruket, och studier visar att ett uttag på 10 - 20 procent av den tillgängliga vattentillgången är realistiskt i utvecklingsländer. De växande befolkningarna leder till minskad vattenmängd per capita, vilket kraftigt ökar konkurrensen om en begränsad vattentillgång.

I uppsatsen presenteras exempel på olika synsätt på vatten i jordbruksproduktionen där 2 aktörsgupper identifieras. De *behovsinriktade* aktörerna består i huvudsak av internationella organ som försöker lägga prognoser över utvecklingsländerna framtida försörjningsförmåga. Här återfinns exempelvis FAO, FN (Unesco) och Världsbanken (FAO, 1983; FAO, 1986a; FAO, 1988a; FAO/UN, 1990; Unesco, 1990; Davis, 1986). Tonvikten hos denna aktör läggs vid att ta fram strategier för hur jordbruksproduktionen skall öka i takt med befolkningsökningen, som i huvudsak bygger på ökad teknologi-överföring, intensivare odlingsmetoder, och socio-ekonomiska förändringar. Utgångspunkten är att ökade skördar går att uppnå genom modernisering. Frågan om hur stort *behovet* av vatten är för att uppnå skördeökningarna ställs *eventuellt* efter det att prognoserna är lagda, eller så förutsätts vattentillgången finnas.

Den andra aktören, de *tillgångsinriktade*, består i huvudsak av mark- och vattenforskare som utgår från den tillgängliga vattenhalten i rotzonen vid beräkning och utveckling av odlingspotentialen. Jordmånernas hydrauliska egenskaper, klimatvariationer, regnets fördelning, och avrinningsområdets topografi och markanvändning, avgör den *tillgång* på vatten som finns, och utifrån detta kan växtodlingen utvecklas.

Det saknas ofta tillräckligt detaljerade klimatdata och hydrologiska data över "torra" regioner. Metoder för beräkning av växtsäsongens längd, genom förhållandet mellan medelnederbörd och en viss andel av den årliga potentiella evapotranspirationen, är ett allt för oprecist mått för att ange det antal dagar en gröda har tillräckligt med växttillgängligt vatten för tillväxt.

Att öka vattneffektiviteten, WUE, i "torra" regioner genom förädling visar sig vara svårt. Förädling på stapelgrödorna hirs och durra saknas eller har inte givit några större resultat.

De snabbt växande befolkningarna i kombination med vattenbrist och svaga jordmåner försvårar möjligheten att uppnå ökade skördar i "torra" regioner. Mark- och vattenbevarande åtgärder, som minskar förluster av vatten i form av ytavrinning och evaporation, är ett av de viktigaste sätten att effektivisera vattenutnyttjandet i "torra" regioner. Genom att kombinera mark- och vattenhantering som ökar mängden regnvatten som når grödan, ökad användning av insatsmedel, ny odlingsteknik och olika former av samodling, har stora skördeökningar kunnat påvisas.

Möjligheter att öka skördarna i "torra" regioner finns. En rad faktorer som brist på dialog mellan aktörer, avsaknad av data, misslyckande med storskalig exporterad teknologi, svagheten med oprecisa mått på växtsäsongens längd, och bristen på förädling och forskning på regionernas

hududsakliga stapelgrödor, borde om de kunde åtgärdas, skapa förutsättningar för ökade skördar i de "torra" utvecklingsländerna.

Min slutsats blir dock efter en avvägning mellan de begränsande faktorerna i de "torra" regionernas jordbruk och de möjligheter till förbättringar som finns, att det saknas tillräckligt stöd för uppsatsens hypotes.

## **7. TACKORD**

Vattnets livsavgörande karaktär och dess oöverträffade förmåga att sippra ut och tränga djupt in i mänsklighetens samtliga, genomgående vitala vråer, har varit en stimulerande drivkraft, men samtidigt en källa till stunder av förvirring och tendenser till druckningssymptom. Att i det läget ha förmånen att hållas flytande på utsatt kurs, av två engagerade och inspirerande "frälsarkransar"; mina två handledare professor Malin Falkenmark och professor Per-Erik Jansson, som har lagt ned mycket tid och kraft under hela arbetets gång, har varit avgörande för att hålla barlasten fixerad och uppsatsskutan på rätt köl.

Tålamodet och intresset hos Ultunabibliotekets personal samt växtodlingsinstitutionens upplåtande av datorresurser har likaledes varit två viktiga grundförutsättningar för att ro detta projekt i hamn.

## 8. SUMMARY

The world population of about 5 billion people is estimated to grow with 90 million individuals per annum, and amount to 8 billion by the year 2025. 90 percent of this growth will take place in developing countries, a majority of which are situated in "dry" climatic zones, with water as a major constraint in the agriculture.

FAO has in various reports tried to calculate the population supporting capacities, with regard to soil- and agro-climatic suitability, in developing countries until the year 2000 and 2025. By the year 2000, 75 of the 117 countries that were studied will be unable to feed their projected populations with traditional agricultural practices. The solution is to double the yields by increasing input levels, which is achieved by reduced fallow periods, improved technology, increased use of fertilizers, herbicides and pesticides, and an extensive expansion of the cultivated land. The cultivated area is expected to increase with 114 million hectares, which corresponds to the total cultivated area in western Europe, and can be compared with the 600 million hectares that were cultivated 1988. The 42 countries that still would be unable to feed their projected populations after having doubled the production, would have to fourfold their yields, by a further rise of input levels (FAO, 1983; FAO, 1986a, b, c; FAO, 1988a; Unesco, 1990).

The hypothesis of this essay is that there is enough accessible water to reach the necessary yields, i.e. 2 - 4 times higher yields, to feed future populations in "dry" developing countries.

The climate in "dry" regions is characterized by short rain periods, 2 - 5 months, with intensive storms, where the actual precipitation strongly differs from, and during a majority of years is lower than, the annual mean values. The annual precipitation ranges between 200 - 1000 mm/annum and the potential evapotranspiration exceeds 1300 mm/annum. The water demand from the atmosphere is very high.

The dominating soils have a weak structure, high tendency to crust, are highly erosive, generally have low water holding capacities (50 - 120 mm), and have a low nutrient content. The low amounts of rain in relation to the potential evapotranspiration and the weak soils constitute the basic framework of the agriculture in tropical drylands. The surface runoff is very high, often up to 50 percent of the annual precipitation, and the loss of water in cultivated land through evaporation generally amounts to 25 - 50 percent of the precipitation.

The water requirement of the main food crops sorghum, millet and maize, ranges between 750 - 1500 m<sup>3</sup>/ton (produced dry matter). The relative yield decreases with 50 - 70 percent when the crops evapotranspire at half their optimal rate. The periods most sensitive of water deficits, resulting in the strongest yield decreases, are during germination, ripening and flowering.

A tentative calculation is made in the essay which shows that an average of 18 percent of the total available water resource in "dry" regions of Africa, would have to be used to fulfill the water requirement of the necessary yield increases by the year 2000. To produce food for the projected populations of

year 2025, the water requirement would amount to 49 percent of the available water resource. The calculation shows that the water supply for increased yields theoretically exists. A crucial question is the realism in making use of 50 percent of the available water resource, only for increasing yields. Around 80 percent of the utilized water in "dry" developing countries is already used in agriculture, and a realistic level of water utilization in developing countries is shown to range between 10 - 20 percent of the available water resource. The accelerating population growth results in lower amounts of water per capita, which seriously increases the potential for conflicts between competitors of a relative diminishing water resource.

The essay presents examples of different views among actors responsible for policy and know-how in the field of agricultural production, on the role of water in the development of agriculture in "dry" regions. Two different actors are identified; the *need-oriented* and the *access-oriented*. The *need-oriented* actors consist mainly of international institutions concerned with projections of the future carrying capacities of the agriculture in "dry" developing countries. Here we find organisations like FAO, UN (Unesco), and the World Bank (FAO, 1983; FAO, 1986a; FAO, 1988a; FAO/UN, 1990; Unesco, 1990; Davis, 1986). The emphasis of this actor is laid upon strategies of how to raise productivity in dryland agriculture in pace with growing food and fuel requirements of increasing populations. These strategies consist mainly of increased technology transfer, higher input-levels, and changes in socio-economic incentives and structures. The main viewpoint is that higher yields can be accomplished by modernizing agricultural practices. The question of the amount of water *needed* is *eventually* adressed after calculation of potential and necessary yield increases.

The *access-oriented* actor consists mainly of soil- and water scientists who put the emphasis on the available water in the rootzone when trying to develop and estimate the production potential in dryland agriculture. The hydraulic characteristics of the soil, climatic fluctuations, rain partitioning, and the topography and landuse on a catchment level, determine the *access* of available water, and therefore the potential of developing crop production.

There is a serious lack of soil- and hydrological data over "dry" regions. Methods for calculating the length of growing period, through the relation between annual precipitation and a certain part of the annual potential evapotranspiration, are too unprecise to give a reliable picture of the number of days when a crop has enough available water for growth without yieldreducing waterstress.

To increase water use efficiency, WUE, by developing dry-resistant varieties with shorter growing periods, is a difficult task. Breeding efforts on the basic foodcrops millet and sorghum are low and there are few significant results.

The possibilities of reaching higher yields in "dry" regions are aggravated by the accelerating population growth in combination with water scarcity and weak soils. Large areas of cultivated soils are lost through maninduced soil degradation. Different methods of soil- and water conservation, which reduce waterloss through evaporation and surface runoff, are among the

most important means of reaching a more efficient use of the available water in rainfed agriculture. Large yield increases are reported when combining soil- and water management, increased use of mineral fertilizers, and different forms of intercropping.

These results show that there are potentials of increasing yields in the rainfed agriculture of "dry" developing countries. There are many obstacles, if solved, which would create large potentials for increased agricultural production; the lack of dialog between *need-oriented* and *access-oriented* actors, lack of agrohydrological data, the failure of large scale exported technological packages, the weakness of undetailed definitions of growing periods, and the lack of breeding-results on main foodcrops.

In spite of this my conclusion in the essay, after having weighed the constraints in rainfed agriculture of tropical "dry" regions against the possibilities of improvement, is that there is not enough support for the hypothesis.

## 9. REFERENSER

- Ahmad M. U., 1988. Ground Water resources: The key to combating drought in Africa. In: Desertification Control Bulletin no 16. UNEP.
- Amiran D. H. K. et al, 1977. Let water bring forth abundantly. In; Arid zone development; potentials and problems; Symposium on arid zone development. Cambridge.
- Andrews D. J., 1986. Current results and prospects in sorghum and pearl millet breeding. In: Development of rainfed agriculture under arid and semiarid conditions. Proceedings of the sixth agriculture sector symposium. Ed Davis T.J. World Bank, Washington DC, 1986
- Ayensu E. D., 1985. In: Land resources of arid and semi-arid lands. A global perspective. Ed Goodin & Northington. Academic Press.
- Bentley C. F. et al, 1979. Soils. Conference on agricultural production: research and development strategies for the 80:s, Bonn 1979. Michigan state university energy agriculture series.
- Birkeland P. W., 1984. Soils and Geomorphology. Oxford university press.
- Biswas A. K., 1988. Sustainable development of arid lands through irrigation, A case study of Bhima project, India. In: Desertification Control Bulletin no 16. UNEP.
- Bodyko M. L., 1982. The earths climate; Past and Future
- Bodyko M. L., 1986. The evolution of the Biosphere (D. Reidel Publishing Company)
- Bouwer H., 1988. Water conservation. Agricultural water management vol 14.
- Brown L., 1991. The global competition for land. In: Journal of Soil & Water Conservation vol 46 no 6.
- Bunting A. H. & Kassam A. H., 1988. Principles of crop water use, dry matter production, and dry matter partitioning that govern choices of crops and systems. In: Drought research priorities for the dryland tropics, pp 43-63. Ed Bidinger F R & Johansen C. ICRISAT, Patancheru, India.
- Casenave A. & Valentin C., 1989. Les états de surface de la zone Sahélienne. Influence sur l'infiltration. Institut Français de recherche scientifique pour le développement en coopération. Editions de l'Orstom. Paris.
- Charreau C. & Rouanet G., 1986. The technology: is it available? where is it developed? In: Development of rainfed agriculture under arid and semi-arid conditions. Ed Davis T.J. Proceedings of the Sixth agriculture sector symposium. World Bank. Washington D C.
- Cluff, 1982. In; Alternative strategies for desert development and management. UN Institute for Training and Research. WATER vol 3 1982. Preceeding international conference Sacramento USA, 1977.
- Cochemé J. & Franquin P., 1967. An agroclimatology survey of a semi-arid area in Africa, south of Sahara. In: World meteorological organization, 86(210) TP 110, 136
- Cook R. L. & Ellis B. G., 1987. Soil management. A world view of conservation and production.
- David C. et al, 1981. Concepts for conserving agricultural water. In: Advances in Food-producing systems for arid and semi-arid lands, pp 379 - 391, part A, Ed J T Manassah & E J Briskey. Academic Press.
- Darryl E. et al, 1986. Effect of surface residues on soil water storage. In; Advances in soil science vol 5. Ed Stewart B A. New York.
- Davis T. J., 1986. The environment of rainfed agriculture under arid and semi-arid conditions. In: Development of rainfed agriculture under arid and semi-arid conditions. Ed Davis T.J. Proceedings of the Sixth agriculture sector symposium. World Bank, Washington D C.

- Doolette J., 1986. The diversity of technology needs in rainfed agriculture. The case of north Africa. In: Development of rainfed agriculture under arid and semi-arid conditions. Ed Davis T J. Proceedings of the Sixth agriculture sector symposium. World Bank, Washington D C.
- Doorenbos J. & Kassam A. H., 1979. Yield response to water, FAO irrigation and drainage paper no 33 2nd ed (1st ed 1979), Rome 1981.
- Dove H., 1982. Alternative strategies for desert development and management. UN institute for training and research. Water vol 3. Proceeding international conference Sacramento USA, 1977.
- Dregne H. E., 1976. Soils of arid regions. In: Developments in soil science 6.
- Dregne H. E., 1982. Dryland soil resources. Science and technology agricultural report. Agency for International Development, Washington D C.
- Dregne H. E., 1990. Erosion and soil productivity in Africa. In: Journal of Soil and Water Conservation, vol 45 no 4.
- Dregne & Tucker, 1988. Desert Encroachment. In: Desertification Control Bulletin no 16. UNEP.
- Dreissen & Dudal, 1989. Lecture notes on the major soils of the world, Wageningen.
- Eagleson P. S., 1985. Water-limited equilibrium of savanna alternatives. In: Water resources research, vol 12 no 10 pp 1483-1493.
- El-Swaify, Walker, Virmani, 1983. Dryland management alternatives and research needs for alfisols in the semi-arid tropics. ICRISAT, India.
- Eswaran H., 1987. Soil related constraints to agricultural development in Africa. In: Seventh meeting of the east and west Southern African Sub-committee for soil correlation and evaluation, no 62, FAO.
- Falkenmark, 1986. Fresh water-Time for a modified approach. In: Ambio vol 15 no 4. Ambio 1986
- Falkenmark M., 1987. Water related limitations to local development. In: Ambio, vol XVI, nr 4, 1987, pp 191-200
- Falkenmark M. 1989. The massive water scarcity now threatening Africa- Why isn't it adressed? In: Ambio, vol XVIII no 2 1989, pp 112-118
- Falkenmark M. et al, 1989. Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches- Aspects of vulnerability in semi-arid development. In: Natural resources forum, november 1989.
- Falkenmark M., 1990. Water scarcity management and small-scale irrigation in traditional agriculture. Contribution to Inter-Agency preparatory meeting on Water and Sustainable agricultural development, FAO, Rome 1990. In: TEMA V Report 14, 1990. University of Linköping, department of water and environmental studies, Linköping, Sweden.
- Falkenmark M. & Chapman T., 1989. Comparative hydrology. An ecological approach to land and water resources. Ed Falkenmark & Chapman. Unesco, Paris.
- Falkenmark M. & Lindh G., 1975. Vatten åt en svältande värld.
- Falkenmark M., Lundqvist J., Widstrand C., 1990. Water Scarcity- an ultimate constraint in the third world development. In: Tema Vatten report no 14, Linköping, Sweden.
- FAO, 1978. Reports of the agro-ecological zones project. World soil resources report no 48, vol 1 - 4. FAO, Rome.
- FAO, 1981a. Agriculture toward 2000. FAO, Rome.
- FAO, 1981b. Arid zone hydrology for agricultural development. Ed Jones K. R. Berney O., Carr D. P.. FAO irrigation and drainage paper no 37, 1981. FAO, Rome.



- FAO, 1983. Potential Population Supporting Capacities of lands in the developing world. Higgins et al. FAO, UNFPA, IIASA. FAO, Rome.
- FAO, 1984. Land, Food and People. FAO Economic and Social development series no 30. FAO, Rome.
- FAO, 1986a. African agriculture: the next 25 years. Main report. FAO, Rome, 1986
- FAO 1986b. African agriculture: the next 25 years. Annex II. The land resource base. FAO, Rome.
- FAO, 1986c. African agriculture: the next 25 years. Annex I (Socio-economic and political dimensions), Annex III (Raising productivity), Annex IV (Irrigation and water control), Annex V (Inputs supply and incentive policies). FAO, Rome.
- FAO, 1987. Consultations of irrigation in Africa. FAO irrigation and drainage paper no 42. FAO, Rome.
- FAO, 1988a. World Agriculture: Toward 2000, An FAO study. Ed Alexandratos N. London.
- FAO, 1988b. Soil and water conservation in Semi-arid areas. FAO Soils bulletin no 57. Rome.
- FAO, 1990a. An International action programme on Water and sustainable agricultural development. Rome.
- FAO, 1990b. Food security policy issues in West Africa: past lessons and future prospects. A critical review. By Tapsoba E. K. FAO economical and social development paper no 93, 1990. FAO, Rome.
- FAO/UN, 1990. An international action programme on Water and sustainable agricultural development. A strategy for the implementation of the Mar del Plata action plan for the 1990:s. FAO Rome.
- FAO/UNDP/UN DTCD, 1991. Agricultural water use. Assesment of progress in the implementation of the Mar del Plata Action Plan. Rome.
- FAO/UNEP, 1983. Guidelines for the control of soil degradation. FAO, Rome.
- FAO-Unesco, 1977. Soil Map of the World. Volume I legend, volume VI Africa. Unesco, Paris.
- FAO-Unesco, 1989. Soil Map of the World, revised legend. Technical paper 20. Wageningen.
- Flitcroft I. D. et al, 1991. Spatial aspects of the seasonal soil water budget in a semiarid grassland. In: Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Ed Sivakumar et al. IAHS publisation no 199, pp363-373 Proceedings international workshop, Niger.
- Gregory P. J., 1989. Water-Use Efficiency of crops in the semi-arid tropics. In: Soil, crop and water management in the Sudano-Sahelian Zone. ICRISAT, Patancheru, India
- Gregory P. J., 1990. Soil and plant factors affecting water extraction. In: Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Ed Sivakumar et al. IAHS publisation no 199, pp 261-273 Proceedings international workshop, Niger.
- Gustafsson, 1977. Variations in rainfall as a natural constraint on agriculture. In; Ambio vol 6 no 1, 1977.
- Harrison P., 1984. Population, climate and future food supply. In: Ambio vol 13 no 3 pp 161-167.
- Harrison P., 1987. The greening of Africa. Breaking through in the battle for land and food. IIED/EARTHSCAN.
- Hatfield J. L., 1990. Agroclimatology of Semi-arid lands. In; Advances in soil science vol 13. Dryland agriculture strategies for sustainability, pp 9-24. Ed Singh R P et al., New York.
- Hillel D., 1980a. Applications of Soil Physics. Academic Press, New York.
- Hillel D., 1980b. Introduction to Soil Physics. Academic Press. New York.

- Hoogmoed et al, 1991. Infiltration, runoff and drainage in the Sudano-Sahelian zone. In: Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Ed Sivakumar et al. IAHS publication no 199, pp31-41 Proceedings international workshop, Niger.
- Jackson I. J., 1989. Climate, water and agriculture in the tropics, England.
- Jackson I. J. , 1989 efter Cochemé & Franquin, 1967; An agroclimatology survey of a semi-arid area in Africa, south of Sahara. World meteorological organization. 86 (210) TP 110, 136
- Jalota S.K. & Prihar S. S., 1990. Bare soil evaporation in relation to tillage. In: Advances in Soil Science vol 12, 1990.
- Janson P. E., 1987. En modell för analys av markens vatten- och värmehushållning. Fakta mark-växter nr 3. Sveriges Lantbruksuniversitet,
- Kanemasu et al, 1990. Improving agricultural productivity in semi-arid tropics. In: Advances in soil science vol 13. Dryland agriculture strategies for sustainability, pp 273-308. Ed Singh R P et al. New York,
- Kanwar J. S., 1978. Crops or the arid and semi-arid areas of India - Problems and potentials. In: Arid zone research and development. Proceeding International symposium on arid zone research and development. Ed Mann H S.
- Kanwar, 1985. Dryland management alternatives and research needs for alfisols in the semi-arid tropics, ICRISAT.
- Karacili, 1988. Prediction of runoff yield. In: Agriculture water management, vol 14, no 1 - 4, 1988.
- Konijn N., 1988. A Crop Production and Enviromental Model. In: Sustainable development in agriculture. Ed Parikh J K. International Institute for Applied Systems Analysis, Netherlands.
- Koorevaar et al, 1983. Elements of soil physics. Developments in soil science no 13. Department of soil science and plant nutrition, Agricultural university of Wageningen, Netherlands.
- Krantz, B. A., 1981. Water conservation, management, and utilization in semi-arid lands. In: Advances in Food-producing systems for arid and semi-arid lands, part A. Ed J. T. Manassah & E. J. Briskey, Academic Press.
- Lal R., 1986. Soil surface management in the tropics for intensive land use and high and sustained production, pp 2-94. In: Advances in soil science, vol 5, 1986. Ed Stewart B A, New York.
- Lal R., 1988. Soil degradation and the future of agriculture in Sub-saharan Africa. In: Journal of Soil & Water Conservation no 6 vol 43, 1988.
- Lal R., 1990. Soil Erosion and Land degradation; The global risks. In: Advances in Science vol 11. Soil degradation. Ed Lal R & Stewart B A, New York.
- Lal R., 1991. Current research on crop water balance. In: Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Ed Sivakumar et al. IAHS publication no 199, pp31-41 Proceedings international workshop. Niger.
- Lindh G., 1979. Water and food production. In; Food, climate and man. Ed Margaret R, Biswas & Biswas A K, New York.
- Lidsell, 1988. Studie av hydrologiska förutsättningar för ett självförsörjande jordbruk i Kenya. Examensarbete, Stockholms universitet.
- L'vovitch M. L., 1979. World water resources and their future. Translation by the American Geophysical Union Lithocrafters Inc. Chelsea, Michigan.
- Ludlow M. M. & Muchow R. .C., 1988. Critical evaluation of the possibilities for modifying crops for high production per unit of precipitation. In: Drought research priorities for the dryland tropics, pp 179-213. Ed Bidinger F R & Johansen C. ICRISAT, Patancheru, India.

- Lundqvist J., 1989. Right Food, Right Way & Right People. Aspects of resource management in semi-arid Third World regions. In: Water scarcity - an ultimate constraint in third world development. TEMA V Report 14, Linköpings universitet. Linköping, Sweden.
- Lundqvist J., Sivanappan R. K. & Ramakrishnan T., 1991. Water Conservation and integrated resources management. A case study in interface forestry programme in Allikuli watershed, Thiruvallur division, Tamil Nadu, India. UNCED, 1992, Freshwater resources.
- Madaukor H. O., 1991. Physical and hydraulic properties of soils of the Sudano-Sahelian regions of Nigeria. In: Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Ed Sivakumar et al. IAHS publication no 199, pp31-41 Proceedings international workshop, Niger.
- McCool D. K. & Renard K. G., 1990. Water erosion and water quality. In: Advances in soil science vol 13. Dryland agriculture. Strategies for sustainability pp 175-183. Ed Singh R.P. et al, New York.
- Monteith J. L., 1991. Weather and water in the Sudano-Sahelian zone. In: Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Ed Sivakumar et al. IAHS publication no 199, pp31-41 Proceedings international workshop, Niger.
- Morales C., 1977. Rainfall Variability- A natural phenomenon. In; Ambio vol 6 no 1, 1977
- Njihia, 1988. Prospects of soil moisture conservation by fallowing in areas of medium agricultural potential in smallholder farming. In; Agricultural water management, 14 pp 265 - 275, Netherlands.
- Oebker N., 1981. Vegetable crops in desert areas. In: Advances in food-producing systems for arid and semi-arid lands. pp 761-764. KFAS, Academic press.
- Onken A. B. & Wendt C. W., 1989. Soil fertility and water relationships. In: Soil, Crop and water management in the Sudano-Sahelian Zone. ICRISAT.
- Orev Y., 1988. Some agricultural considerations in the planning of runoff farming. In: desertification Control bulletin, no 16. UNEP.
- Owonubi J. J. et al, 1991. Review of soil water balance studies in Nigeria. In: Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Ed Sivakumar et al. IAHS publication no 199, pp 329 - 337. Proceedings international workshop, Niger.
- Papendick R. I. et al, 1990. Optimizing Crop/livestock production for dryland agriculture, pp 253-270 In: Advances in soil science vol 13. Dryland agriculture strategies for sustainability. Ed Singh R P et al., New York .
- Parr J. F. et al, 1990. Improving the sustainability of dryland farming systems: A global perspective. pp 1 - 7. In: Advances in soil science vol 13. Dryland agriculture strategies for sustainability. Ed Singh R P et al., New York.
- Pathak P. et al, 1985. Improved rain-fed farming for Semi-Arid Tropics - implications for soil and water conservation. Soil Conservation society of America. Iowa.
- Payne, W. A., 1991. Physical and hydrological characterization of three sandy millet fields in Niger. In: Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Ed Sivakumar et al. IAHS publication no 199, pp 199-207. Proceedings international workshop. Niger, 1991.
- Perrier E. R., 1988. Opportunities for the productive use of rainfall normally lost to cropping for temporal or spatial reasons. In: Drought research priorities for the dryland tropics. pp 113-131. Ed Bidinger F R & Johansen C. ICRISAT, Patancheru, India.
- Perry, 1984. Desertification in Australia. International symposium of integrated control of land desertification. Proceedings MAB national Committée of the People's republic of China for MAB and Unesco, China.

- Power, 1990. Fertility management and nutrient cycling. In: Advances in soil science vol 13. Dryland agriculture strategies for sustainability, pp 131-147 Ed Singh R P et al. New York 1990
- Prasad R. & Power J. F., 1991. Crop residue management. In: Advances in soil science vol 15 pp 205 - 239. Ed Stewart B A, New York.
- Rajat De, 1981. Agronomic management of crops and cropping systems for arid and semi-arid lands. In: Advances in food-producing systems for arid and semi-arid lands, part A. Ed Manassah J. T. & Briskey E. J., KFAS, Academic Press.
- Rees J. D. et al, 1988. Improvement of water use efficiency in Barani arable agriculture in Baluchistan. In: Sarhad journal of agriculture vol 4 no 6, 1988.
- Reij C. et al, 1988. Water harvesting for plantproduction. World bank technical paper number 91. World Bank, Washington D C.
- Rijks D., 1986. The environment of rainfed agriculture under arid and semi-arid conditions. In: Development of rainfed agriculture under arid and semi-arid conditions. Ed Davis T D. Proceedings of the Sixth agriculture sector symposium. World Bank. Washington D C.
- Robertson G. W., 1988. Possibilities and limitations of rainfall analysis for predicting crop-available water. In: Drought research priorities for the dryland tropics. Ed Bidinger F R & Johansen C. ICRISAT, Patancheru, India.
- Schneider H., 1982. In: Alternative strategies for desert development and management. UN Institute for Training and Research. WATER vol 3 1982. Preceeding international conference Sacramento USA, 1977.
- Singer & Mundlak (Ed), 1975. Arid zone development; potentials and problems. Symposium at Hebrew university Jerusalem.
- Singh H. P., 1978. Improving the moisture storage in sandy desert soils by sub-surface moisture barrier. In: Arid zone research and development Ed Mann E. D., Proceeding international symposium on arid zone research and development.
- Singh R. B., 1985. Resource management in drylands. ban 105, 1985, Ed Mechelein & Mensching. Stuttgarter Geographische Studien.
- Singh R. D., 1988. Civilisation in a hurry. In: Journal of Tropical Forestry vol 4 (II) pp 99-110. Bhopal, Indien.
- Sivakumar, M. V. K., 1989. Agroclimatic aspects of rainfed agriculture in the Sudano-Sahelien zone. In: Soil, crop and Watermanagement in the Sudano-Sahelian Zone. ICRISAT. Niger.
- Sivakumar, M. V. K. & Wallace, J. S., 1991. Soil water balance in the Sudano-Sahelien zone. In: Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Ed Sivakumar et al. IAHS publication no 199. pp 1-10. Proceedings international workshop, Niger.
- Sivanappan R. K., 1989. Soil and water conservation and water harvesting manual. Tamil Nadu social forestry project, SIDA forestry coordination programme, Madras.
- Smith G. D. & Laryea K. B., 1989. Defining objectives for research into physical components of soil and water management in the Semi-arid tropics. In: Report SADCC Soil and Water conservation no 21, pp 13 - 37, ICRISAT, Pantacheru, India.
- Smith J. L. & Elliot L. F., 1990. Tillage and residue management effects on solik organic matter dynamics in semi-arid regions. In: Advances in soil science vol 13. Dryland agriculture, strategies for sustainability, pp 69-85. Ed Singh R P et al, New York.
- Smith S. E., 1986. Drought and water management; the Egyptian response. In: Journal of Soil and Water Conservation no 41.
- Stewart B. A., 1989a. Management of vertisols for improved agricultural production. An IBSRAM inaugural workshop. ICRISAT, India.

- Stewart B. A., 1989b. Conjunctive use of rainfall and irrigation in semi-arid regions. In: Soil, Crop, and Water management in the Sudano-Sahelian zone pp 107 - 117. ICRISAT, Niger.
- Stewart B. A. & Steiner J. L., 1990. Water-Use-Efficiency. In; Advances in soil science vol 13. Dryland agriculture strategies for sustainability, pp 151-170 Ed Singh R P et al, New York.
- Suliman, 1988. Dynamics of Range plants and desertification monitoring in the Sudan. In: Desertification Control Bulletin no 16. UNEP.
- Swindale L. D., 1984. The distribution and management in dryland agriculture of vertisols in the semi arid tropics. Proc. Symp. on the properties and utilization of cracking clay soils.
- Swindale, 1989. In: Management of vertisols for improved agricultural production An IBSRAM workshop. ICRISAT 1989. ICRISAT conference paper no CP 369.
- Szabolcs, 1986. In: Advances in soil science vol 4.
- Szesztay K., 1979. Evapotranspiration studies for estimating maninfluenced streamflow patterns under arid conditions. The hydrology of areas of low precipitation. In: Proceedings of the Canberra Symposium, December 1979, IAHS-publ. no 128, pp 197- 204. IAHS-press, Wallingford.
- Thanh N. C. & Biswas A. K., 1990. Environmentally sound water management, ed N.C. Thanh och A.K. Biswas, Oxford Univ press.
- UNEP, 1986. Farming system principles for improved forest production and the control of soil degradation in the arid, semi-arid and sub-humid tropics. ICRISAT/UNEP.
- Unesco, 1981. Unesco programme Man and Biosphere (MAB). Integrated Project in Arid Lands (IPAL), Paris.
- Unesco, 1990. Feeding tomorrows World. Sasson Alberi, France.
- Unger P. W., 1990. Conservation tillage systems. In: Advances in soil science vol 13. Dryland agriculture strategies for sustainability. Ed Singh R P et al. pp 27 66 ,New York.
- Upchurch R. P., 1981. In: Advances in Food-producing systems for arid and semi-arid lands, part B. Ed J T Manassah & E J Briskey. Academic Press.
- USDA, 1988. Keys to Soil Taxonomy. SMSS technical monograph #6, USA.
- Vandenbeldt R. J., 1990. Agroforestry in the Semiarid Tropics. In: Agroforestry: classification and management. Ed MacDicken K G & Vergara N T, USA.
- Venkateswarlu J., 1987. Efficient resource management systems for drylands of India. In: Advances in Soil Science vol 7, 1987.
- Virmani S. M., 1975. The agricultural climate of the Hyperabad region in relation to crop planning. ICRISAT mimeo, pp 61.
- Virmani S. M. et al, 1989. Approaches to the management of vertisols in the semi-arid tropics: The ICRISAT experience. In: Management of vertisols for improved agricultural production. An IBSRAM-workshop. ICRISAT.
- Wallace, 1991. The measurement and modelling of evaporation. In: Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Ed Sivakumar et al. IAHS publication no 199, pp 1-10. Proceedings international workshop, Niger.
- WCED, 1987. Our Common Future. World Commision on Environment and development. Oxford university press Oxford UK.
- Whitman C. E. & Meyer R. E., 1990. Strategies for increasing the productivity and stability of dryland farming systems. In: Advances in soil science vol 13. Dryland agriculture. Strategies for sustainability pp 347-357. Ed Singh R P et al. New York.
- Winpenny J. T., 1991. Development research: the environmental challenge. Ed Winpenny J T. Overseas Development Institute, London.

## Bilaga I. Metod för beräkning av vattentillgångens betydelse i Afrika

### Förklaring av metod för den approximativa beräkningen av vattentillgångens betydelse i Afrika

#### Syfte och Metod

Beräkningen är utförd på länder i Afrika med arida, semi-arida och sub-humida klimatzoner, och är gjord för år 2000 och 2025. Totalt ingår 31 länder. FAO:s prognoser över nödvändiga skördeökningar i dessa länder används som utgångspunkt (FAO, 1983; FAO, 1984; FAO, 1987). Syftet är att få en indikation om hur stor andel av vattentillgången som kommer att åberopas för att uppnå FAO:s prognoser över nödvändiga skördeökningar.

#### Antaganden

##### •Areal

År 2000: regnförsörjd och bevattnad areal år 1982 (FAO, 1987)

År 2025: potentiell regnförsörjd och bevattnad areal enligt FAO (FAO, 1987)

##### •Vattenbehov

En ökning av skörden med 1 ton/ha återför 1000 m<sup>3</sup> vatten till atmosfären i form av evapotranspiration. Detta värde är taget med utgångspunkt från referenser i uppsatsen (Falkenmark, 1986; Doorenbos & Kassam, 1979; FAO/UN, 1990).

##### •Teknik-nivå

Alla länder antas odla med "traditionell" teknik i utgångsläget, vilket innebär en skörd på 1 ton/ha. De kritiska teknik-nivåerna är hämtade ur PPSC (FAO, 1983) för år 2000 och FAO (1987) för år 2025.

-Länder kritiska vid "traditionell" nivå: måste övergå till "extensiv" nivå vilket innebär en fördubbling av skörden från 1 till 2 ton/ha. Denna ökning "konsumerar" 1000 m<sup>3</sup> vatten/ha.

-Länder kritiska vid "extensiv" nivå: måste övergå från "traditionell" till "intensiv" nivå. Detta innebär en fyrdubbling av skörden från 1 till 4 ton/ha. Vattenkonsumtionen borde enligt antagandet bli 3000 m<sup>3</sup>/ha men åtgången har dragits ned till 2000 m<sup>3</sup>/ha. Detta för att få en rimligare vattenåtgång för de länder som måste göra samma skördeökning, d.v.s. från "traditionell" till "intensiv", men som fortfarande producerar för lite för att försörja sina befolkningar.

-Länder kritiska vid "intensiv" nivå: måste övergå från "traditionell" till "intensiv" nivå. Vattenåtgång 3000 m<sup>3</sup> /ha.

Vattenåtgången blir därmed vid övergång från:

"traditionell" till "extensiv" =>	1000 m <sup>3</sup> /ha.
"traditionell" till "intensiv" och produktion stabil=>	2000 m <sup>3</sup> /ha.
"traditionell" till "intensiv" och produktion instabil=>	3000 m <sup>3</sup> /ha.

## Vattentillgång

Siffror på vattentillgång ( $\text{m}^3/\text{person}$  och år) är hämtade från Falkenmark (Falkenmark, 1989) vars källa är L'vovitch (L'vovitch, 1979), och ifrån Harrison (Harrison, 1984).

Vattentillgången utgör det årligt förnybara grund- och ytvattnet och består därför av allt avrinningsvatten. Eftersom vatten till växtens evapotranspiration i regnförsörjt jordbruk hämtas från den andel av regnet som *inte* bildar avrinning, kommer resultaten att visa hur stor andel av den årliga avrinningen *man tvingas avstå ifrån*; således inte direkt den andel av vattentillgången som växten använder. Om större andel av regnet går igenom växten kommer en mindre andel att nå vattendrag och grundvattnet.

## Beräkning

År 2000:

- 1) Den odlade arealen 1982 multipliceras med den vattenåtgång som krävs för att genomföra nödvändiga nivåhöjningar (kritiska nivåer markeras med X) från "traditionell" teknik. Ger ett värde på den totala vattenåtgången för att uppnå skördeökningarna.
- 2) Detta värde divideras med den prognostiserade befolkningen år 2000, vilket ger vattenåtgången i  $\text{m}^3/\text{person}$  och år.
- 3) Vattenåtgången per person och år divideras sedan med vattentillgången, vilket ger andelen av vattentillgången som måste åberopas/uppoffras för att uppnå skördeökningarna.

År 2025:

Samma procedur som år 2000. Skillnaden består i valet av värden:

- potentiell areal enligt FAO istället för odlad 1982
- kritiska nivåer för 2025 markeras med 0 i tabellen
- prognostiserade befolkningar år 2025
- vattentillgång år 2025

### TABELLER Bilaga I

Redovisning av approximativ beräkning. Andelen av den tillgängliga vattentillgången som åtgår för att genomföra de av FAO beräknade intensitetshöjningarna i jordbruksproduktionen fram till år 2000 och år 2025.

Subhumida och Semiarida Sydafrika	Areal (1982) milj ha	Areal (pot) milj ha	Intensitet <sup>1,2</sup> Kritisk vid		Befolkning		Vatten behov		Vatten tillgång		Andel av vattentillgång som åtgår (procent)		
			T	E	I	miljoner	m <sup>3</sup> /person	m <sup>3</sup> /person	2000	2025	2000	2025	
													O
Botswana	1,1	1,04	X	O		1,9	4,1	716	868	4760	2220	15	39
Lesotho	1,9	7,07		X	O	2,3	4,1	200	256	1790	1000	11	26
Malawi	13,25	25,61	X			11,7	23,2	197	190	770	385	26	49
Swaziland	1,3	0,87	X			1,0	1,9	1300	460				
Zimbabwe	2,7	16,19	X			15,1	32,7	179	495	1550	710	12	70
Namibia	0,66	0,56	X	O		2,4	4,3	275	260	3850	2080	7	13
Tanzania	4,14	38,9	X			39,1	83,8	106	464	1920	910	6	51
Mozambique	2,85	43,83	X			21,8	39,7	131	1104	2630	1450	5	76
Zambia	5,15	54,58	X			11,2	23,8	460	2293	8300	4000	6	57
Angola	2,95	84,01	X			13,2	24,5	223	3429	11900	6250	2	55

1 X: Anger kritisk intensitetsnivå år 2000. O: Anger kritisk intensitetsnivå 2025.

2 T: "traditionell" teknologi. E: "extensiv" teknologi. I: "intensiv" teknologi.

3 Källa: Harrison, 1984. Övriga siffror som anger vattentillgång; källa: Falkenmark, 1989.



Subhumida Östafrika	Areal (1982) milj ha	Areal (pot) milj ha	Intensitet <sup>1,2</sup> kritisk vid		Befolkning		Vatten behov		Vatten tillgång		Andel av vattentillgång som åtgår (procent)		
			T	E	I	2000	2025	2000	2025	2000	2025	2000	2025
Burundi	1,1	1,04		X	O	6,95	11	317	284	600 <sup>3</sup>	320	53	89
Kenya	1,9	7,07		X	O	38,5	82,9	99	256	1200 <sup>3</sup>	455	8	56
Etiopien	13,25	25,61	X	O		58,4	112	227	457	2100 <sup>3</sup>	1030	11	44
Rwanda	0,75	0,94			X	10,6	22,2	212	127	800 <sup>3</sup>	290	27	44
Uganda	4,18	11,16	X	O		26,8	52,3	156	427	2440	1270	6	34

Nord- och Nordost- Afrika	Areal (1982) milj ha	Areal (pot) milj ha	Intensitet <sup>1,2</sup> Kritisk vid		Befolkning		Vatten behov		Vatten tillgång		Andel av vattentillgång som åtgår (procent)		
			T	E	I	2000	2025	2000	2025	2000	2025	2000	2025
Algeriet	6,88	7,57		X	O	35,2	57,3	391	396	1000 <sup>3</sup>	530	39	75
Egypten	2,47	3,51			X	65,2	97,4	114	108	1450 <sup>b</sup>	1000	8	11
Libyen	1,76	2,00		X	O	6,1	11,1	578	541	1200 <sup>3</sup>	625	48	86
Marocco	7,93	7,41		X <sup>a</sup>	O	36,3	59,9	473	371	900 <sup>3</sup>	530	49	70
Sudan	12,39	59,52	X			32,9	55,4	377	1074	1900 <sup>3</sup>		20	57
Tunisien	3,49	4,57		X <sup>a</sup>	O	9,7	13,6	720	1008	480	330	150	305

<sup>a</sup>Källa: FAO, 1987

<sup>b</sup>Egypten är svårt att räkna på beroende på den stora andelen bevattning (ca 90 procent)

Sudano-Sahel	Areal (1982)		Intensitet <sup>1,2</sup> Kritisk vid	Befolkning		Vatten behov		Vatten tillgång		Andel av vattentillgång som åtgår (procent)	
	milj ha	milj ha		miljoner	m <sup>3</sup> /person	m <sup>3</sup> /person	m <sup>3</sup> /person	m <sup>3</sup> /person	2000	2025	2000
			T	2000	2025	2000	2025	2000	2025	2000	2025
Burkina Faso	2,62	11,06	X	10,5	19,5	250	567	2630	1430	9,5	40
Cap Verde	0,0042	0,04	X	0,4	0,5	315	240				
Mali	2,06	17,1	X	12,3	21,4	167	799	5000	2940	3	27
Mauretania	0,2	1,44	X	3	5,9	133	488	6670	3450	2	14
Niger	3,65	11,86	X	10,3	18,9	709	1255	1700 <sup>3</sup>		42	74
Senegal	5,22	9,9	X	9,9	18,9	527	1048	2900 <sup>3</sup>	1850	18	57
Somalia	1,10	1,83	X	6,2	13,2	355		1800 <sup>3</sup>		20	
Tchad	3,15	18,2	X <sup>3</sup>	7,3	13,1	419	1389	5260	2940	8	47

Sub-humida Västafrika	Areal (1982)		Intensitet <sup>1,2</sup> Kritisk vid	Befolkning		Vatten behov		Vatten tillgång		Andel av vattentillgång som åtgår (procent)	
	milj ha	milj ha		miljoner	m <sup>3</sup> /person	m <sup>3</sup> /person	m <sup>3</sup> /person	m <sup>3</sup> /person	m <sup>3</sup> /person	m <sup>3</sup> /person	2000
			T	2000	2025	2000	2025	2000	2025	2000	2025
Benin	1,36	6,44	X	6,4	12,2	213	528	2700 <sup>3</sup>	1235	8	43
Nigeria	49,9	49,9	X	161,9	338,1	172	295	2400 <sup>3</sup>	910	7	32

<sup>1</sup> X: Anger kritisk intensitetsnivå år 2000. O: Anger kritisk intensitetsnivå 2025.

<sup>2</sup> T: "traditionell" teknologi. E: "extensiv" teknologi. I: "intensiv" teknologi.

<sup>3</sup> Källa: Harrison, 1984. Övriga siffror som anger vattentillgång; källa: Falkenmark, 1989.

## Bilaga II. Utbredning av "torra" regioner i världen

### Arida, semi-arida och torra sub-humida regioner i världen

Det finns flera system för indelning av världen i klimatzoner. I uppsatsen kommer FAO:s definition av arida, semi-arida och torra sub-humida regioner att användas. FAO:s definitioner beskrivs nedan, samtidigt som en redogörelse görs av andra indelningssystem. Syftet är primärt att försöka beskriva den geografiska utbredningen av världens "torra" regioner. Dessutom belyser kapitlet svårigheten att jämföra olika geografiska indelningar och därmed även möjligheten att precisera den geografiska utbredningen av klimatzoner. Orsaken är att grunden för indelningen varierar.

Det är befogat att inleda detta kapitel med att försöka beskriva de olika metoder för beräkning av potentiell evaporation och potentiell evapotranspiration som förekommer i denna uppsats. Orsaken är att det finns en rad olika metoder som dessutom ger olika värden. Effekten blir att de index som används för att definiera klimatzoner, generellt olika förhållanden mellan P och potentiell evaporation/evapotranspiration inte alltid är jämförbara.

PET beräknas efter Penman-metoden från 1948, som utgår från den mängd vatten som avdunstar från en yta med ett kort, men tätbevuxet, grönt växtbestånd, som är välförsörjt med vatten. Penman kallade ursprungligen detta för "potentiell transpiration". I litteraturen refereras ofta till Penman (1956) vid hänvisning till denna metod (Monteith, 1991 efter Penman, 1956). Från Penman-metoden har flera kombinationsekvationer tagits fram där Penman-Monteith ekvationen är en vanligt förekommande. Den generella formeln för den potentiella evapotranspirationen är enligt nedan (Monteith, 1991):

$$LE = \frac{\Delta R_n + \rho c_p D/r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_s/r_a)}$$

LE = förlusten av latent värme från en yta (energiflöde i form av vattenånga),

$\Delta$  = ökning av mättnadsångtryck med temperaturen ( $\text{Pa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) (lutningen på kurvan som anger förändring mellan mättnadsångtryck och temperatur),

$\rho c_p$  = den volymetriska specifika värmen för luft ( $\text{J m}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ )

$\gamma$  = den psykometriska konstanten ( $66 \text{ Pa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) (kvoten mellan den specifika värmen vid konstant tryck och latent värmen för fasomvandling från vatten till ånga),

$r_a$  = vindberoende resistans hos ytan

$r_s$  = serie av resistanser som hänförs till vattenångans väg genom bladens stomata

D = Ångtrycksgradienten mellan markytan och atmosfären

Penman definierade även en potentiell evaporation,  $E_0$ .  $E_0$  definieras som den potentiella evaporationen från en fri vattenyta, och beräknas efter samma ekvation som ovan förutom att  $r_s$  inte finns med.

Bodyko (Jackson 1989 efter Bodyko, 1956) har tagit fram ett ariditetsindex som definieras genom kvoten mellan den tillgängliga nettostrålningen för evaporation från en våt yta (RN) och den latent värmen för evaporation (PL). När  $RN/PL > 1$  är atmosfärens "evaporativa krav" större än P, vilket innebär att zonen definieras som arid.

De tre beskrivna systemen att beräkna atmosfärens evaporativa krav från mark/vattenytor (PET,  $E_0$  och RN/PL) kommer att resultera i olika värden när de appliceras på samma klimatzon. Jackson (Jackson, 1989) refererar försök där olika beräkningsmetoder jämförts på en och samma ort. Resultaten visar att  $E_0$ , d.v.s. den potentiella evaporationen från en fri vattenyta, generellt ger högre värden än PET som beräknas på en våt grästäkt markyta. Detta kan vara en förklaring till att de index som beskrivs nedan inte är jämförbara. Exempelvis går gränsen mellan semi-arida och sub-humida klimatzoner enligt det av Unesco använda indexet  $P/E_0$  vid ett värde på 0,5. Inverteras detta värde fås ett  $E_0/P$  värde på 2, vilket således omöjligt kan vara jämförbart med PET/P-värden eller RN/PL-indexet, där arida områden enligt Bodyko börjar vid värden som överstiger 1.

Generellt används olika definitioner på förhållandet mellan årsmedelnederbörd (P) och den potentiella evapotranspirationen, vid indelning av klimatzoner. FAO använder begreppet *Length of Growing Period*, LGP, växtsäsongens längd, som grund för klimatindelning (tab 1). LGP definieras som det antal dagar P överstiger halva den potentiella evapotranspirationen (PET), temperaturen överstiger 5 grader Celcius och 100 mm markvatten har utnyttjats av grödan (FAO, 1978). De klimatologiska förutsättningarna för jordbruksproduktion beräknas således genom relationen mellan P och PET samt ett antagande att växten "tömmer" markprofilen på 100 mm vatten.

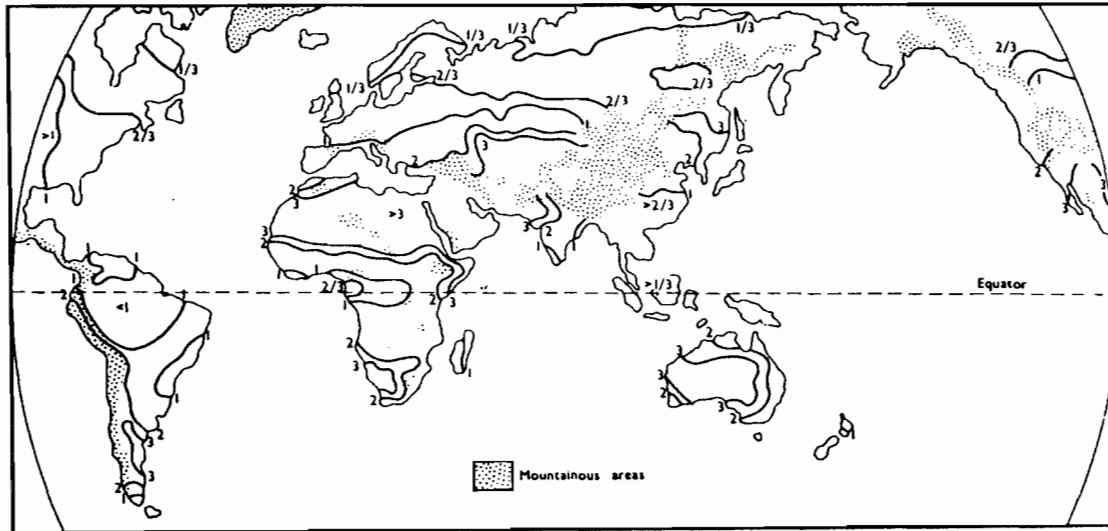
**Tabell 1.** Definition av klimatzoner efter *Length of Growing Period*, LGP, och generella karaktäristiska för zonerna (P, ET,  $E_0$  och vegetationszon)

Klimatzon	LGP	P/år	ET*	$E_0^*$	Vegetationszon
Arid	1 - 74	100- 400	280	1300	Halvöken
Semi-arid	75 - 119	400- 600	870	1300	Stepp, busksavann
Torr sub-hum	120 - 179	600-1200	870	1300	Torr savann
Sub-humid	180 - 269	1200-1500	1200	1300	Humid savann
Humid	>269	> 1500	800	800	Tropisk regnskog

Källa: FAO, 1978 och FAO, 1986

\*Källa: Falkenmark & Chapman 1989, efter L'vovitch, 1979.  $E_0$  anger potentiell evaporation från fri vattenyta.

Bodykos ariditetsindex används som grund för en av Unesco:s världskartor för klimatindelning (Unesco, 1978) (fig 1).



**Figur 1.** Indelning av klimatzoner efter ariditetsindex (RN/PL) (Jackson, 1989 efter Bodyko 1956).

I en senare indelning använder Unesco kvoten mellan P och  $E_0$  för indelning av klimatzoner (tab 2).

**Tabell 2.** Unesco:s indelning av klimatzoner efter kvoten mellan P och  $E_0$

Klimatzon	Kvot P/ $E_0$	Regn/år	Interannuell fluktuation (procent)	Vegetation
Hyper-arid	< 0,03	ca 0	upp till 100	obefintlig
Arid	0,03 - 0,20	80 - 150	50 - 100	spridda buskar
Semi-arid	0,20 - 0,50	200 - 500	25 - 50	stepp
Semi-humid	0,50 - 0,75	> 500 - 800	< 25	stepp/savann

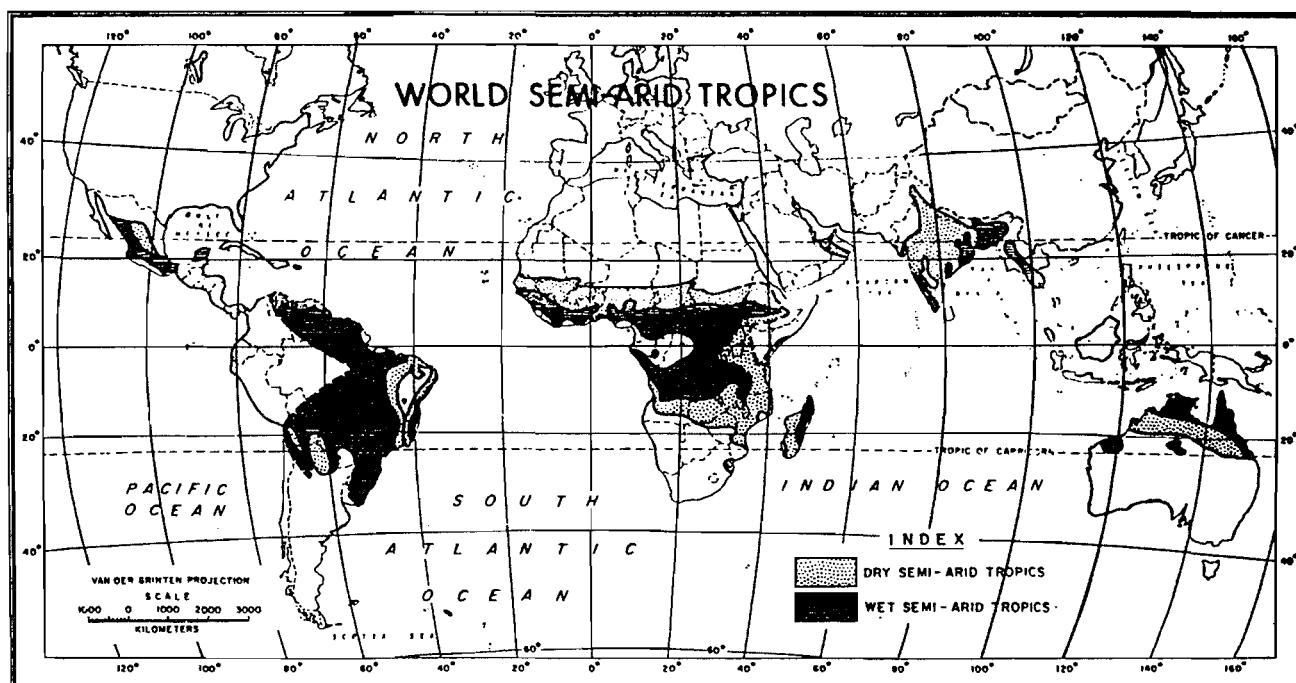
Källa: Unesco 1979, Reij et al, 1988

ICRISAT, International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics, med forskningsinstitut i Afrika och Indien, använder en klimatklassifikation efter Troll (1965) (Kanemasu et al, 1990 efter Troll, 1965). Klimatzoner indelas efter antalet *humida månader*. En månad är humid om månadsnederbörden överstiger PET (tab 3, fig 2).

**Tabell 3.** ICRISAT:s system för indelning av klimatzoner efter det antal månader  $P > PET$ ; definierat som *humida månader*

Humida månader (P>PET)	Klimatzon	Vegetation	Växtsäsongens längd (dagar)
9,5 - 12	Per-humida tropiker		
7 - 9,5	Humida tropiker	Humid savann	>210
4,5 - 7	Våta-torra semi-arida tropiker humida tropiker	Torr savann	150 - 210
2 - 4,5	Torr semi-arida tropik	Busk savann/ stepp	60 - 150
1 - 2	Arid	Halvöken	< 60
0 - 1	Arid	Öken	0

Källa: Kanemasu et al, 1990 efter Troll 1965



**Figur 2.** Utbredning av världens semi-arida regioner enligt Troll (1965). (Vandenbeldt, 1990 efter Swindale, 1982).

Som synes finns det flera system med olika indelningsgrunder för identifiering av klimatzoner. En analys av vilka konsekvenser detta får vid bedömningar av odlingspotentialen kanske borde vara på sin plats. Detta ryms dock inte inom ramen för denna uppsats. Här nöjer jag mig med att konstatera att det finns olika system för att definiera klimatzoner och växtsäsongens längd, som är en viktiga faktorer i försöken att utveckla och bedriva växtodling i "torra" regioner.

## Bilaga III. Ordlista och definitioner

### Förteckning över definitioner och begrepp

#### Ordlista

När egna/svenska översättningar finns anges dessa som första ord i den svenska översättningen.

<i>Agroforestry</i>	Odlingssystem där vedartade perenner odlas tillsammans med annueller (spannmål) och /eller djur (Vandenbeldt, 1990).
<i>Alley cropping</i>	Odlingssystem där annueller odlas i alléer av vedartade perenner.
<i>Degradation.</i>	Utarmning. Ekosystem där produktiviteten som resultat av olika nedbrytande processer sänkts. Utarmning innefattar en lång rad processer som leder till kemisk, fysikalisk och biologisk nedbrytning. Processerna består av erosion, plintitbildning, saltaccumulation, näringsutlakning och koncentration av toxiska kemikalier (Lal, 1990).
<i>Desertification</i>	Ökenutbredning. Ekosystem där den växtbiologiska produktionskapaciteten upphört helt som en effekt av sanddyners utbredning eller av långt gångna utarmningsprocesser (se <i>degradation</i> ).
<i>Dry seeding</i>	Odlingsteknik där grödan sås i "torr" mark innan regnperioden startar. Syftet är att utnyttja de första regnen maximalt. Kallas även <i>respons farming</i> .
ICRISAT	International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. Lokaliserat i Hyderabad i Indien (1972) och Niger i Afrika (1981). Speciellt inriktade på att utveckla odlingsteknik och odlingsystem för regnförsörjt jordbruk i semi-arida tropiker.
IRRI	International Rice Research Institute. Lokaliserat i Los Banos på Filippinerna och startade sin verksamhet 1960.
<i>Mulch,</i>	Marktäckning. Odlingsteknik där ett lager med växtrester, normalt <i>mulch farming</i> rester från tidigare odlad gröda, lämnas kvar på åkern i syfte att öka mängden organiskt material, minska ytavrinningen, öka infiltrationen och minska evaporationsförluster.
<i>Multiple cropping*</i>	Samlingsnamn för odlingsystem som intensifierar markutnyttjandet både i tid och rum. Kan ske på två sätt; genom att använda <i>Sequential farming</i> (se nedan) eller <i>Intercropping</i> (se nedan).
	<i>Intercropping*</i> Samodling. Odlingssystem där två grödor, ofta en spannmålsgröda och en baljväxt, odlas gemensamt i syfte att öka växttäcket på marken och tillföra marktäckning samt näring till marken. En rad olika typer av <i>intercropping</i> existerar. Motsatsen till <i>intercropping</i> skulle vara "odling i renbestånd".
	<i>Sequential farming *</i> Sekvensodling. Odlingssystem där två grödor med olika mognadstid, eventuellt olika så-tider, odlas

tillsammans i syfte att utnyttja så lång tid som möjligt i början och slutet av växtsäsongen.

- Responsfarming*      Se *Dry seeding*
- Run-off farming*    Ytvattenodling. Odlingsteknik där ytvatten från ett avrinningsområde styrs till den plats där växtodling sker (en åker, ett träd o.s.v.). I litteratur förekommer att dessa begrepp även syftar på samling och lagring av ytvatten i dammar, tankar, sjöar e.dyl. . I uppsatsen har ytvattenodling där ett moment av lagring ingår hänförs till begreppet *run-off collection* . Dessa båda former av odlingsmekanik ingår i det vida begreppet *water harvesting* (se nedan).
- Soil- and water-*      Mark- och vattenbevarande åtgärder. Paraplybegrepp för alla former *conservation* av mark- och vattenhantering som syftar till att minimera utarmning och uppnå bästa möjliga vattenutnyttjande.
- Sahels "torra*            Det breda bältet av länder direkt söder om sahara-öknen, med i *regioner*            huvudsak semi-arida men även arida klimatzoner. LGP sträcker sig från 75 - 90 dagar i norr närmast öknen, till 210 dagar i söder. Sahel innefattar delar av Västafrikanska länder som Senegal, Gambia, Guinea Bissau, Guinea, Mauritien, Mali, Burkina Faso, Ghana, Niger, Togo, Benin, Nigeria, Cameroon, och Tchad. Durra, hirs, jordnöt och majs är de vanligaste matgrödorna (Kanemasu et al, 1990).
- Tillage*                Jordbearbetning. Svårt begrepp som jag upplever används med olika betydelser. Ibland syftar *tillage* på plöjning och i andra fall på jordbearbetning i sin helhet d.v.s. plöjning, stubbearbetning, harvning o.s.v. . I uppsatsen används plöjning när jag har uppfattat *tillage* med det syftet, annars används begreppet jordbearbetning. Med jordbearbetning menas då alla mekaniska bearbetningar av marken som är djupare än såbäddsberedning.
- No-tillage*            Utebliven jordbearbetning. Beroende på sammanhang används detta begrepp ibland för att definiera plöjningsfri odling och i andra sammanhang odling där ingen jordbearbetning sker alls (egentligen svenskans direktsådd) (se ovan *tillage*).
- Minimum tillage.*    Minimerad jordbearbetning.
- Water harvesting*    Vatteninsamling. Övergripande begrepp för alla former av insamling av regn. Regnet kan antingen dirigeras direkt till den yta där växtodlingen sker (en åker, träd o.s.v., eller lagras i tankar, dammar e.dyl.). *Water harvesting* kan förstås även syfta på insamling av vatten för andra ändamål än växtodling. För beskrivning av andra former av vatteninsamling hänvisas exempelvis till Världsbankens rapport *Water harvesting for plant production* (Reij et al, 1988).

## Definitioner

- Ariditetsindex        Anges som kvoten mellan den tillgängliga värmestrålningen för evaporation (RN) från en våt yta och det latent värmet för fasomvandling från vatten till ånga (PL). Då  $RN/PL > 1$ , d.v.s.



atmosfärens "evaporativa krav" överstiger P, är klimatzonen arid och då  $RN/PL < 1$  är zonen humid (Jackson, 1989 efter Bodyko, 1956).

**Bindningskurva** Anger olika jordmåners vattenhalt vid olika tryckförhållanden (hydrauliska gradienter). Trycket anges normalt med meter vattenpelare (m v p). Vattenhalten vid m v p = 0 anger porositeten. Markvatteninnehållet mellan - 150 m v p (vissningsgräns) och - 3 1/3 m v p, anger markens fältkapacitet, d.v.s. markens vattenhalt efter ett par dagars dränering.

**CV** *Coefficient of Variation*. På svenska översatt till variationskoefficient. Matematiskt striktare begrepp är relativ standardavvikelse. Anger i denna uppsats standardavvikelsens (från P, årlig medelnederbörd) andel av P, d.v.s. CV fås genom att ta kvoten mellan medelnederbörd och standardavvikelsen. Anges i procent.

**E** *Evaporation*. Avdunstning, d.v.s. vattenånga tillförs atmosfären, från bar markyta, vattenyta, eller från växters bladytor. Evaporationens storlek beror av tre huvudfaktorer: (1) tillgången på latent värme för fasomvandling av vatten till ånga, (2) en ångtrycksgradient som tillser att vattenånga kan förflyttas och (3) att det finns vatten (Hillel, 1980a). Den tillgängliga energin för avdunstning (den latent energi för fasomvandling multiplicerat med flödet av vattenånga (LE)) anges av skillnaden mellan nettostrålningen (RNT) och det sensibla värmefflödet till luften (H) och värmefflödet till marken ( $q_h$ ):

$$LE = RNT - H - q_h$$

RNT utgörs av den totala energiinstrålningen, strålningsbalansen, kompenserat för albedo ( $\alpha$ ) och strålningsvinkeln ( $\Theta$ ):

$$RNT = K (1 - \alpha) \sin (\Theta) + L_{ut} + L_{in}$$

där  $L_{ut}$  och  $L_{in}$  utgör långvågig strålning ifrån respektive till marken.

**ET** *Evapotranspiration*. Sammanslagning av E och T.

**ET<sub>a</sub>** Växtens *aktuella evapotranspiration*. Den ET som växten under rådande klimatbetingelser uppnår.

**ET<sub>m</sub> alt ET<sub>crop</sub>** Växtens *potentiella eller maximala evapotranspiration*. Eftersom storleken på ET styrs av klimatets potentiella evapotranspiration (PET) anges ofta ET<sub>m</sub> som funktion av PET:

$$ET_m \text{ alt } ET_{crop} = k_c \text{ PET}$$

( $k_c$  = specifikt grödkoefficient, se nedan)

**Hydraulisk konduktivitet;**  
omättad och mättad (K).

Markens ledningsförmåga (m/s alternativt  $m^2/ Pa \cdot s$ ). Markens porstorleksfördelning (porradien) och antalet vattenfyllda porer styr konduktiviteten. Genom att använda Poiseuille:s lag, som beskriver vattenflöde i kapillära rör, kan följande funktion för konduktivitet (K) anges (Koorevaar et al, 1983):

$$K = \frac{1}{8\eta\tau} \sum(\Delta \Theta)_i r_i^2$$

$r_i^2$  : porradie

$\Delta \Theta$ : vattenhalt

$\eta$  :viskositet

$\tau$ : "turtuosity"; faktor (ca 2) för att kompensera för porernas kurvor

Funktionen belyser konduktivitetens starka beroende av vattenhalten i marken. Vid omättade förhållanden sjunker K och därmed vattenflödet (q).

Hydrauliska potential ( $\psi_h$ ) eller hydraulisk gradient (dH/ds). Anger tryckförhållanden i marken och utgörs av en tryckgradient (tension) ( $\psi_p$ ) och en gravitationsgradient ( $\psi_g$ ) (se ovan *vattenflöde*). Under omättade förhållanden kommer det vertikala vattenflödet att styras av markens tension och dess omättade K-värde.

$k_c$  Grödspecifik koefficient. Anger hur stor andel av PET som olika växter i olika utvecklingsstadier utnyttjar för ET under optimala förhållanden. Konstanten  $k_c$  är låg vid groningen ( $k_c = 0,4-0,6$  (ca)), når sitt maximum vid blomning/kärnsättning ( $k_c > 1$  vanligt förekommande), för att åter minska mot slutet av mognad.

$k_y$  Grödspecifik avkastningskoefficient. Anger olika gröders relativa avkastningsförändringar vid förändrad evapotranspiration. Om konstanten  $k_y < 1$  är den relativa minskningen i avkastning mindre än den relativa minskningen i ET. Här finns de tork-resistenta arterna hirs och durra.

LGP *Length of Growing Period*. Växstsäsongens längd enligt FAO:s definition. Anges som det antal dagar nederbörden (P) överstiger halva potentiella evapotranspirationen (PET), dvs  $P > 0,5PET$ , temperaturen överstiger 5 grader Celsius, och den odlade grödan har hunnit tömma 100 mm av markvattenförrådet. Definitionen förutsätter således att en gröda har tillgång till 100 mm markvatten som kan utnyttjas i inledning och i slutet av växstsäsongen, under perioder då nederbörden  $P < 0,5PET$ .

För arida och semi-arida områden skiljer FAO på regioner med normal (N) LGP och intermediär (I) LGP. Normal LGP innebär att växstsäsongen har en humid period då  $P > PET$ . Under intermediär LGP når P aldrig upp till PET, d.v.s.  $0,5PET < P < PET$ , under hela odlingsäsongen (FAO, 1978). Två motiveringar finns bakom valet av start/slut för LGP vid  $P=0,5PET$ . Först anses sannolikheten för tidiga regn öka om växstsäsongens start sätts till det tillfälle då årsmedelnederbörden motsvarar  $0,5PET$ . Vid denna nivå elimineras risken för uteblivna regn. Den andra motiveringen är att grödans vattenbehov är lägre vid växstsäsongens start/slut (låga  $k_c$ -värden, se ovan) (FAO, 1979).

PET *Potentiell evapotranspiration* enligt Penman. Avdunstning per tidsenhet från en central yta inom ett vidsträckt område med kort, växande bestånd, som helt täcker markytan och är välförsörjt med vatten. PET beräknas enligt Penman:s (1948) metod för potentiell transpiration. PET är den vanligast förekommande metoden för att

ange potentiell evapotranspiration i denna uppsats, även om beteckningen ofta får olika utseende i olika referenser.

$E_o$  *Potentiell evaporation* enligt Penman. Anger den potentiella avdunstningen från en fri vattenyta.

Pik-flöden Avrinningens högvattenflöde, anges i tropiska områden även som "blixflöden" (eng *peakflow*). Är viktig av två anledningar. Den första är att regnets starka fluktuation och intensitet i "torra" regioner gör att pik-flödet kan bli mycket högt. Det andra är att den tidsstabla avrinningen, d.v.s. den tillförlitliga vattentillgången som inte underskrids under någon del av året, endast uppgår till ca 1/3 av vattentillgången (Falkenmark och Lindh, 1975).

T *Transpiration*. Evaporation från växter via klyvöppningarna i samband med  $CO_2$ -assimilation. Transpiration framförs därför som ett "nödvändigt ont" för att fotosyntesen skall fortgå.  $C_4$ -växter och CAM-växter har generellt lägre transpiration än  $C_3$ -växter, vilket beror på olika system för öppning/stängning av stomata. Grödor som i huvudsak odlas i "torra" regioner är  $C_4$ -växter. Några exempel är majs, hirs och durra.

Unimodalt/bimodalt/multimodalt klimatmönster Anges för att beskriva nederbördsmonster alternativt PET-mönster. Unimodalt klimatmönster innebär att P alternativt PET når ett maximivärde under ett år, bimodal två maximivärden och multimodal att fler toppar uppnås (Hatfield, 1990).

Vattenflöde (q) Vattenflödet ( $m^3/s$ ) styrs av markens hydrauliska konduktivitet (K) och markens hydrauliska gradient ( $\psi_h = dH/ds$ ). Den hydrauliska gradienten består av en tryckgradient ( $\psi_p = dh/ds$ ) och en gravitationsgradient ( $\psi_g = dz/ds$ ). I omättad jord betecknas  $\psi_p$  normalt som en tensionsgradient (eng. tension head) eftersom det är ett undertryck som "suger" vatten upp/ned i markprofilen. Den hydrauliska gradienten har ofta storheten meter vattenpelare (m v p), men kan även anges som tryck (k Pa), i bar, eller i atmosfärer. (1 bar = 1 atmos = 10 m v p = 100 k Pa) Vattenflödet brukar anges m.h.a. Darcy:s ekvation:

$$q = -K \frac{dH}{ds} = -K \left( \frac{dh}{ds} + \frac{dz}{ds} \right)$$

Växttillgängligt vatten Sätts till markens vatteninnehåll mellan potentialintervallet för fältkapacitet (FC), som anges till - 1/3 bar (ca 3 m v p), och permanenta vissningsgränsen (PWP), som sätts till - 15 bar (150 m v p). Fältkapacitet anges även som markvatteninnehållet efter ett par dagars dränering.

WUE *Water Use Efficiency*, vatteneffektivitet. Generellt uttryckt anger WUE mängden producerad biomassa per mängd tillförd eller använd vattenmängd. Det finns en rad olika sätt definiera detta samband, beroende på hur man definierar biomassa, tillförsel/utnyttjande av vatten, och vilken tidsperiod som används. WUE kan därför ses som kvoten mellan exempelvis  $CO_2$ -assimilation, totala biomassa-produktionen (Y), eller kärnskorpen, och vattenkonsumtionen uttryckt som T, ET eller totala tillförseln av vatten. Tidsskalan kan utgå från en ögonblicksbild, dagliga värden eller hela växtsäsonger (Stewart &

Steiner, 1990 efter Sinclair et al, 1984). WUE kan teoretiskt förbättras på två sätt:

- genom att ändra växtens fysiologi genom biokemisk förändring eller genom att ändra växtens stomata-fysiologi
- genom att öka mängden vatten som går till T genom att minska inproduktiva förluster som ytavrinning (R), dränering (D) eller evaporation (E).

För "torra" regioner har Gregory (Gregory, 1989) därför definierat WUE som:

$$WUE = \frac{Y/T}{1 + (E + R + D)/T}$$

\* Hälp med översättning har erhållits av statsagronom Lars Ohlander, vid institutionen för Växtodling, SLU, som i sin tur hämtat en del av terminologin från Andrews & Kassam, 1976; The importance of multiple cropping in increasing world food supplies.

Förteckning över utgivna häften i publikationsserien

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.  
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. AVDELNINGSMEDDELANDE. Fr o m 1990

- 90:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K. & Karlsson, S.-E. Resultat av 1989 års fältförsök avseende detaljavvattning, markvård och markförbättring samt bevattning. 73 s.
- 90:2 Jansson, P.-E. (ed.). The Skogaby Project. Project description. 77 s.
- 90:3 Berglund, K., Lindberg, K. & Peltomaa, R. Alternativa dräneringsmetoder på jordar med låg genomsläpplighet. 1. Ett nordiskt samarbetsprojekt inom Nordkalottnområdet. 20 s.
- 91:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K. & Karlsson, S.-E. Resultat av 1990 års fältförsök avseende detaljavvattning, markvård och markförbättring samt bevattning. 92 s.
- 91:2 Persson, R. & Wesström, I. Markmekaniska effekter av bevattning med Östersjövatten på Öland. 23 s + 5 bil.
- 91:3 Eckersten, H. WIGO model. User's manual. 30 s.
- 91:4 Eckersten, H. SPAC-GROWTH model. User's manual. 32 s.
- 91:5 Stenlund, S. Rainwater harvesting - Metoder för uppsamling av regnvatten för bevattning. En litteraturöversikt. 24 s.
- 91:6 Jansson, P.-E., Eckersten, H. & Johnsson, H. SOILN model. User's manual. 49 s.
- 91:7 Jansson, P.-E. SOIL model. User's manual. 59 s.
- 91:8 Wesström, I. Liste des publications du sujet "Besoin en eau des plantes et irrigation en climat semi-aride". 32 s.
- 92:1 Rockström, J. Framtidens livsmedelsförsörjning i världens torra regioner: Begränsas den av tillgången på vatten? 106 s.

