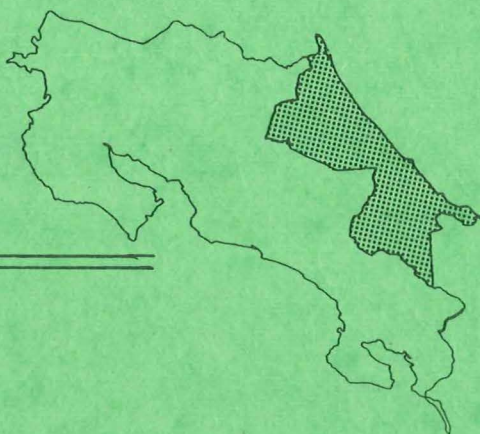




Atlantic

Zone

Programme

Field Reports No. 37

FYSISCH KRAKTERISERING VAN COMPACTIE ALS GEVOLG VAN
VEGETATIEVERANDERING IN TWEE ONTBOSSINGSSEQUENTIES IN COSTA RICA

E. Spaans



ISRIC LIBRARY

CR 1989.03

MAG

Costa Rica



Agricultural University
Wageningen

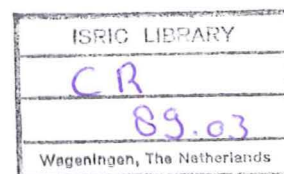
The Atlantic Zone Programme (CATIE-AUW-MAG) is the result of an agreement for technical cooperation between the Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), the Agricultural University Wageningen (AUW), The Netherlands and the Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) of Costa Rica. The Programme, that was started in April 1986, has as a long-term objective multidisciplinary research aimed at rational use of the natural resources in the Atlantic Zone of Costa Rica with emphasis on the small landowner.

El Programa Zona Atlántica (CATIE-UAW-MAG) es el resultado de un convenio de cooperación técnica entre el CATIE, la Universidad Agrícola Wageningen (UAW) Holanda y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de Costa Rica. El Programa, cuya ejecución se inició en abril de 1986, tiene, como objetivo a largo plazo la investigación multidisciplinaria dirigida a un uso racional de los recursos naturales, con énfasis en el productor pequeño de la Zona Atlántica de Costa Rica.

Field Reports form a series of unpublished reports written by students or staff of the Programme. Opinions expressed and conclusions presented are not necessarily those of the Programme.

Field Reports forman una serie de informes no publicados, preparados por estudiantes o técnicos del Programa. Las opiniones expresadas y las conclusiones presentadas no son necesariamente las del Programa.

ATLANTIC ZONE PROGRAMME



Field Report No. 37

FYSISCH KARAKTERISERING VAN COMPACTIE ALS GEVOLG VAN
VEGETATIEVERANDERING IN TWEE ONTBOSSINGSSEQUENTIES IN COSTA RICA

E. Spaans

April 1989

Scanned from original by ISRIC - World Soil Information, as ICSU World Data Centre for Soils. The purpose is to make a safe depository for endangered documents and to make the accrued information available for consultation, following Fair Use guidelines. Every effort is taken to respect Copyright of the materials within the archives where the identification of the copyright holder is clear and, where feasible, to contact the originators. For questions please contact soil.isric@wur.nl indicating the item reference number concerned.

CENTRO AGRONOMO TROPICAL DE
INVESTIGACION Y ENSEÑANZA - CATIE

AGRICULTURAL UNIVERSITY
WAGENINGEN - AUW

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y
GANADERIA DE COSTA RICA - MAG

sm-16628

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD

1.	INLEIDING	1
2.	LITERATUURONDERZOEK	3
3.	METHODEN EN MATERIALEN	9
3.1	Verkenning en selectie	9
3.2	Veldwerk: de korstmethode	10
3.3	Laboratorium- en kantoorwerk	14
3.3.1	Analyses aan gestoorde monsters	14
3.3.2	Bepaling van de vocht karakteristiek	14
3.3.3	Verwerking gegevens veldwerk en statistiek	17
4.	RESULTATEN EN BESPREKING	18
4.1	Klimaat	18
4.2	Bodem	18
4.3	Landgebruik, vegetatie en historie	20
4.4	De vocht karakteristieken	20
4.5	De doorlatendheden	21
5.	FOUTENBRONNEN EN PROBLEMEN	23
6.	CONCLUSIE	24
	LITERATUURLIJST	25
	SAMENVATTING	26
	DANKWOORD	27

BIJLAGEN

1. Standaardformulier bij de korstmethode
2. Profielbeschrijvingen met analysegegevens
3. Dichtheden, porienvolumen en bemonsteringsdiepten
4. Vocht karakteristieken
5. Doorlatendheidskarakteristieken
6. Statistische berekeningen

VOORWOORD

Het hier gepresenteerde onderzoek werd uitgevoerd in het kader van het Atlantische Zone Programma, een multidisciplinair onderzoekprogramma dat in Costa Rica van start ging met een inventarisatie van o.a. de belangrijkste agrarische problemen van de planningsregio Huetar Atlantica, met als uiteindelijk doel het identificeren van relevante, ontwikkelingsgerichte onderzoeksthema's.

Het centrale thema van het Programma is duurzaam landgebruik. Een studie van de bodems en hun gebruiksmogelijkheden, en van de mogelijke gevolgen van landgebruik voor de bodemeigenschappen, is derhalve een belangrijk deel van het onderzoek.

Tot betrekkelijk kortgeleden bevond het grootste deel van de Atlantische Zone zich nog onder tropisch regenwoud. Kolonisatie van dit gebied begon weliswaar reeds in de tweede helft van de vorige eeuw, de meeste ontbossing is van de laatste vijftig jaar. Primair bos wordt thans alleen nog aangetroffen op de hellingen van de vulkanen Turrialba en Irazu en in het noorden van de Zone.

Het ten behoeve van landbouwkundige doeleinden in gebruik nemen van gronden die tot voor kort nog onder bos lagen, leidt vaak tot structuurverval, die zich uit in o.a. verdichting.

In het hier beschreven onderzoek wordt deze verdichting gekarakteriseerd aan de hand van een aantal bodemfysische eigenschappen. Het onderzoek werd verricht in Neguev, een gebied met relatief slechte gronden dat diende als een van de subareas voor een serie baseline studies.

Het veldwerk werd uitgevoerd in de periode april-juni 1987 en vond plaats onder leiding van Dr. W.G. Wielemaker, bodemkundige bij het Atlantische Zone Programma.

Het verslag vormt onderdeel van de vereisten voor het doctoraalvak Bodeminventarisatie en Landevaluatie aan de Landbouwuniversiteit Wageningen, Nederland.

Zonder toestemming van het Programma mag geen gebruik worden gemaakt van de gegevens in dit verslag.

Dr. Jan F. Wienk
Coordinator

1. INLEIDING

De bevolkingsdruk in de tropen heeft grote veranderingen in de vegetatie met zich meegebracht. Grote oppervlakten natuurlijk bos zijn gekapt. Bouw- en grasland zijn ervoor in de plaats gekomen, vaak onder slecht management zoals overbeweiding. Dit heeft negatieve invloeden op de hydrologie en bodemkundige eigenschappen van de grond (Estribi, 1984).

Ook in Costa Rica hebben deze veranderingen in vegetatie plaatsgehad en vinden nog steeds plaats. In de Atlantische Zone (oostkant) is deze ontbossing nu nog in volle gang.

Dit onderzoek is in het kader van een landbouwkundig project dat zijn aandacht vestigt op drie gebieden in deze Atlantische Zone. Een van die gebieden is Neguev, het vroegere Milano, een gebied circa 11.000 ha groot. Dit gebied omvat een aantal chronologische sequenties van die ontbossing.

Ook in Neguev zijn de nadelige gevolgen op de bodemeigenschappen door de vegetatieverandering duidelijk zichtbaar.

Niet zware machines (ontbossing geschiedde voornamelijk met de hand) maar vooral de vertrapping van het vee wordt hier als oorzaak gezien van het veel voorkomende verschijnsel compactie: een structuurdegradatie die belangrijke invloed heeft op de bodemfysische eigenschappen. Dit verlaagt de bodemgeschiktheid voor vele landbouwkundige doeleinden. De gecompacteerde bovengrond vormt een onaantrekkelijk milieu voor wortels van planten, zoals een hoge indringingsweerstand en zuurstofgebrek als gevolg van slechte drainage.

De compactie is op het eerste gezicht, kwalitatief, herkenbaar aan pseudogleyvlekken, een harde consistentie, een hoekige structuur en een hoge penetratieweerstand.

Compactie moet een kwantitatief karakter krijgen om het voorkomen van compactie op verschillende lokaties een waarde toe te kunnen kennen en zo te kunnen vergelijken. Op deze wijze kan de landkwaliteit compactie zijn bijdrage leveren aan verder landbouwkundig onderzoek, zoals bij de beoordeling van bodems voor de kwantitatieve landevaluatie.

Doel van dit onderzoek is om per bodemtype onder bos (als uitgangssituatie) en onder grasland een aantal bodemfysische eigenschappen te vergelijken. Om te kijken tot welke diepte die vegetatieverandering zijn invloed heeft gehad wordt dit op twee diepten onafhankelijk gedaan. Zo kan op een verantwoorde manier een bodemkundige analyse aan het eerder geschetste probleem dat optreedt bij een vegetatieverandering, gedaan worden. De bodemkunde streeft immers naar een duurzaam landgebruik dat ook op lange termijn bodemdegradatie voorkomt, en de bodem beschermt opdat hij optimaal zijn functie kan blijven vervullen.

In het tweede hoofdstuk wordt begonnen met een literatuurstudie, gevolgd door een hoofdstuk waarin de toegepaste methoden en gebruikte materialen besproken worden. Vervolgens worden in hoofdstuk vier de resultaten van het onderzoek uiteengezet en aansluitend een conclusie in hoofdstuk vijf. In hoofdstuk zes komen foutenbronnen en problemen bij de bepalingen aan de orde.

2. LITERATUURONDERZOEK

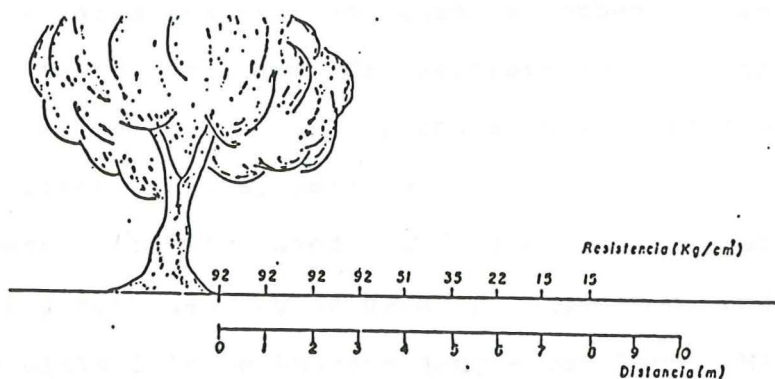
Er is onderzoek gedaan naar literatuur over gelijksoortige studies. Dit is gedaan in de Bibliotheek van de Universiteit van Costa Rica en de Nationale Bibliotheek in San Jose, en de bibliotheek van het CATIE in Turrialba.

Volgens Baver et al. (1972) heeft compactie van de bodem betrekking op een verhoging van de dichtheid als gevolg van blootstelling aan hoge druk of grote massa.

Het porienvolume neemt normaliter met de diepte in het profiel af als gevolg van compactie (massa bovenliggende grond) en afname van biologische aktiviteit. De permeabiliteit neemt af en de vochtigheid neemt toe. Hierdoor kunnen toxische CO₂ concentraties voorkomen (Koorevaar et al., 1983).

Estribi (1984) merkt op, dat er in vergelijking tot de gematigde streken zeer weinig onderzoek is gedaan naar compactie onder grasland en andere landgebruiken in natte tropische gebieden.

Chacon et al. (1983) geven een vergelijking van het effect van landbouwmachines en vee op compactie. De druk van een 39 ton zware rupsbandtractor is 0.76-0.95 kg/cm². De druk van een 400 kg zwaar rund op de bodem is daarentegen 1.0-4.0 kg/cm². Hierbij wordt nog opgemerkt dat het effect van vee zich in de bovenste vijf centimeter van het profiel manifesteert, dat van landbouwmachines voornamelijk dieper in het profiel. Figuur 1 illustreert compactie veroorzaakt door vee, dat graag schaduw zoekt onder bomen.



Figuur 1. Distributie van de penetrati weerstand in de bovengrond door sterke vertrapping van vee.

Chacon et al. (1983) geven als mogelijke oplossingen voor de compactie een verhoging van de organische stofgehalten en een betere drainage om de grond bij lagere vochtgehalten te bewerken.

Soehne (volgens Chacon et al., 1983) deed proeven naar de relatie tussen vochtigheid en compacteerbaarheid van de bodem. Hij deed dat aan een loamy clay soil die werd gecompacteerd tot een porienvolume van 42%. Bij 3.4% vochtigheid was daar een druk van 20.4 kg/cm² voor nodig, bij 14% vochtigheid 34 kg/cm² en in natte omstandigheden was een druk van 0.4 kg/cm² voldoende voor hetzelfde resultaat.

Chacon et al. (1983) hebben veel literatuur onderzocht en vonden daarbij, dat meerdere auteurs schreven dat een verbetering van de compactie zelfs na 7-9 jaren niet noemenswaardig was.

Chacon et al. (1983) duiden op een afname van de bewortelingsdiepte en afname van de vaatdiameter waardoor het transport van produkten reduceert, als gevolg van compactie.

In de buurt van het onderzoeksgebied van deze studie lag een bananenplantage waar bij de geringste windvlagen veel bananenbomen omwoeien. De zeer losse structuur van de bodem, die weinig stevigheid bood, was hier debet aan. Na de bodem enige

tijd onder grasland met vee gehad te hebben, bleek de bodem meer houvast te bieden door de vertrapping van het vee. Betere wortelontwikkeling, hogere opbrengsten en minder windschade waren het resultaat (Spaans, pers.med.).

Seubert (1975) deed onderzoek naar het effect van ontbossingsmethoden op de gewasopbrengsten en bodemeigenschappen in een Ultisol in de Amazone jungle van Peru. Hij vond dat de infiltratie, gemeten met de dubbele ringmethode, tot 5% was gereduceerd door compactie als gevolg van ontbossing met bulldozers. Ook de opbrengstvermeerdering door toevoeging van N, P, K en Ca/Mg was lager bij de laatst genoemde ontbossingsmethode dan bij de brandmethode. Voorts vond Seubert een verdichting van 1.24 naar 1.46 gr/cm³ door het gebruik van machines.

Estribi (1984) deed gelijksoortig onderzoek in Costa Rica op Andeptic Tropohumults. Hij bestudeerde bodemkundige en hydrologische veranderingen, teweeg gebracht door een transformatie van bos naar gras. Als intermediair onderzocht hij ook charral, een 7 jaar lang verwaarloosd en verlaten grasland. Estribi stelt dat bodems onder natuurlijk bos eigenschappen bezitten die de infiltratie van water bevorderen. Eigenschappen als een goede granulaire structuur, porien gemaakt door wortels en biologische activiteit, constante produktie en afbraak van veel organische stof. Door de vegetatieverandering veranderen ook processen als overdracht van nutriënten aan wortels, mineralisatie, evapotranspiratie, decompositie van organische stof en nutriëntenkringloop. Ook het microklimaat in de bovengrond verandert en structuurdegradatie door verslemping als gevolg van blootstelling aan het klimaat speelt ook een rol.

De dichtheid die vaak een maat voor compactie is, wordt niet alleen verhoogd als gevolg van ontbossing met machines, maar ook bij de traditionele brandmethode.

Estribi verwijst naar een onderzoek in Ghana van Cunningham, waar een significante afname van de capillaire porositeit van 10-15% wegens blootstelling aan het klimaat werd gevonden.

Als eigenschappen die de infiltratiesnelheid bepalen geeft Estribi structuur, textuur, diepte, porositeit, aanwezigheid van lagen met hoge organische stofgehalten alsmede het organische stofgehalte in het gehele profiel, helling, fysiografie, microtopografie, hoeveelheid en aard van de bedekking, intensiteit en duurzaamheid van de regen, kwaliteit van het water en het luchtgehalte in de grond.

Bij zijn onderzoek vond Estribi dat de dichtheid 14.3% toenam door de vegetatieverandering van bos naar gras en weer 7.8% afnam na 7 jaar herstel (charral). Het bos infiltreerde 75.4% meer dan het grasland en 57.4% meer dan het charral, terwijl het charral weer 42.1% meer infiltreerde dan het grasland (bos, grasland en charral hadden een infiltratie van respectievelijk 138, 34 en 59 cm per 120 min). De infiltratie werd trouwens gemeten met de dubbele ringmethode. Het organische stofgehalte was onder gras 30.5% minder dan onder bos; in het charral nam het organisch stofgehalte met 36.6% toe ten opzichte van het grasland.

Estribi mat ook een oppervlakkige afstroming van 1.41% (6068 l/ha) onder gras, 0.68% (2944 l/ha) onder charral en 0.62% (2654 l/ha) onder bos.

Araya Rojas (1980) deed onderzoek naar de invloed van de mier Atta spp. op de bodemvorming. De mier Atta spp. komt over het hele Amerikaanse continent voor. Een nest kan zich uitstrekken over ca 200 m² en een diepte van 5-6 m bereiken. Het aantal nesten van deze mieren per oppervlakte-eenheid is groter dan dat van andere beesten zoals termieten. In Costa Rica zijn de belangrijkste mieren A. cephalotes (vooral actief in het bos) en A. sexdens (voornamelijk in het grasland). A. cephalotes is beter

bekend onder de naam bladsnijdermieren. De invloed van de mieren op de bodem heeft vooral betrekking op de structuur; de vorming van een losse, zwakke, migajosa (crumb) structuur.

Array Rojas schat dat door de activiteit van mieren ongeveer 1.2 ton ondergrond per hectare per jaar naar het oppervlak wordt getransporteerd. In een mierenhoop is 85% B-horizon materiaal aangetroffen. De dichtheid kan door de activiteit dalen van 1.5 naar 0.8 gr/cm³.

Rueger (1964) deed onderzoek naar de verbetering van gecompacteerd gronden in vruchtboomgaarden in Duitsland. Hij vergeleek de aanbreng van tuf, stro, katoenafval en houtspanen op verschillende percelen en vond dat dit geen bescherming bood tegen compactie. Er was eerder sprake van nadelige gevolgen door de hoge vochtigheid onder de beschermlaag. 10 cm Diep ingewerkt piepschuim bood ook geen bescherming.

Voorts onderzocht Rueger het effect van grondbewerking. 40-45cm Diepwoelen leverde een zeer geringe verbetering op, en dat op korte termijn. In een nat jaar was de porienvolumewinst nog slechts 1-4% na drie maanden. In een droog jaar vond hij na tien maanden nog een porienvolumewinst. Na 6 maanden was er geen structuurverbetering meer merkbaar.

Rueger ziet vooral heil in het stukvriezen van de grond.

Dekker et al. (1981) zetten de problemen die zich voordoen bij diverse methoden voor de meting van de verzadigde waterdoorlatendheid, $K(\text{verz})$, op een rijtje:

- "kleine ringmonsters geven slechte resultaten, omdat zij niet representatief zijn voor gronden met relatief grote struktuurelementen. Daarvoor zijn grote monsters nodig."

- "de volumefractie van watergeleidende macroporen in kleigronden is klein, terwijl kleine veranderingen in de poriengrootte een belangrijk effect hebben op de $K(\text{verz})$."

Het drukken van infiltrometers of cilinders in vochtige of natte kleigronden kan derhalve een duidelijk effect hebben op de gemeten $K(\text{verz})$."

-"verschillende methoden geven waarden voor $K(\text{verz})$ die het resultaat zijn van een ongedefinieerd mengsel van horizontale en verticale stromingspatronen. Dit is onbevredigend als de richting van de stroming moet worden gekarakteriseerd."

Hierbij komt nog dat de dubbele ringmethode voornamelijk geschikt is voor lichte gronden waarbij het buitenste watergordijn een eendimensionale stroming moet bewerkstelligen (Bouma, pers.med.). In zware en ondiepe gronden werkt de dubbele ringmethode zeer onbevredigend (Konijn, pers.med.).

Uit een proefopstelling bleek dat de korstmethode ook uiterst geschikt is voor profielen met een hoge stenigheid. De ringinfiltrometer wordt dan slechts heel weinig over de kolom geschoven. De uitstekende stenen worden door het cement omgeven. Bovendien is de evaporatie verwaarloosbaar bij de korstmethode door het deksel, wat onder tropische omstandigheden grote waterverliezen tijdens de meting kan tegengaan.

3. METHODEN EN MATERIALEN

3.1 Verkenning en selectie

Voor de selectie van de plots is in eerste instantie gebruik gemaakt van een recente 1:50.000 bodemkaart van de Neguev. Er werden twee verschillende bodemtypen onderzocht.

Bij elk bodemtype werden twee locaties gezocht die alleen op vegetatie verschilden. Een locatie met grasland en een met natuurlijk bos (oerwoud). Een combinatie bodemtype-vegetatie werd een plot genoemd. In tabel 1 staat een overzicht van de onderzochte plotten met hun naam.

Tabel 1. Overzicht van de onderzochte plotten met hun naam.

	Vegetatie: bos grasland	

Bodemtype:		
Suelo Silencio	EG1	EG2
Suelo Milano	EG3	EG4

Er werd naar gestreefd binnen een bodemtype twee locaties te zoeken waarbij omgeving en ligging (zoals fysiografie, helling) niet verschilden.

Per plot werd een kuil gegraven en het bodemprofiel beschreven volgens de FAO richtlijnen voor profielbeschrijvingen (FAO, 1977). Er werd nadrukkelijk gelet op de structuur en de beworteling. De kleur is niet met de originele Munsell kleuren beschreven, maar met een Japanse copie hiervan (Standard soil color chart).

3.2 Veldwerk: de korstmethode

In het veld werden doorlatendheden van de bodem in situ gemeten bij verschillende vochtgehaltes. Dit werd gedaan met de korstmethode (crust-test) zoals beschreven in Bouma (1977).

Een cilindervormige, ongestoorde bodemkolom werd geïsoleerd door de omringende grond weg te graven. De hoogte en diameter van de kolom was ruim 30cm.

De bovenkant van de kolom werd "schoongemaakt" van vegetatie en los strooisel en geprepareerd, om een ongestoord infiltratieoppervlak te krijgen.

Daarna werd er een ringinfiltrometer (diameter = 30cm) overheen geplaatst en zachtjes gelijkmatig naar beneden gedrukt, zo, dat hij uiteindelijk horizontaal ligt.

Nu werd er een mantel van cement om de hele kolom aangebracht om te voorkomen dat er water zijdelings kan uittreden. Het infiltrerende water kan nu alleen naar beneden stromen (eendimensionale stroming). Voorts biedt de cementmantel stevigheid aan de kolom. Het cement werd goed aangedrukt om goed contact te krijgen tussen bodem en cement. Op deze manier is het onmogelijk dat er water langs de zijanten wegstroomt, zonder door de grond te percoleren (zogenaamde kortsluiting). De mengverhouding cement/zand was 1.

Vervolgens werd er een nummer (1 t/m 6) in de cementmantel gekrast en een gaatje vlak onder de ringinfiltrometer gemaakt, voor de tensiometer.

De volgende handeling was het aanbrengen van de korst bovenop de grondkolom. Een bal van specie werd vanuit het midden uitgesmeerd over het hele oppervlak. Vooral de rand werd goed aangedrukt, om kortsluiting van de korst te vermijden. De korst was overal ongeveer even dik. De korst werd nog wat bevochtigd

en afgedekt om verdamping tegen te gaan. De korst hardde in ca 1 dag uit.

De volgende dag werden de tensiometers geijkt en geïnstalleerd. Drie tensiometers per paal met meetlat en kwikreservoir. Met een zelfgemaakte guts werden gaten in de grondkolom gemaakt waar de tensiometers ingestoken werden, onder een kleine hoek, waardoor de eventueel aanwezige lucht altijd naar de dop (het hoogste punt) zou gaan. De tensiometers werden tenslotte vastgemetseld in de opening om de mantel weer geheel waterdicht te maken.

Het deksel werd erop geschroefd en de mariotburet aangesloten. Door de dop van de mariotburet zit een slangetje waarvan het onderste uiteinde net iets boven de hoogte van de korst zit. Hierdoor is de druk boven de korst slechts enkele cm's hoog. Beneden de korst heerst een negatieve drukhoogte als gevolg van de weerstand van de korst.

Het systeem werd met water uit de rivier gevuld en luchtvrij gemaakt. Tijdens de instelling van het evenwicht werden de tensiometers doorgespoeld om alle lucht te verwijderen. Als de infiltratie en de drukhoogte daarbij konstant waren, was er evenwicht en werden de resultaten genoteerd op zelfontworpen standaardformulieren (zie bijlage 1).

Na een meting werd de korst verwijderd en een nieuwe korst aangebracht; een korst met een hogere doorlatendheid. Deze volgorde spaart tijd, daar een natter vochtfront een eerder, droger vochtfront sneller voorbijstreeft en dan maar weinig meer daardoor binvloed wordt, terwijl een relatieve natte grond eerst moet uitdrogen alvorens een droger front gemeten kan worden.

Bouma (pers. med.) waarschuwt voor infiltraties lager dan 1cm/dg. Fouten door externe factoren zoals temperatuurschommelingen worden anders door de duur van de

evenwichtsinstelling en de meting belangrijk.

In totaal is er per kolom aan drie korsten van verschillende cement/zand standaardverhoudingen (dus verschillende porositeit) gemeten, te weten $1/3$, $1/5$ en $1/8$. Uiteindelijk is zonder korst de K(verz) gemeten.

Er is geprobeerd per kolom 4 punten van de doorlatendheidskarakteristiek te bepalen, die zover mogelijk uit elkaar liggen. Dat betekende dat soms van de standaardmengverhoudingen afgeweken werd, als dit na de eerste metingen nodig bleek.

Dit kon gericht gebeuren omdat een aantal standaardisaties was doorgevoerd. Een vast volume b.v. van 0.7 dm^3 voor de korst, wat overeenkwam met een korstdikte van circa 1 cm . Voorts werd zand gedroogd (zon) en gezeefd om een zo constant mogelijke textuur te krijgen. Dit zijn echter slechts praktische details, die het mogelijk maakten efficiënt te werken en b.v. metingen van een kolom die dicht bij elkaar liggen, te vermijden.

Er werd gemeten op twee dieptes; in de bovengrond, $0 - 30 \text{ cm-mv.}$, en in de ondergrond, $30 - 60 \text{ cm-mv.}$

Per diepte werden zes kolommen doorgemeten. Er waren echter slechts twee ringinfiltrometers aanwezig. Er zijn toen vier ringinfiltrometers zelf bijgemaakt, om het onderzoek binnen de gestelde termijn af te ronden. Op deze wijze kon aan zes kolommen dagelijks een meting verricht worden. Er waren slechts twee deksels aanwezig, maar die konden van de ene ring op de andere verplaatst worden.

Om enige routine in de handelingen te krijgen werd eerst een week geoefend. Dit bleek hard nodig. Zo konden verbeteringen op alle metingen toegepast worden.

Bij het graven werd de hulp van een arbeider ingehuurd.

De afgelezen kwikhoogtes werden gerelateerd aan de ijking en

vervolgens omgerekend naar drukhoogte volgens

$$h = \{h(\text{Hg}) - h_0(\text{Hg})\} * 12.5 * 0.1 \quad (1)$$

met h = drukhoogte, in cm

$h(\text{Hg})$ = kwikhoogte, in mm

$h_0(\text{Hg})$ = kwikhoogte bij ijking, in mm

12.5 = coefficient voor dichtheid van kwik bij 25 C

0.1 = coefficient voor omrekening van mm naar cm.

Vervolgens werd m.b.v. de vochtkarakteristiek de waarde van h getransformeerd naar een waarde voor θ . De doorlatendheid werd berekend volgens

$$K = \frac{Q * (60 * 24)}{\pi r^2} \quad (2)$$

met K = doorlatendheid, in cm/dg

Q = uitstroomdebiet buret, in ml/min

πr^2 = oppervlakte ringinfiltrometer, in cm^2

$60 * 24$ = coefficient voor omrekening
van min naar dg.

Materiaal:

- 6 ringinfiltrometers (diameter = 30cm)
- 2 deksels met pakking voor ringinfiltrometers
- 12 zelfgemaakte klemmen om deksels op niet originele ringinfiltrometers te bevestigen
- cement en zand
- schop, dolk, machette en guts
- centimeter en waterpas
- troffel en plamuurmes
- mariofburet met slangen
- 6 tensiometers met slangen
- 2 palen met elk een meetlat en een kwikreservoir.

3.3 Laboratorium- en kantoorwerk

3.3.1 Analyses aan de gestoorde monsters

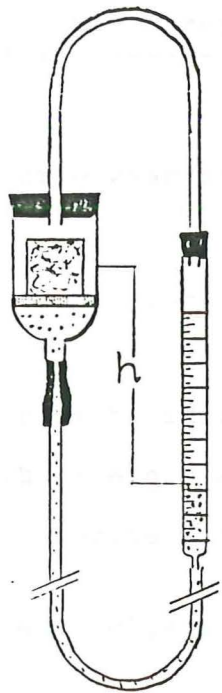
In het bodemkundig laboratorium van het ministerie van landbouw en veeteelt (MAG) in San Jose, Costa Rica, zijn fysische en chemische analyses aan de ongestoorde monsters verricht.

3.3.2 Bepaling van de vochtkarakteristiek

In Costa Rica zijn tussen het veldwerk door thuis metingen gedaan aan 300cc ringmonsters voor de bepaling van het natte gedeelte van de vochtkarakteristiek.

De metingen zijn verricht met een opstelling van vier filtertrechters met 100cc buretten, bevestigd aan een zelfgemaakt frame van rietstengels (zie foto hieronder). De schematische opstelling is gegeven

in figuur 2.



Figuur 2. Schematische opstelling van de h-theta meting m.b.v. een filtertrechter (uit: Bouma, 1977).

Deze methode heeft als voordeel boven de methode met de zandbak dat het kontakt onverstoord blijft tijdens de hele meting.

De ringmonsters werden geleidelijk van onderaf verzadigd in een tot twee dagen. Door de buret omlaag te brengen werd een onderdruk gecreeerd. Het ringmonster werd vanuit het water op de poreuze plaat gebracht. Als het nivo in de buret konstant bleef werd een hogere onderdruk gecreeerd. Er werd gemeten met 35, 75 en 125cm onderdruk.

Een blanco proef wees uit dat de opstelling zelf geen water verloor. Het bleek echter dat het monster wel water verloor tijdens de meting door verdamping, wat voor een deel werd ondervangen door de filtertrechter af te dekken. Dankzij veel waarnemingen was het echter mogelijk deze verliezen per meting terug te rekenen. Uitgegaan is van $\theta(\text{verz})$, die werd uitgerekend volgens

$$\theta(\text{verz}) = \frac{M(\text{monster verz}) - M(\text{monster stoofdroog})}{300} \quad (3)$$

De volgende drie waarden van theta werden berekend volgens

$$\theta(n+1) = \theta(n) - \frac{B(b) - E(b) + V}{300} \quad (4)$$

met $B(b)$ = beginstand buret, in ml

$E(b)$ = eindstand buret, in ml

V = verlies tijdens de meting, in ml.

V werd berekend volgens

$$V = \frac{v}{t(v)} * t(*) \quad (5)$$

met v = waterverlies, in ml

$t(v)$ = tijd waarover v is gemeten

$t(*)$ = tijd van de gehele h -theta meting.

v Was te bepalen doordat na het bereiken van evenwicht de stand in de buret zakte als gevolg van verdamping van het monster. De coefficient $v/t(v)$ was redelijk konstant per onderdruk. Bij de gemeten onderdrukken was deze respectievelijk ca 0.1, 0.07 en 0.04 ml/h.

Doordat het nivo in de buret tijdens de meting veranderde is de evenwichtsonderdruk bepaald volgens

$$h = h(0) - 3.5 + \{B(b) + E(b)\} * 0.53 \quad (6)$$

met h = evenwichtsonderdruk, in cm

$h(0)$ = ingestelde onderdruk in het begin, in cm

0.53 = maat voor de lengte-volume verhouding van de buret, in cm/ml

3.5 = afstand van de poreuze plaat tot het midden van het ringmonster.

Zo werden via $pF = \log(-h)$ vier punten van de vocht karakteristiek bepaalt.

De metingen zijn in duplo gedaan. Een monster van de bovengrond van Eg1 is tijdens transport verloren gegaan.

Na de metingen werden de monsters wederom verzadigd, gewogen en in een stoof gedroogd; de monsters van EG1 en EG2 ca 30 uur bij 105°C, de monsters van EG3 en EG4 22uur bij 70°C en daarna nog eens 31 uur bij 105°C. Na afkoeling in de exicator zijn de monster weer gewogen.

Materiaal:

- acht 300cc ringen
- vier filtertrechters
- vier 100ml buretten
- plastic slangen
- frame met vier centimeters
- horloge
- weegschaal
- exicator
- droogstoof.

3.3.3 Verwerking gegevens veldwerk en statistische analyse

In Wageningen zijn de gegevens van de korstmethode op de computer verwerkt met het programma "symphony". Hiermee zijn de punten van de $\log(K)$ -theta relatie geplot.

Uitspraken over de significantie van verschillen van $K(\text{verz})$ en $\theta(\text{verz})$ tussen de vegetatietypen zijn gebaseerd op F-toetsen.

4. RESULTATEN

4.1 Klimaat

Op de ecologische kaart bevindt het gebied zich in het zeer vochtige tropisch regenbos.

De gemiddelde jaarlijkse neerslag is 3950 mm, de gemiddelde jaarlijkse temperatuur bedraagt 24.5 C. De gegevens zijn van het weerstation van Guacimo.

4.2 Bodems

De classificatie van de bodems volgens Soil Taxonomy (1973) is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2. Classificatie van de bodems volgens Soil Taxonomy (1973).

Plot	Bodem
EG1	Humoxic Tropohumult
EG2	Humoxic Tropohumult
EG3	Humoxic Tropohumult Oxic Humitropept
EG4	Oxic Humitropept

Profielbeschrijvingen van de bodems zijn te vinden in bijlage 2.

Suelo (=bodem) Silencio is een zeer diepe, goed gedraineerde, homogene zware klei bodem, vermoedelijk gevormd in een relatief zeer oude lahar (Wielemaker, pers.med.). De structuur is zwak, migajosa (=crumb) en tot diep in het profiel is de porositeit hoog. Textuuranalyse wijst op een argillic horizon. De beworteling neemt sterk af met de diepte tot ca 1 meter. De grondwaterstand is zeer diep.

De fysiografie van het landschap waarin zich deze relatief zure bodem bevindt is doorgaans hilly. In het bos stromen in de dalen beekjes; in het grasland zijn deze dalen door de hoge lichtintensiteit dichtgegroeid met moerasvegetatie.

De uniformiteit binnen de bodemeenheid Silencio was zeer goed. Het bos- en grasland lagen slechts 150 m uit elkaar. De chemische en fysische analyses bevestigen dit. Ook de fysiografie was hetzelfde.

Suelo Milano is een matig diepe, goed gedraineerde, homogene kleiige bodem, vermoedelijk gevormd in een relatief jonge lahar (Wielemaker pers.med.). De structuur is zwak, migajosa en de porositeit is hoog door het hele profiel. De beworteling neemt sterk af met de diepte. De grond heeft met de diepte een toenemende tixotropiteit, die vooral in de tuf, die binnen 120 cm wordt aangetroffen, zeer hoog is. De grondwaterstand is diep.

De fysiografie van het landschap waarin zich deze bodem bevindt varieert van flat tot undulating.

De uniformiteit binnen deze bodemeenheid was minder goed. Doordat dit een van de rijkere gronden van het gebied was met goede landbouwkundige mogelijkheden, waren nagenoeg alle bossen op deze bodem reeds gekapt. Het bos- en graslandplot lagen ca twee kilometer uit elkaar. Bij het bosplot is relatief veel tuf aangetroffen vooral in de ondergrond.

De bodems bij EG2 en EG4 vertoonden pseudogleyvlekken in de bovengrond door stagnerend water.

Bij EG2 zijn in de ondergrond duidelijk twee verschillende structuren aangetroffen. Een hoofdstructuur angular blocky, moderate, met daartussen geïsoleerde brokken met de oorspronkelijke migajosa structuur, zwak, wat ongeveer 30% van het volume innam.

4.3 Landgebruik, vegetatie en historie

De vegetatie bij EG1 was natuurlijk bos, oerwoud. Vermoedelijk zijn in de laatste decennia de dikke waardevolle bomen eruit gehaald want die ontbraken. De aanwezigheid echter van enkele natuurlijke palmitas (een palm, waarvan het merg een uiterst geliefde consumptie is) duidt erop, dat dit bos zeer weinig tot niet door de mens wordt beïnvloed.

Bij EG2 is het bos rond 1984 gekapt en gras ingezaaid en sindsdien in gebruik voor vee. De ontbossing geschiedde zonder inzet van zware machines; alleen met de motorzaag.

Het bos dat bij EG3 stond, was 3 weken voor de aanvang van de metingen door een boer gekapt. De bomen waren alleen omgezaagd en lagen nog op de grond. Daar de boer dit echter alleen heeft gedaan, slechts met behulp van een motorzaag, is van een verstoring van de bovengrond geen sprake.

EG4 heeft een langere geschiedenis. De ontbossing heeft hier al zeker 30 jaar geleden plaatsgehad. Na de ontbossing was er eerst ca 15 jaar een bananenplantage waarna het land met gras werd ingezaaid en sindsdien met vee bezet is.

4.4 De vochtkarakteristiek

De dichtheden met porienvolumen en de vochtkarakteristieken zijn respectievelijk gegeven in bijlage 3 en 4.

De duplometingen verschillen zeer weinig.

Suelo Silencio: de θ_{verz} , een benadering van het porienvolume, in boven- en ondergrond is onder gras niet significant lager dan onder bos (ANOVA-tabel in bijlage 6).

De verlopen van de vochtkarakteristieken van de bovengronden wijzen op een verschil in poriengrootteverdeling tussen de twee vegetatieplotten. Onder bos een constante helling van de curve

wat een continue leegloop van het porienstelsel betekent bij toenemende druk. Dit betekent een hoge variabiliteit in poriengrootte. Onder grasland is die heterogeniteit minder; een meerderheid van kleine porien.

De vochtkarakteristieken van de ondergronden zijn nagenoeg gelijk.

Suelo Milano: de $\theta(\text{verz})$ van de bovengrond is onder gras iets hoger dan onder bos. Het verschil is bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 0.1 significant, bij 0.05 verwaarloosbaar. De ondergrond vertoont in porienvolume geen significant verschil (ANOVA-tabellen in bijlage 6).

Het kleine verschil tussen de vochtkarakteristieken van de bovengronden berust vooral op een verschil in $\theta(\text{verz})$. Het verloop van de curves van de ondergronden zijn redelijk gelijk. Vanaf $pF=1.6$ houdt de bodem onder gras iets meer water vast, terwijl de bodem onder bos verder leegstroomt. Het verschil is echter ook hier niet van grote betekenis.

4.5 De doorlatendheden

De $\log(K)$ - θ relaties zijn grafisch weergegeven in bijlage 5.

Suelo Silencio: Bij de bovengrond valt duidelijk op dat de $K(\text{verz})$ onder bos zoveel hoger is dan onder gras; een factor 22. Dit volgt de trend die bij de vochtkarakteristieken ook al was aangeduid, namelijk de afwezigheid van macroporien in het grasland. De vegetatie beïnvloedt niet het verloop van de curve. Opvallend is dat de drukhoogte bij $K(\text{verz})$ lager is dan die bij de $\theta(\text{verz})$. $K(\text{verz})$ heeft in dit geval niet bij $\theta(\text{verz})$ plaats, maar bij een lager vochtgehalte. Dit verschijnsel duidt op discontinue porien. Porien die bij de bepaling van $\theta(\text{verz})$ met de ringmonsters wel gemeten worden maar geen water over de

gehele 30cm transporteren. De ondergrond volgt de trend van de bovengrond, zij het in mindere mate. De $K(\text{verz})$ in de ondergrond is driemaal zo groot onder bos in vergelijking met gras.

Suelo Milano: de $K(\text{verz})$ is niet significant groter onder bos dan onder gras. Het verschil tussen de curves van de bovengronden is zeer klein. In de ondergrond is de $K(\text{verz})$ onder gras zelfs groter dan onder bos. Dit komt door de grote hoeveelheden tuf onder in het bosprofiel. De verlopen van de curves in de ondergronden zijn echter wel duidelijk verschillend. Wederom door de grote hoeveelheden tuf zullen makroporen (wormgangen) gering zijn en daardoor neemt de doorlatendheid niet zo sterk toe met het vochtgehalte als onder grasland.

Algemeen valt op, dat in alle gevallen de curve van de doorlatendheid van het grasland rechts van de curve van het bos ligt. Dat betekent, dat bij een bepaalde doorlatendheid, die te relateren is aan een regenintensiteit, de bodem onder grasland steeds natter is dan onder bos. Gegevens over de regenintensiteit waren jammergenoeg niet beschikbaar.

Eratum, p.24, regel 29-31: Het verschijnsel is te verklaren met bypass flow; de stroming van vrij water door macroporen waardoor de bodem matrix onverzadigd blijft.

5. FOUTENBRONNEN EN PROBLEMEN

Grootste foutenbron bij de korstmethode was vermoedelijk de drukhoogtemeting. Grote tensiometers die zeer gemakkelijk afbraken en versmering aan het kontaktoppervlak veroorzaakten bij het installeren. Versmering gebeurde natuurlijk ook al door de guts.

Een bijkomend probleem was dat uiterst nieuwsgierig vee zeer gemakkelijk schade kon aanbrengen zoals het doorbijten van slangenmateriaal en het vertrappen van de meetpalen. Een afrastering van touw hielp weinig.

Voorts waren er overijverige mieren die gevangen in de kolom de vrijheid opzochten en een gaatje door de korst maakten. Ook kwamen soms jonge sprieten door de dorst heen gegroeid. Deze gaatjes werden zorgvuldig met een teerpasta dichtgesmeerd.

Bouma (1977) suggereert dat het verwijderen van de korst een "vers" infiltratieoppervlak bewerkstelligt, wat vooral van belang is bij de meting van $K(\text{verz})$. De laatste korst is echter vaak zeer bros. Het verwijderen van deze korst leidt vaak tot versmering omdat de korst niet, zoals bij lagere zand/cement verhoudingen, als plakken eraf gehaald kan worden, maar eraf geschraapt moet worden. Het infiltratieoppervlak moet hierna dus wel weer secuur geprepareerd worden.

Bij de vocht karakteristiek bepaling is vermoedelijk de grootste fout veroorzaakt door de verdamping van het ringmonster. Afdekken en de verliezen terugrekenen herstellen deze fout behoorlijk. Beter zou echter zijn, toch met de correcte opstelling, volgens Bouma (1977), te meten.

6. CONCLUSIE

Uit dit onderzoek is gebleken, dat de korstmethode een goede, gemakkelijk toepasbare en goedkope manier is, de doorlatendheden van bodems te meten. Vooral in gevallen van een hoge stenigheid in het profiel biedt deze methode grote voordelen, zo bleek in een proefopstelling.

De compactie die kwalitatief voornamelijk aan de hand van pseudogleyvlekken in de bovengrond herkend was, wordt niet aangetoond met een verschil in porienvolume tussen bos en grasland.

In Suelo Silencio is de doorlatendheidskarakteristiek en met name de waarde van de verzadigde doorlatendheid een goede indicator voor compactie.

De fysische metingen in dit onderzoek hebben voor Suelo Milano geen duidelijke relatie met de ogenschijnlijke compactie gelegd, zoals die herkend werd bij de verkenning.

Suelo Milano heeft een iets hogere pH en bovendien veel lagere Al en H gehalten dan Suelo Silencio, wat een aantrekkelijker milieu biedt voor bodemfauna en is veel lichter van textuur.

Hierdoor en ook de occupatieperiode in ogenschouw nemende, is te concluderen dat Suelo Silencio veel gevoeliger is voor compactie dan Suelo Milano.

Eratum. Algemeen. Van compactie is eigenlijk geen sprake. Het porienvolume en de bulkdichtheid zijn onder bos en onder gras niet significant verschillend. Wel is er sprake van structuurdegradatie, met name puddling, waarbij de grond versmeerd en de continuïteit van de porien naar de diepte wordt verbroken. Dit is gebleken bij nader onderzoek aan slijpplaatjes ^{MET} Gerard Baltissen. Bodemfysica en micromorphologie zijn hier aanelkaar gekoppeld (publicatie voor hydrological processes).

LITERATUURLIJST

Aguero Chacon, Jose Maria y Alfredo Alvarado, 1983. Compactacion y compactabilidad de suelos agricolas y ganaderos de Guanacaste. Universidad de Costa Rica, San Jose.

Araya Rojas, Lisbeth Mayela, 1980. Influencia de la hormiga Atta spp. en la genesis de suelos en tres ecosistemas de Costa Rica. Universidad de Costa Rica, San Jose.

Baver, L.D., W.H. Gardner and W.R. Gardner, 1972. Soil Physics, 4th ed.. Wiley.

Bouma, J., 1977. Soil survey and the study of water in unsaturated soil. Soil survey papers, no 13. Netherlands Soil Survey Institute, Wageningen.

Dekker, L.W., J. Bouma and O.H. Boersma, 1981. De horizontale en verticale verzadigde doorlatendheid van zware kleilagen, gemeten met de kubusmethode. Cultuurtechnisch Tijdschrift, no 3.

Estribi Chavarria, Cecilio Antonio, 1984. Cambios edaficos e hidrologicos derivados de la conversion de un bosque a pasto y charral (pasto abandonado) en una zona montanosa humeda de Costa Rica. CATIE, Turrialba.

FAO, 1977. Guias para la descripcion de perfiles de suelos. Rome.

Koorevaar, P., G. Menelik and C. Dirksen, 1983. Elements of soil physics. Elsevier, Amsterdam.

Rueger, H., 1964. Versuche zur Verhinderung und Beseitigung von Bodenverdichtungen in Obstanlagen. Rheinisch Friedrich Wilhelm Universitaet, Bonn.

Seubert, Christopher Edward, 1977. Effects of land clearing methods on crop performance and changes in properties in an Ultisol of the Amazone Jungle of Peru. Tropical Agriculture 54 (4):307-330.

Soil Survey Staff, 1973. Soil Taxonomy. US department of agriculture, Washington.

BIJLAGE 1

CALICATA N°:

FECHA:

[illegible]

SAMENVATTING

Dit onderzoek heeft plaatsgehad in het voorjaar van 1987 in de Neguev, een gebied in de Atlantische Zone van Costa Rica.

Een in vele tropische gebieden voorkomend verschijnsel is compactie in de bodem, dat optreedt als gevolg van een vegetatieverandering: het bos wordt gekapt en het land in gebruik genomen.

Doel van dit onderzoek is om deze compactie te karakteriseren aan de hand van bodemfysische eigenschappen. Om te kijken tot welke diepte deze compactie zijn invloed heeft is gemeten op twee diepten, de bovengrond (0-30cm-mv.) en de ondergrond (30-60cm-mv.).

Onderzocht werden twee bodemtypen, een Tropohumult en een Tropept, met twee vegetatietypen: bos als ongestoord uitgangspunt en grasland als de gecompacteerd variant.

Van elk plot werden doorlatendheidskarakteristieken, met behulp van de korstmethode, vochtkarakteristieken, met behulp van een filtertrechteropstelling en porienvolume, als $\theta(\text{verz})$ bepaald, voor boven- en ondergrond.

Het bleek dat de Tropohumult zeer gevoelig was voor compactie en dit kon duidelijk met de doorlatendheidskarakteristiek, met name de $\theta(\text{verz})$, aangeduid worden.

Bij de Tropept waren de gemeten bodemfysische eigenschappen niet wezenlijk verschillend tussen bos en grasland.

Het porienvolume nam bij geen van beide bodems af als gevolg van de vegetatieverandering.

DANKWOORD

Ik wilde graag mijn oprechte dank zeggen aan Prof.Dr.Ir. J. Bouma, hoogleraar bodeminventarisatie en landevaluatie en Ir. N. Konijn, wetenschappelijk medewerker landevaluatie, voor hun waardevolle hulp en advies bij het onderzoek, en het Programa Zona Atlantica (CATIE/MAG/UAW) voor het beschikbaar stellen van materialen en transport.

BIJLAGE 2

Perfil: EG1
 Suelo: Silencio
 Clasificación según USDA: Humoxic Tropohumult
 Clima; precipitación promedio anual: 3950 mm
 temperatura promedio anual: 24.5 C
 Ubicación: parcelo 76 del Neguev, 8a al este del camino,
 Guacimo, provincia Limón; (5)86.4 E, (2)44.0 N;
 24 m.s.n.m.
 Fecha: 24-04-1987
 Material parental: material volcánico del volcán
 Turrialba
 Unidad geomorfológica: corriente de lodo
 Forma del terreno circundante: colinado
 Vegetación: árboles (50%), arbustos (25%) y
 suelo raso (25%)
 Uso de la tierra: ninguno, bosque natural
 Fauna del suelo: hormigas, comejenes y lombrices
 Pendiente donde el perfil está situado: 20%
 Posición en la pendiente: la parte alta
 Longitud de la pendiente: 100m
 Clase de drenaje: 4.

DESCRIPCION DEL PERFIL

- Ah 0-9: pardo rojizo oscuro (5YR 3/4) en húmedo;
 arcilloso; estructura granular, fina,
 fuerte; adherente, plástico y muy friable
 en húmedo; frecuentes poros muy finos;
 abundantes raíces muy finas, frecuentes
 finas y pocas medianas; no tixitropico;
 límite neto, plano.
- Bh 9-30: pardo rojizo (5YR 4/4) en húmedo;
 arcilloso; estructura migajosa, muy fina,
 moderada; adherente, plástico y muy
 friable en húmedo; muchos poros muy finos,
 frecuentes finos; comunes raíces muy finas,
 pocas medianas; no tixitropico; límite
 gradual plano.
- Bw 30-150: rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo;
 arcilloso; estructura migajosa, muy fina,
 débil; adherente, plástico y muy friable
 en húmedo; muchos poros muy finos,
 frecuentes finos; comunes raíces muy finas,
 pocas medianas y desde 1m solo pocas raíces
 muy finas; no tixitropico.

EG1
 DIEPTE
 IN CM

0 - 9 9 - 30 30 - 150

Textuur; % zand: 36 2 4
 % leem: 22 28 24
 % klei: 42 70 72

% organisch materiaal: 9.19 2.31 0.78

CEC in meq/100gr: 21.73 14.84 14.84

Uitwisselbare kationen

in meq/100gr; Ca: 0.88 0.44 0.38
 Mg: 1.00 0.54 0.61
 K: 0.32 0.19 0.13
 Na: 0.03 0.02 0.06

pH(H₂O): 4.8 5.2 5.6
 pH(1N KCL): 4.0 4.2 4.2
 pH(NaF): 8.30 9.10 9.27

Totale gehalten

in meq/100al grond; Al: 2.90 6.40 2.00
 Ca: 2.0 1.5 1.5
 Mg: 1.5 1.0 1.0
 K: 0.37 0.27 0.24
 in gr/al grond; P: 13 10 7
 Zn: 19.2 6.0 18.6
 Mn: 27 16 12
 Cu: 13 12 12
 Fe: 200 150 38

Totaal Al+H

in meq/100gr grond: 6.7 6.9 5.4

VERVOLG BIJLAGE 2

Perfil: EG2

Suelo: Silencio

Clasificación según USDA: Humoxic Tropohumult

Clima; precipitación promedio anual: 3950 mm

temperatura promedio anual: 24.5 C

Ubicación: parcelo 74 del Neguev 15m al este del camino, Guacimo, provincia Limón; (5)87.2 E, (2)45.2 N; 24 m.s.n.m.

Fecha: 24-04-1987

Material parental: material volcánico del volcán Turrialba

Unidad geomorfológica: corriente de lodo

Forma del terreno circundante: colinado

Vegetación: pasto (80%), hierbas (18%) y árboles (2%)

Uso de la tierra: pasto para ganado

Fauna del suelo: hormigas, lombrices, conejones y tatusas

Pendiente donde el perfil está situado: 20%

Posición en la pendiente: la parte alta

Longitud de la pendiente: 100m

Clase de drenaje: 4.

EG2

DIEPTE

IN CM

0 - 10 10 - 34 34 - 150

Textuur; % zand: 14 4 6
% leem: 28 24 22
% klei: 58 72 72

% organisch materiaal: 8.82 2.68 1.15

CEC in meq/100gr: 19.61 14.84 12.72

Uitwisselbare kationen

in meq/100gr; Ca: 1.81 0.44 0.25
Mg: 1.33 0.36 0.30
K: 0.29 0.16 0.16
Na: 0.02 0.02 0.06

pH(H₂O): 5.2 5.2 5.2

pH(1N KCL): 4.1 4.2 4.2

pH(NaF): 8.64 9.02 9.31

DESCRIPCION DEL PERFIL

Agh 0-10: pardo rojizo (5YR 4/4) en húmedo con frecuentes manchas gris y pardo, pequeñas, definidas, brusco; arcilloso; estructura en bloques angulares, muy fina, fuerte; adherente, plástico y friable en húmedo; frecuentes poros muy finos; comunes raíces muy finas; no tixotrópico; límite brusco, plano.

Bw1 10-34: rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo; arcilloso; estructura principal en bloques angulares, fina, moderada; adherente, plástico y muy friable en húmedo; muchos poros muy finos, frecuentes finos; comunes raíces muy finas; no tixotrópico; límite neto, ondulado.

Bw2 34-150: rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo; arcilloso; estructura principal en bloques angulares, mediana, moderada; adherente, plástico y muy friable en húmedo; muchos poros finos, pocos finos; pocas raíces muy finas; no tixotrópico.

Totale gehalten
in meq/100ml grond; Al: 2.40 2.68 6.30
Ca: 4.5 1.5 1.0
Mg: 3.5 1.0 0.9
K: 0.35 0.29 0.23
in gr/ml grond; P: 11 10 9
Zn: 7.6 3.4 2.2
Mn: 30 5 3
Cu: 11 10 10
Fe: 200 140 58

Totaal Al+H

in meq/100gr grond: 3.5 6.9 6.8

Entre la estructura principal existe otro tipo de estructura. Por como 30% del volumen se encuentra en pedazos una estructura migajosa, muy fina, débil.

VERVOLG BIJLAGE 2

Perfil: EG3

Suelo: Milano

Clasificación según USDA: ~~Humitropept~~ *Humitropept*

Clima; precipitación promedio anual: 3950 mm

temperatura promedio anual: 24.5 C

Ubicación: parcelo 238 del neguev, 200 m al norte del camino, al este del río Germania, Guacimo, provincia Limón; (5)86.2 E, (2)40.0N; 59 m.s.n.m.

Fecha: 25-04-1987

Material parental: material volcánico del volcán Turrialba

Unidad geomorfológica: corriente de lodo

Forma del terreno circundante: ondulado

Vegetación: pasto (30%), hierbas (30%), árboles (5%) y suelo raso (30%)

Uso de la tierra: ninguno

Fauna del suelo: hormigas, conejones y lombrices

Pendiente donde el perfil está situado: 8%

Posición en la pendiente: la parte alta

Longitud de la pendiente: 50 m

Clase de drenaje: 4.

DESCRIPCION DEL PERFIL

- Ah 0-4: pardo (7.5YR 4/3) en húmedo; franco arcilloso; estructura granular, fina, grano suelto; ligeramente adherente, ligeramente plástico y suelto en húmedo; no poros; muchas raíces muy finas, muchas finas y pocas medianas; ligeramente tixotrópico; límite brusco, plano.
- Bw1 4-30: pardo (7.5YR 4/3) en húmedo; franco arcilloso; estructura migajosa, muy fina, débil; ligeramente adherente, ligeramente plástico y friable en húmedo; muchos poros muy finos, pocos finos; pocas raíces muy finas, pocas finas; tixotrópico; límite neto, ondulado.
- Bw2 30-75: pardo (7.5YR 4/3) en húmedo; franco arcilloso; estructura migajosa, muy fina, débil; ligeramente adherente, ligeramente plástico y muy friable en húmedo; muchos poros muy finos, pocos finos, pocas raíces muy finas; muy tixotrópico; límite brusco, plano.
- C 75-77: pardo (7.5YR 4/3) en húmedo con frecuentes manchas de manganesa, negros, grandes, definidas, brusco; francoso; sin estructura, macizo poroso; no adherente, no plástico y muy firme en húmedo; muchos poros muy finos, pocos finos; no raíces; muy tixotrópico.

En los horizontes Bw1 y Bw2 se encuentran restos de material-C, tufo. Los restos parecen piedras, muy tixotrópicas.

EG3
DIEPTE
IN CM

0 - 4 4 - 30 30 - 75

Textuur; % zand: 18 28 28
% leem: 48 44 40
% klei: 34 28 32

% organisch materiaal: 8.82 3.06 1.53

CEC in meq/100gr: 17.49 11.66 8.48

Uitwisselbare kationen

in meq/100gr; Ca: 2.50 0.50 0.31
Mg: 2.00 0.48 0.35
K: 0.77 0.27 0.16
Na: 0.05 0.01 0.00

pH(H2O): 5.3 5.3 5.3
pH(1N KCL): 4.5 4.7 4.8
pH(NaF): 8.52 9.39 9.51

Totale gehalten

in meq/100ml grond; Al: 0.45 0.40 0.40
Ca: 3.5 1.5 1.5
Mg: 2.2 1.1 0.8
K: 0.66 0.29 0.24
in gr/ml grond; P: 10 7 11
Zn: 6.4 4.0 4.0
Mn: 106 60 23
Cu: 9 10 8
Fe: 130 72 60

Totaal Al+H

in meq/100gr grond: 0.6 0.5 0.3

VERVOLG BIJLAGE 2

Perfil: EG4
 Suelo: Milano
 Clasificación según USDA: Oxic Humitropept
 Clima; precipitación promedio anual: 3950 mm
 temperatura promedio anual: 24.5 C
 Ubicación: parcelo 238 del Neguev, 25m al nor-este de la frontera sur, Guacimo, provincia Limon; (5)89.0 E, (2)37.8 N; 44 m.s.n.m.
 Fecha: 25-04-1987
 Material parental: material volcanico del volcan Turrialba
 Unidad geomorfológica: corriente de lodo
 Forma del terreno circundante: poco ondulado
 Vegetación: pasto (70), hierbas (28%) y arboles (2%)
 Uso de la tierra: pasto para ganado
 Fauna del suelo: hormigas, comejenes y lombrices
 Pendiente donde el perfil esta situado: 0%
 Posición en la pendiente: la parte alta
 Longitud de la pendiente: 50m
 Clase de drenaje: 4.

DESCRIPCION DEL PERFIL

- Agh1 0-10: pardo grisaseo (7.5YR 4/2) en humedo con frecuentes manchas gris y pardo, pequenas, definidas, brusco; franco arcilloso; estructura en bloques angulares, muy fina, fuerte; ligeramente adherente, ligeramente plastico y friable en humedo; muchos poros muy finos; muchas raices muy finas; ligeramente tixotropico; limite brusco, plano.
- Agh2 10-30: pardo (7.5YR 4/3) en humedo con frecuentes manchas gris y pardo, pequenas, definidas, brusco; arcilloso; estructura en bloques angulares, muy fina, moderada; ligeramente adherente, ligeramente plastico y firme en humedo; frecuentes poros muy finos; comunes raices muy finas; tixotropico; limite neto, plano.
- Bw1 30-65: pardo (7.5YR 4/4) en humedo; franco arcilloso; estructura migajosa, muy fina, debil; ligeramente adherente, ligeramente plastico y muy friable en humedo; muchos poros muy finos, pocos finos; comunes raices muy finas; tixotropico; limite brusco, ondulado.
- Bw2 65-120: pardo (7.5YR 4/4) en humedo; franco arcilloso; estructura migajosa, muy fina, debil; ligeramente adherente, ligeramente plastico y muy friable en humedo; abundantes piedras, angulares, meteorizadas, frecuentes gravas, angulares, meteorizadas y pocas gravas, angulares, fuertemente meteorizadas; muchos poros muy finos; pocas raices muy finas; tixotropico.

EG4
 DIEPTE
 IN CM

0 - 10 10 - 30 30 - 65

Textuur; % zand: 24 26 30
 % leem: 40 32 32
 % klei: 36 42 38

% organisch materiaal: 10.35 5.74 2.31

CEC in meq/100gr: 21.73 16.96 13.25

Uitwisselbare kationen

in meq/100gr; Ca: 3.81 2.50 1.31
 Mg: 3.00 1.06 0.50
 K: 0.39 0.19 0.13
 Na: 0.08 0.08 0.03

pH(H₂O): 5.6 5.7 5.6

pH(1N KCL): 4.8 4.5 4.5

pH(NaF): 8.58 8.96 9.48

Totale gehalten

in meq/100ml grond; Al: 0.35 0.75 1.30
 Ca: 1.0 3.0 2.0
 Mg: 0.6 1.5 1.0
 K: 0.39 0.29 0.23
 in gr/ml grond; P: 12 11 11
 Zn: 6.0 3.2 3.2
 Mn: 121 94 30
 Cu: 15 17 11
 Fe: 130 110 80

Totaal Al+H

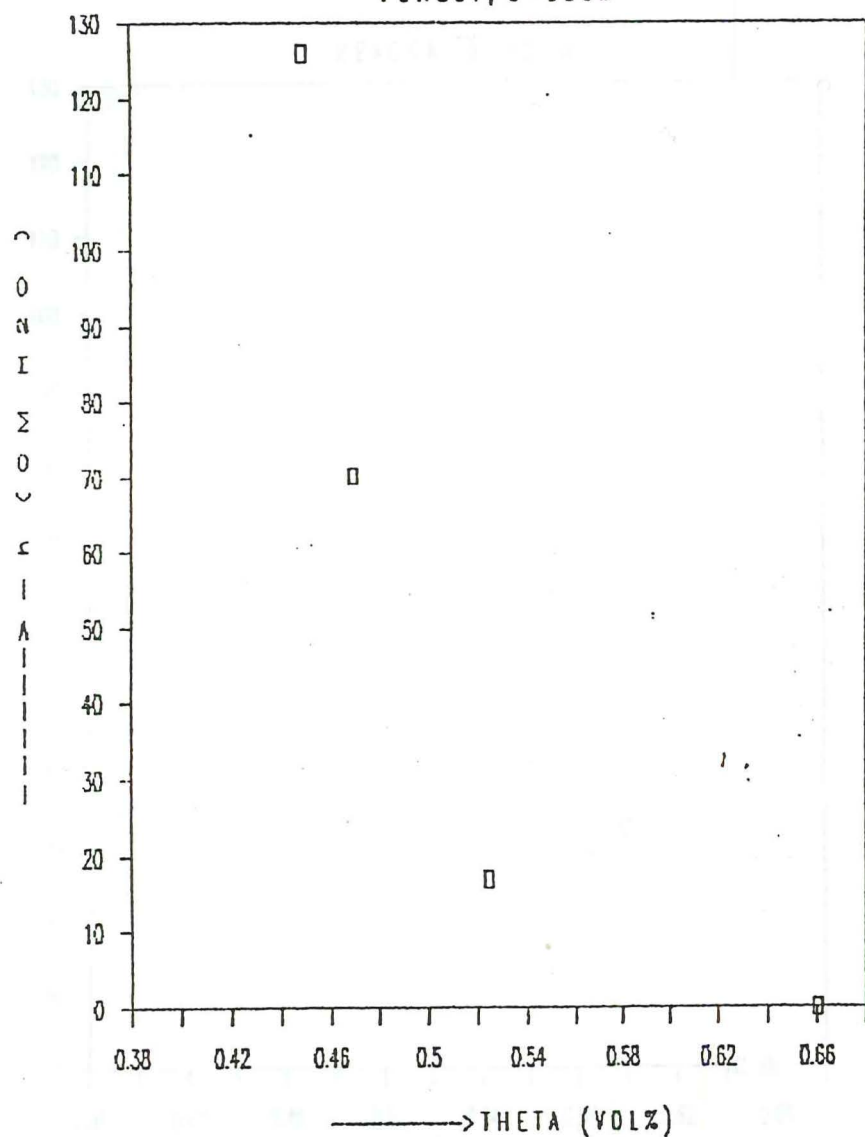
in meq/100gr grond: 0.4 0.7 1.5

BIJLAGE 3

Plot	Monsterdiepte in cm-mv.	(n) in gr/cc	(d) in gr/cc	Theta(verz)
EG1	2-9	-	-	-
	2-9	1305.5	646.0	0.660
	35-42	1464.8	855.0	0.610
	35-42	1420.7	810.9	0.610
EG2	2-9	1492.6	847.2	0.645
	2-9	1476.7	820.6	0.656
	35-42	1448.2	840.3	0.608
	35-42	1480.1	878.4	0.602
EG3	2-9	1567.9	963.5	0.604
	2-9	1612.3	1021.2	0.591
	30-37	1387.4	817.0	0.570
	30-37	1471.2	886.7	0.585
EG4	1-8	1456.5	834.5	0.622
	1-8	1490.2	865.0	0.625
	32-39	1527.3	930.8	0.597
	32-39	1468.3	872.2	0.596

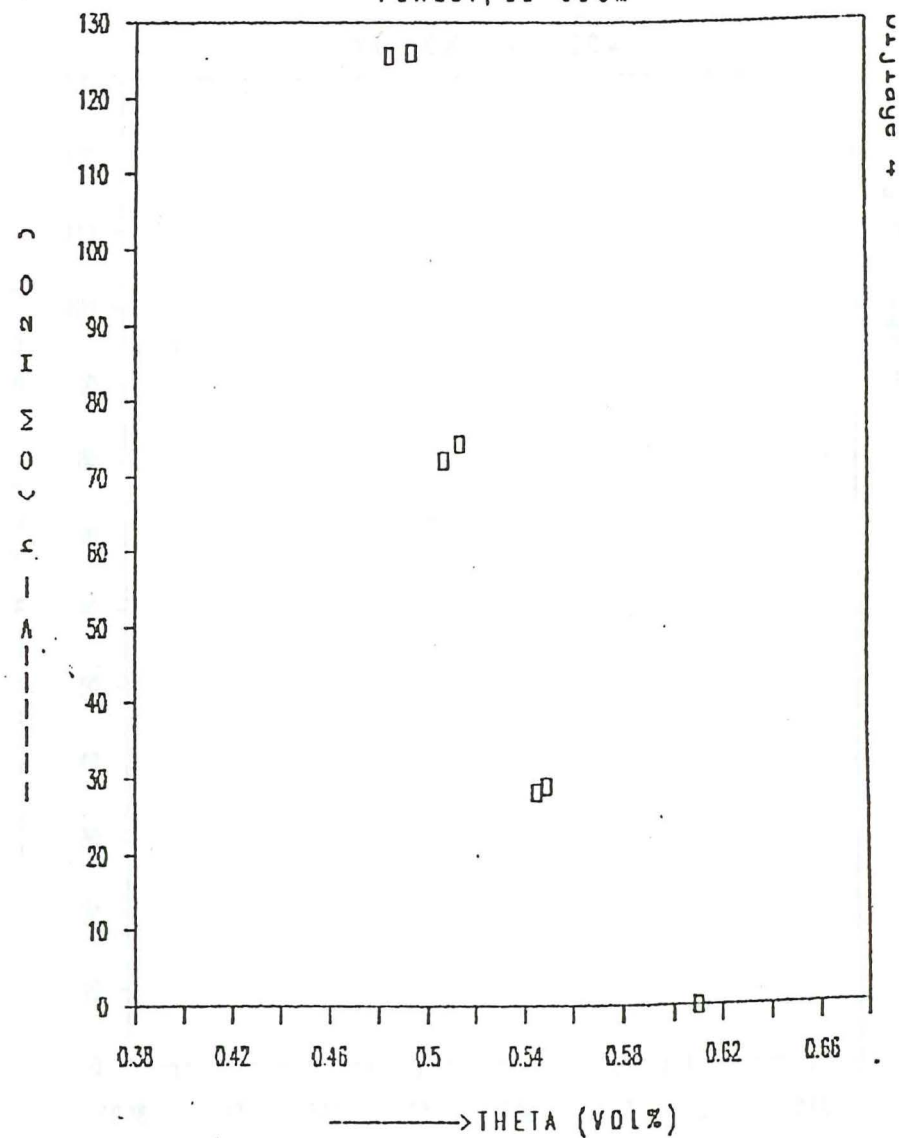
SILENCIO

FOREST, 0-30CM



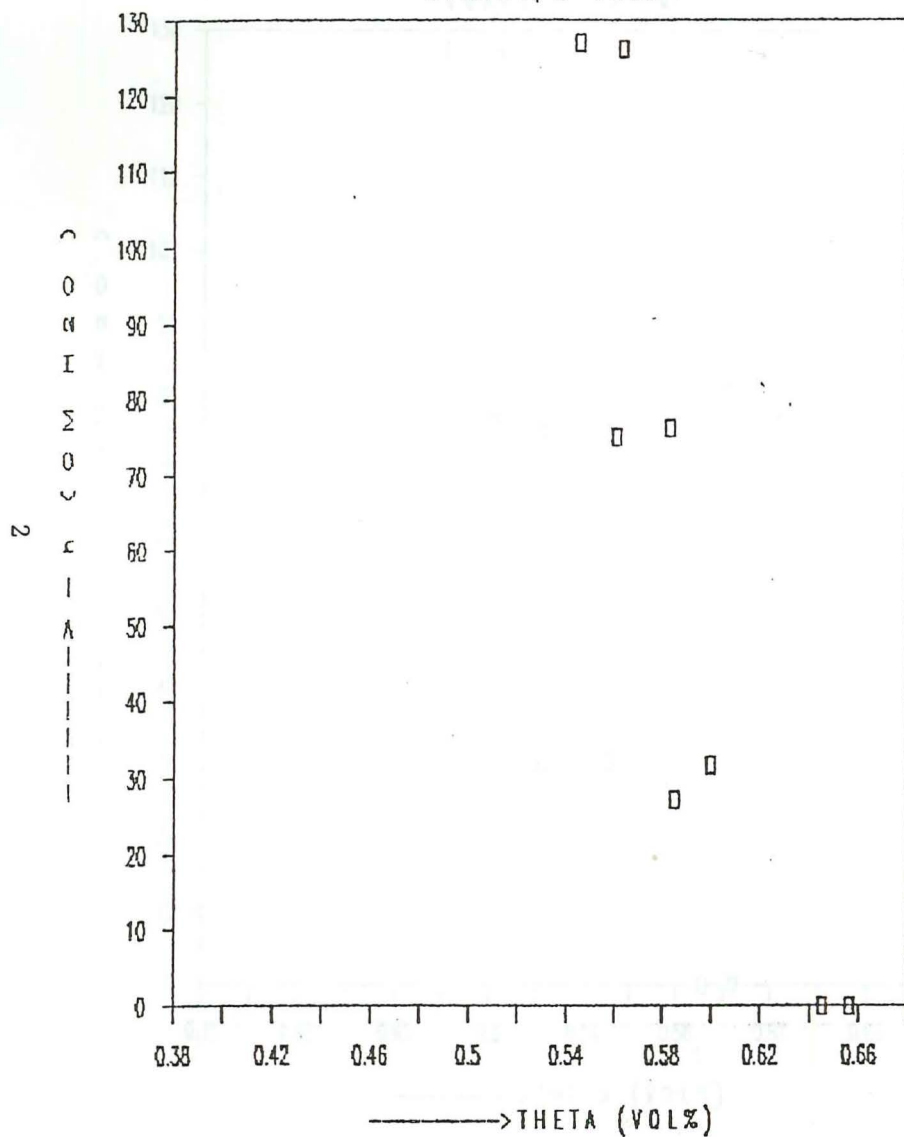
SILENCIO

FOREST, 30-60CM



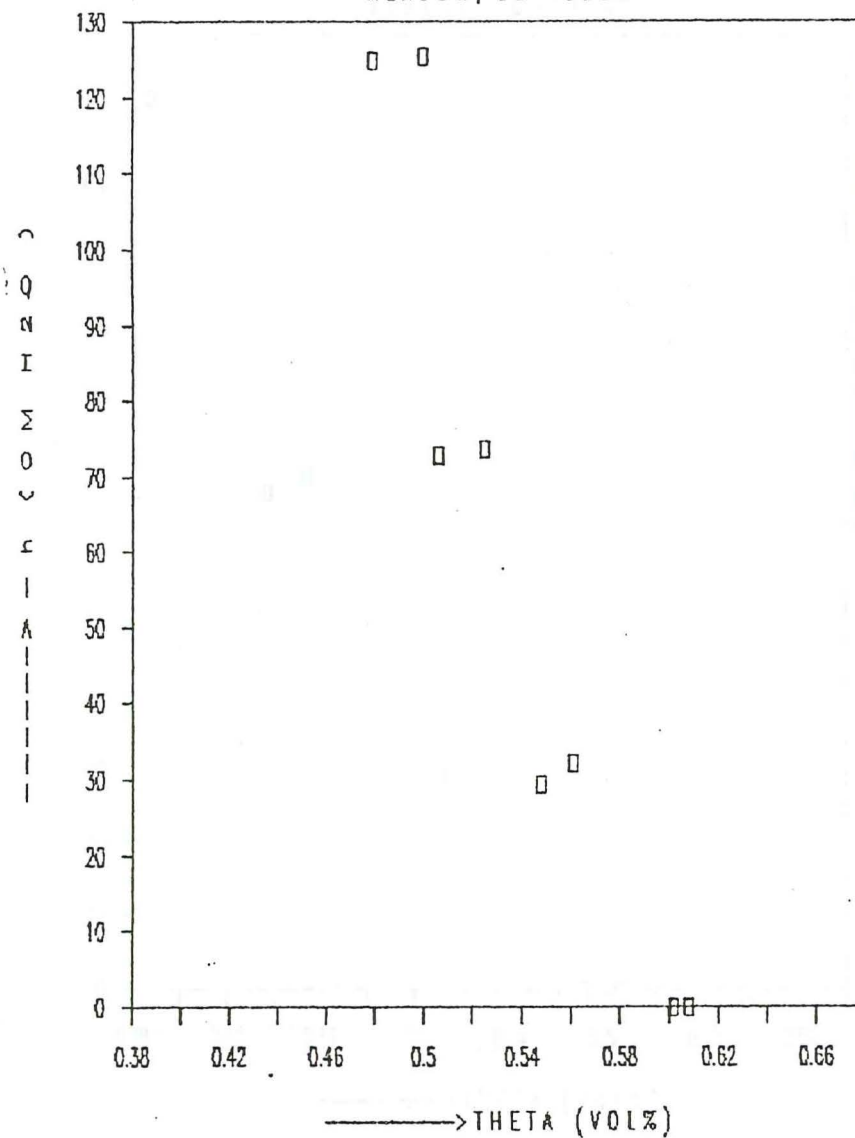
SILENCIO

MEADOW, 0-30CM



SILENCIO

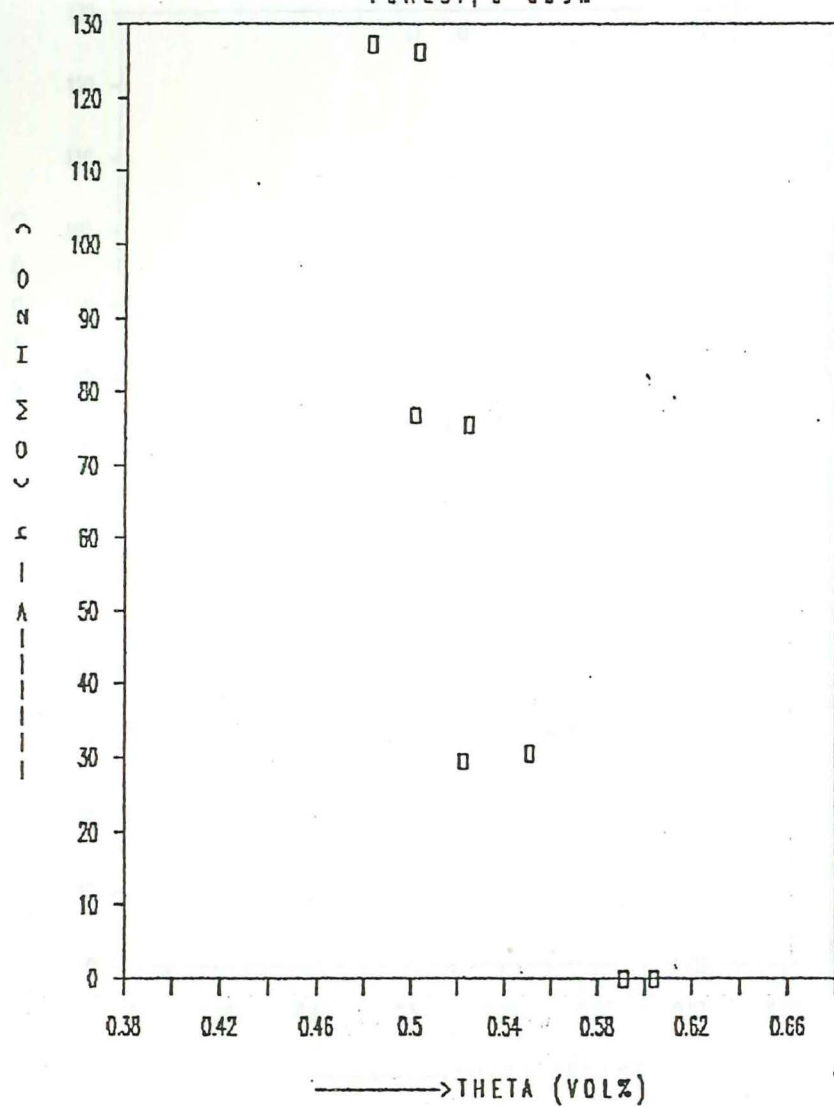
MEADOW, 30-60CM



vervolg blz 4

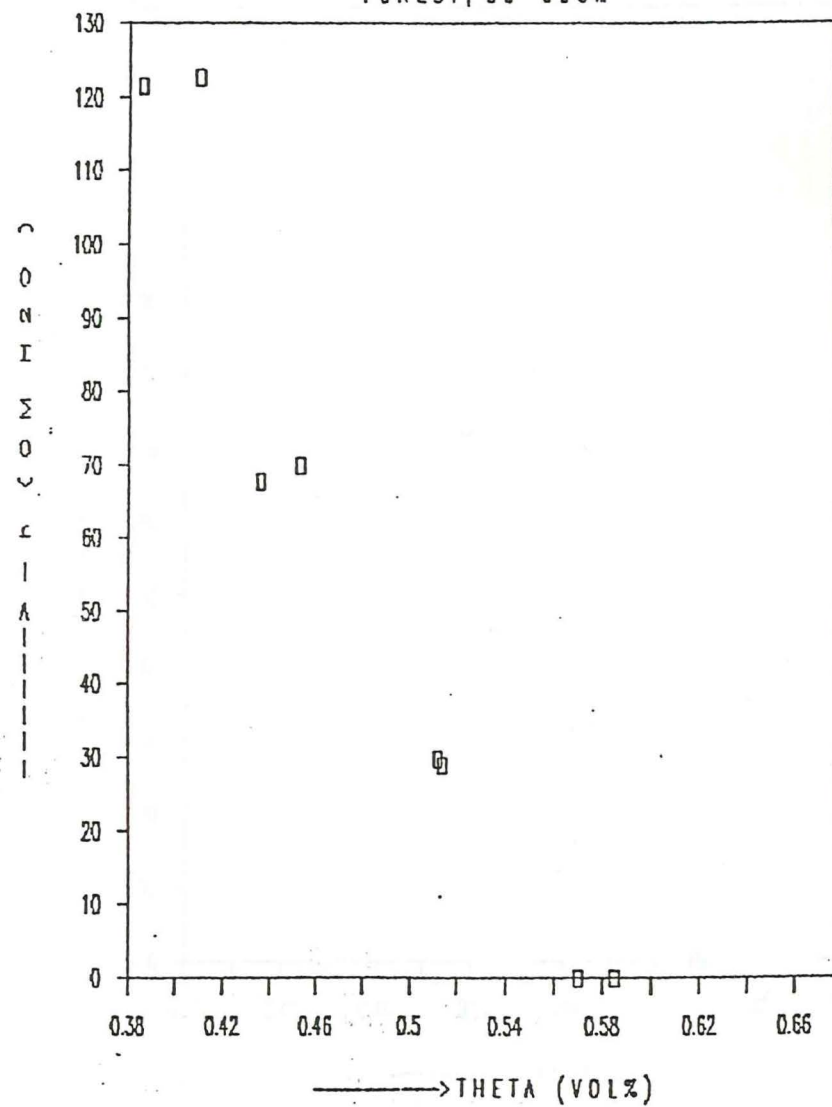
MILANO

FOREST, 0-30CM



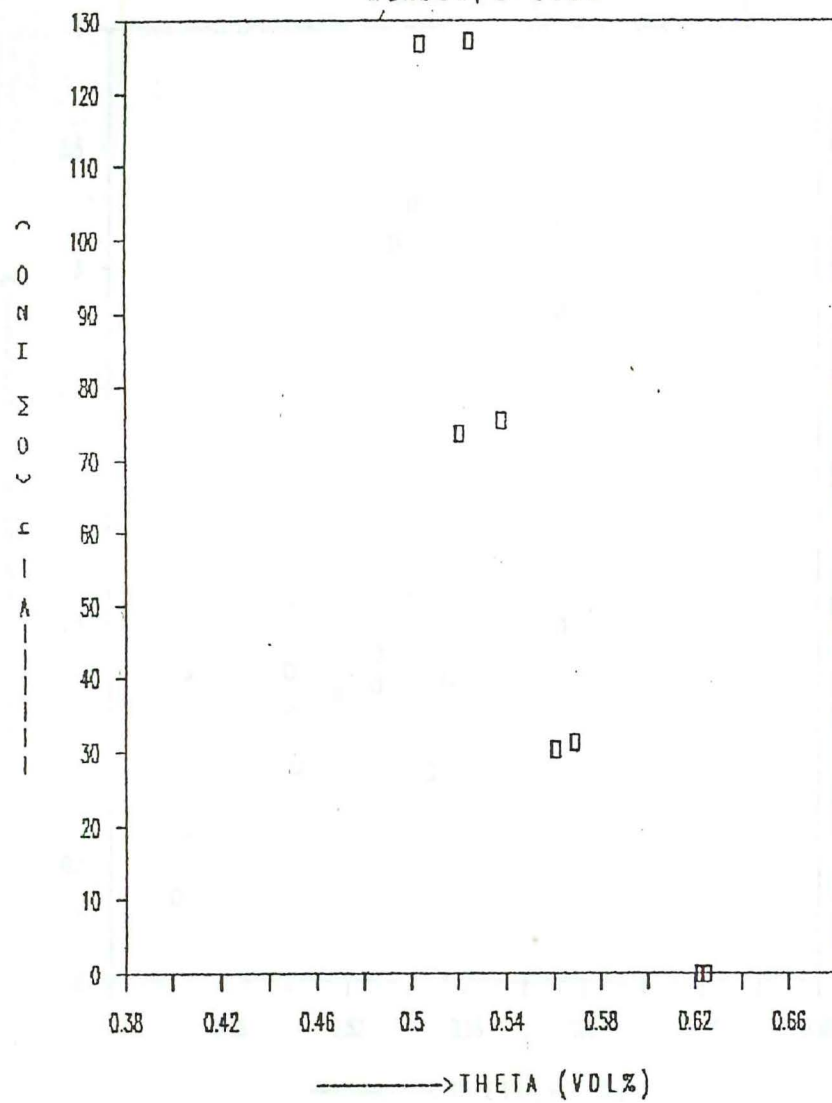
MILANO

FOREST, 30-60CM



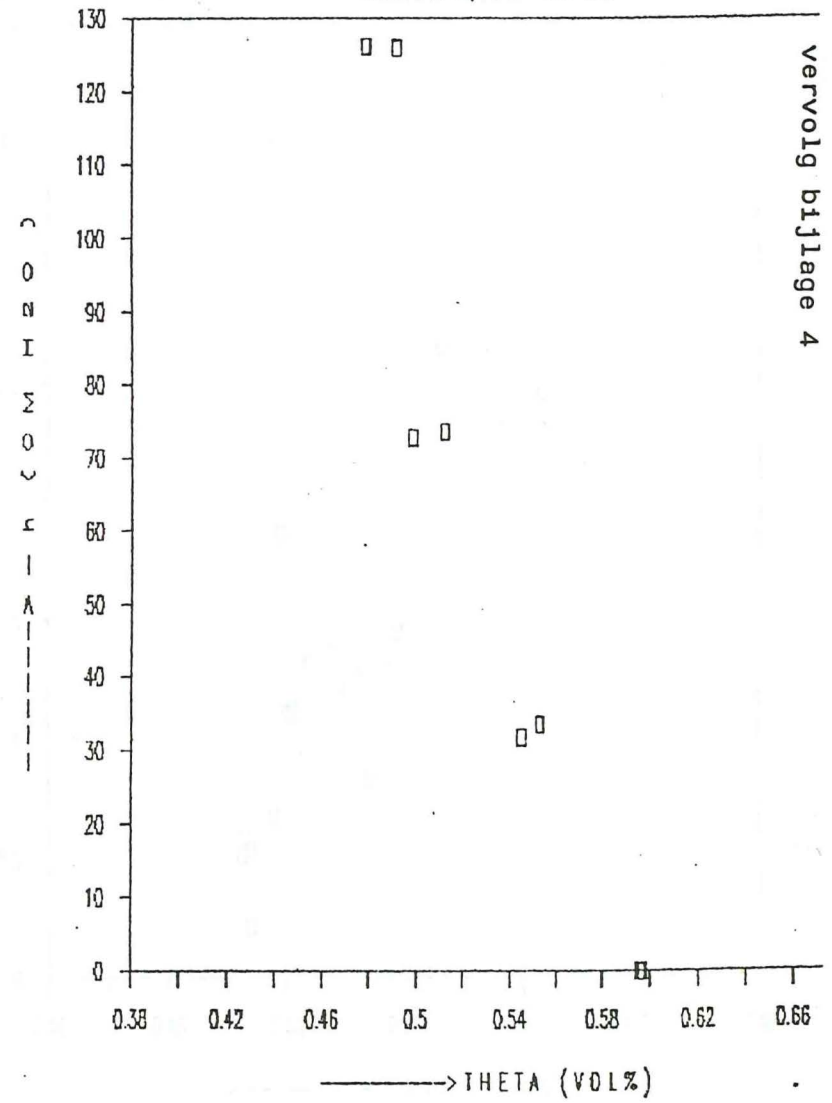
MILANO

MEADOW, 0-30CM



MILANO

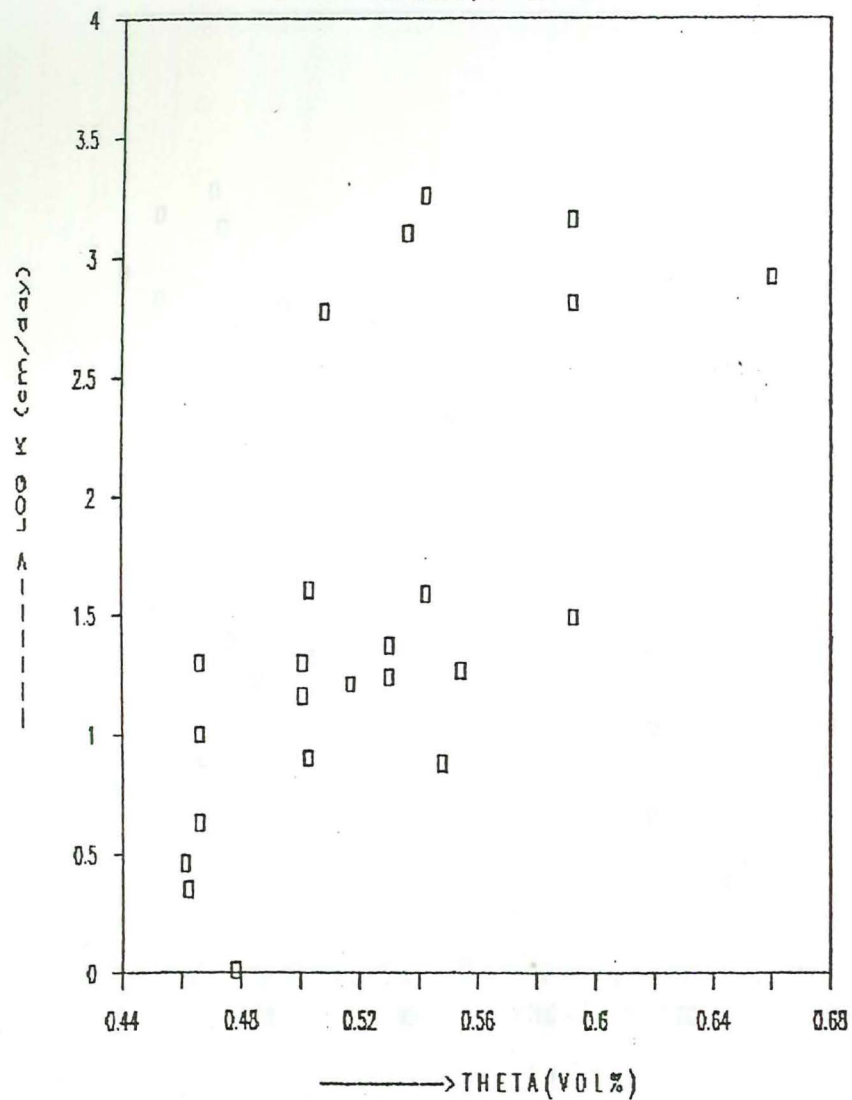
MEADOW, 30-60 CM



vervolg bijlage 4

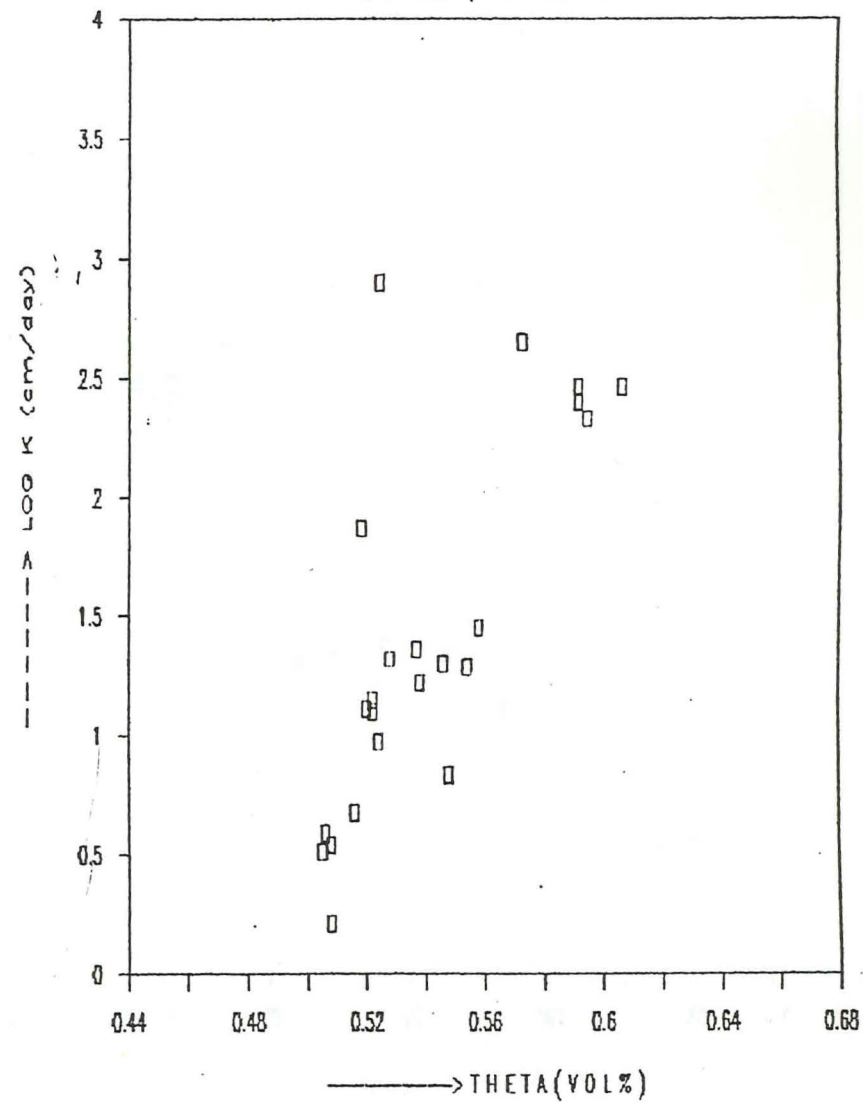
SILENCIO

FOREST, 0-30CM



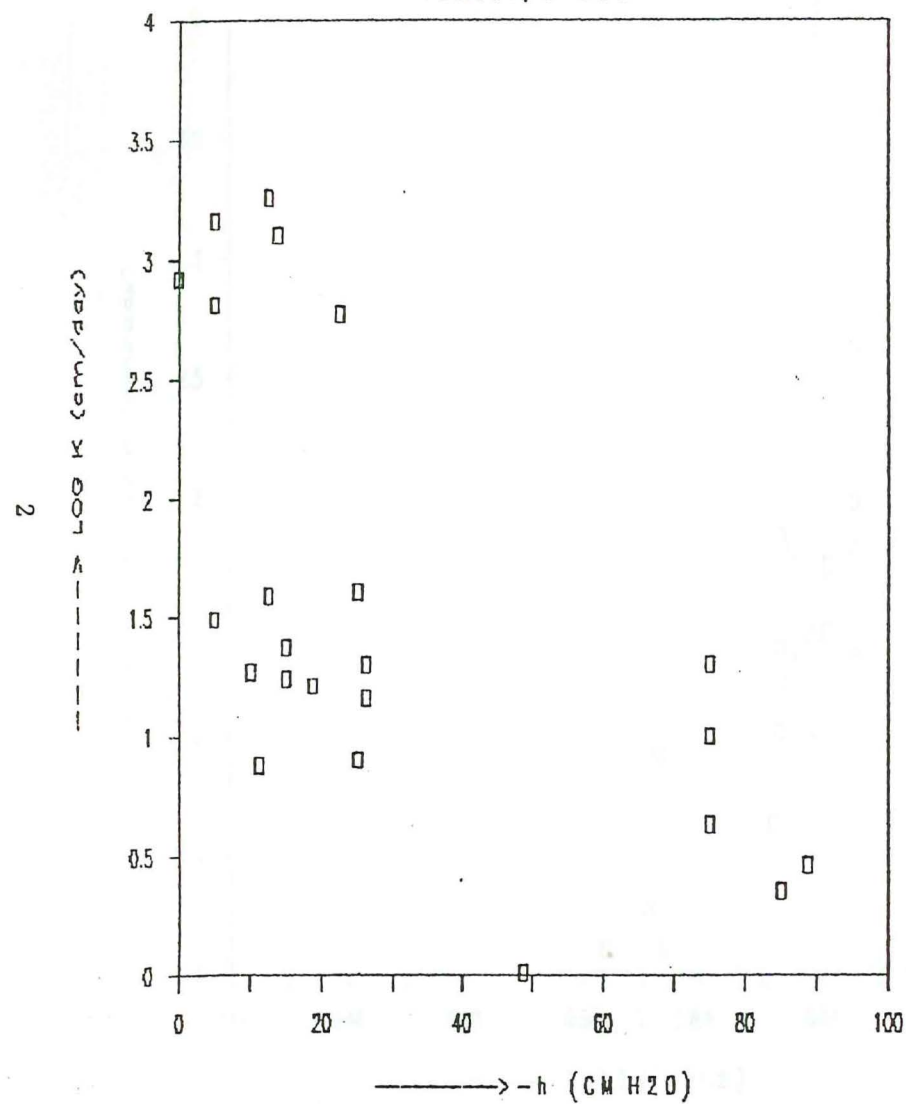
SILENCIO

FOREST, 30-60CM



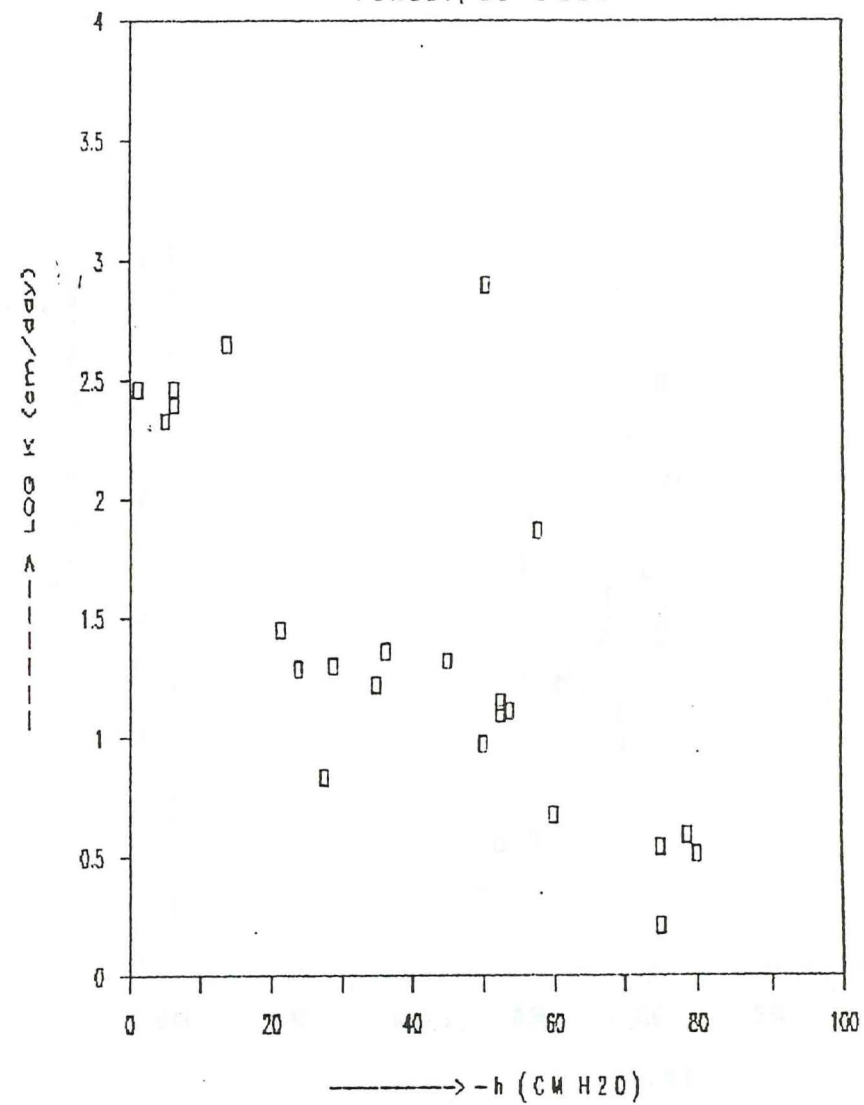
SILENCIO

FOREST, 0-30CM



SILENCIO

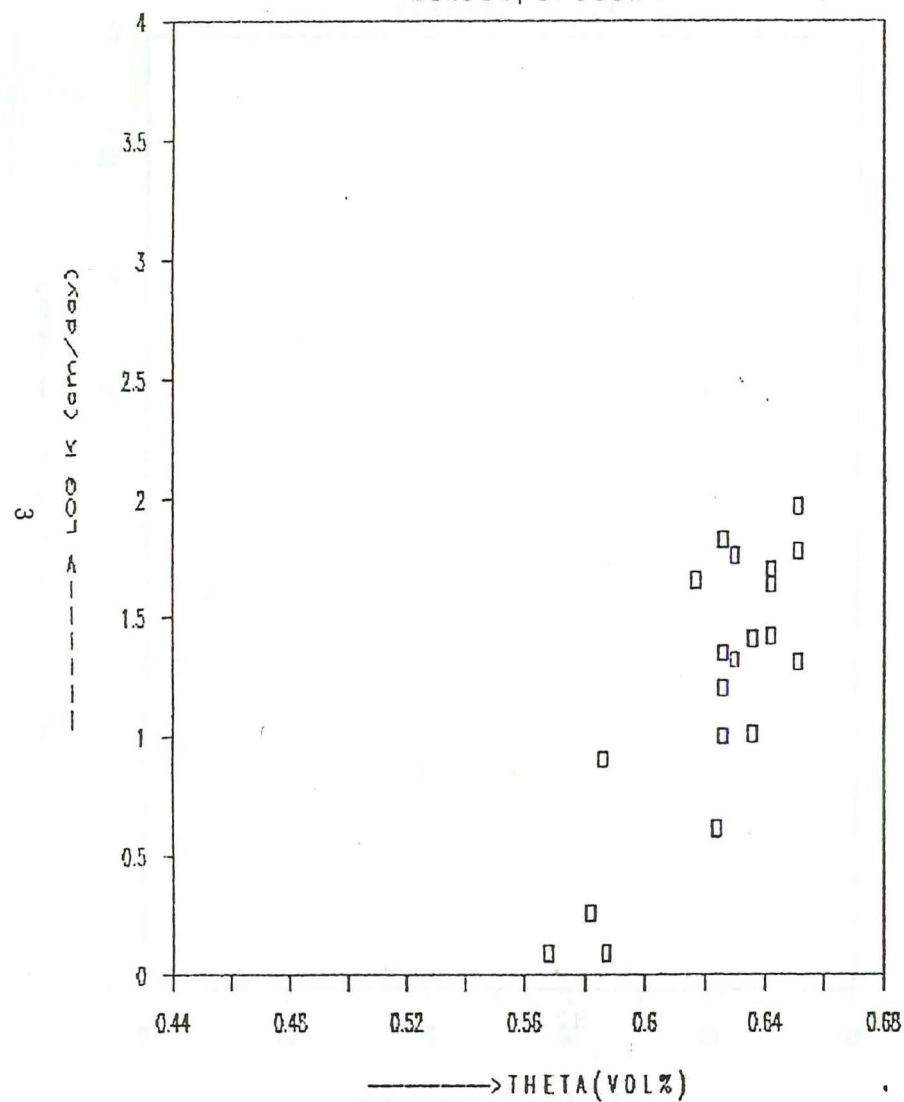
FOREST, 30-60CM



vervolg blz 5

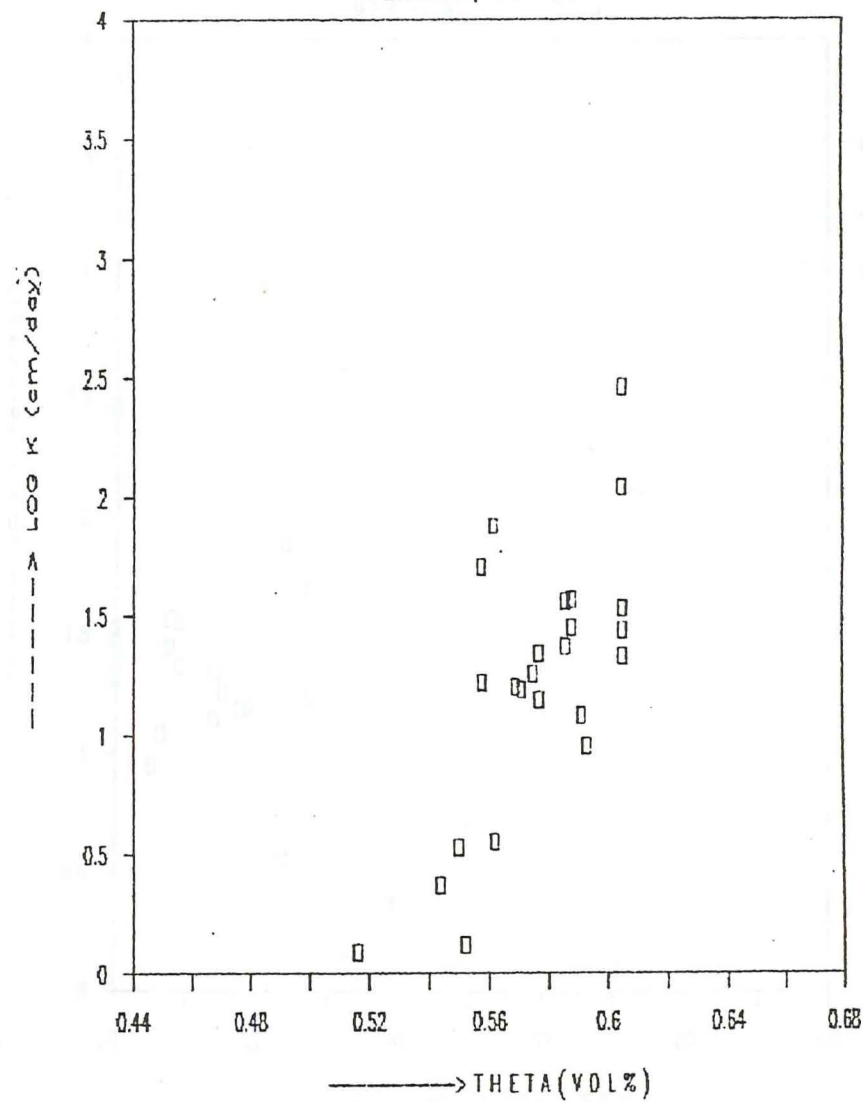
SILENCIO

MEADOW, 0-30 CM



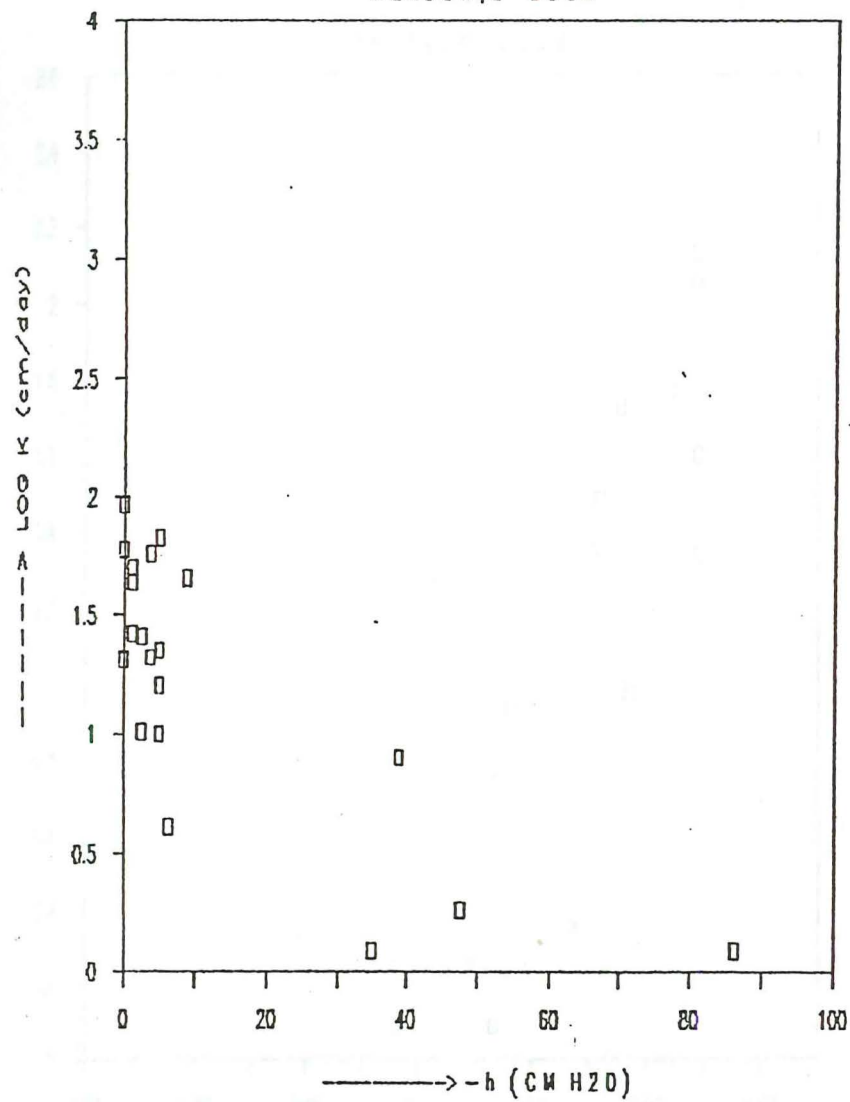
SILENCIO

MEADOW, 30-50 CM



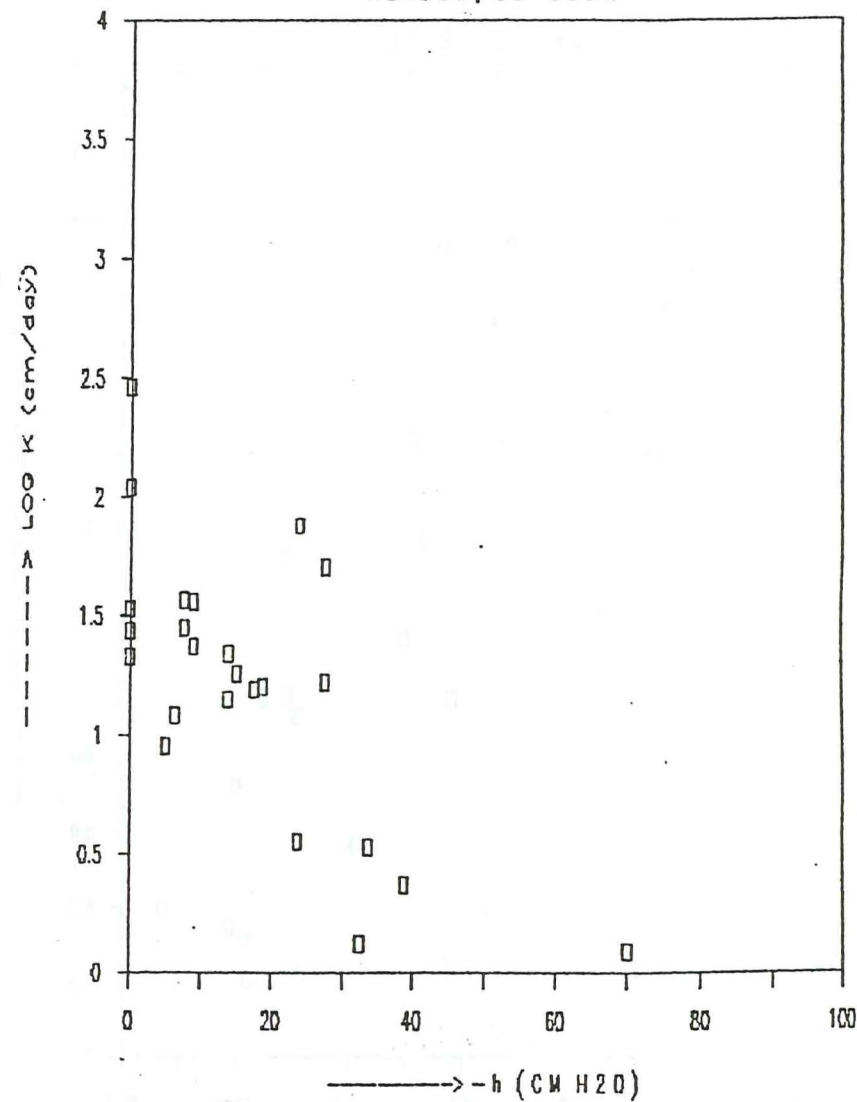
SILENCIO

MEADOW, 0-30CM



SILENCIO

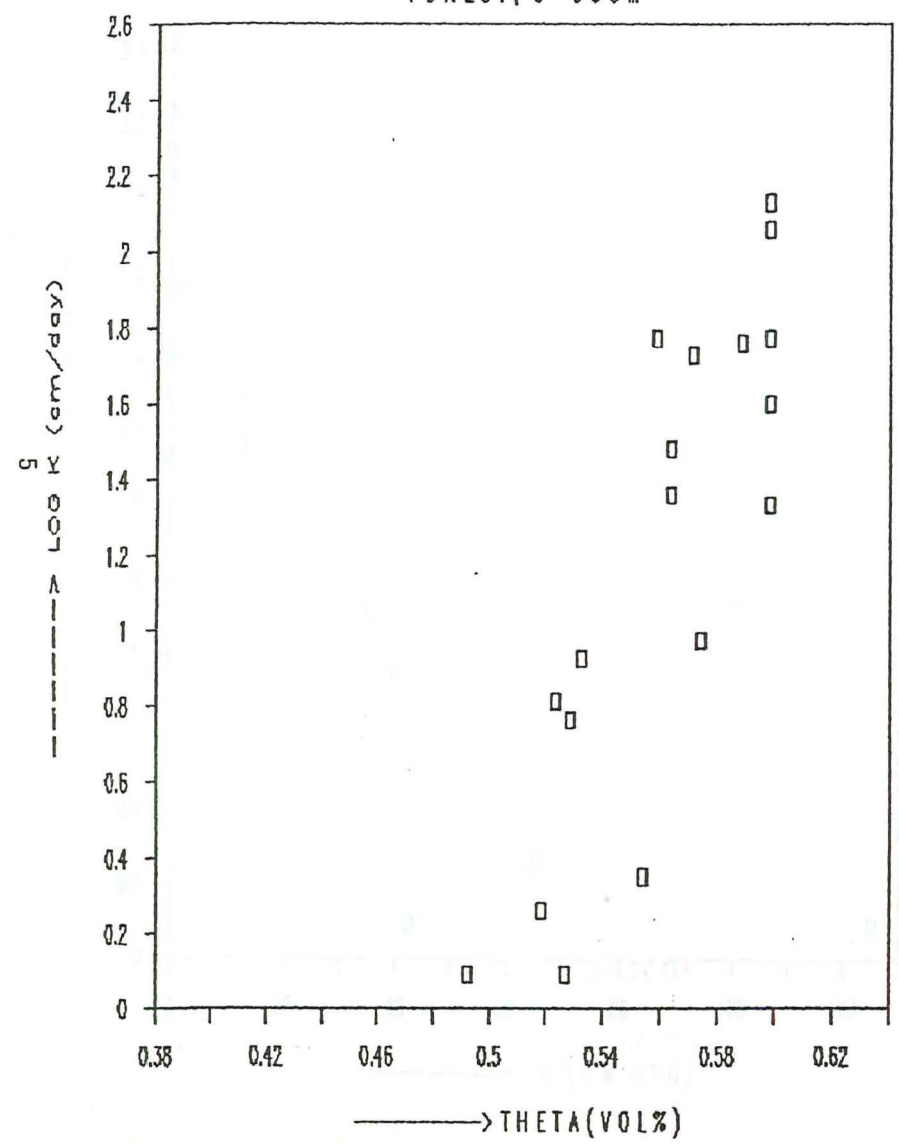
MEADOW, 30-60CM



vervolg bijlage 5

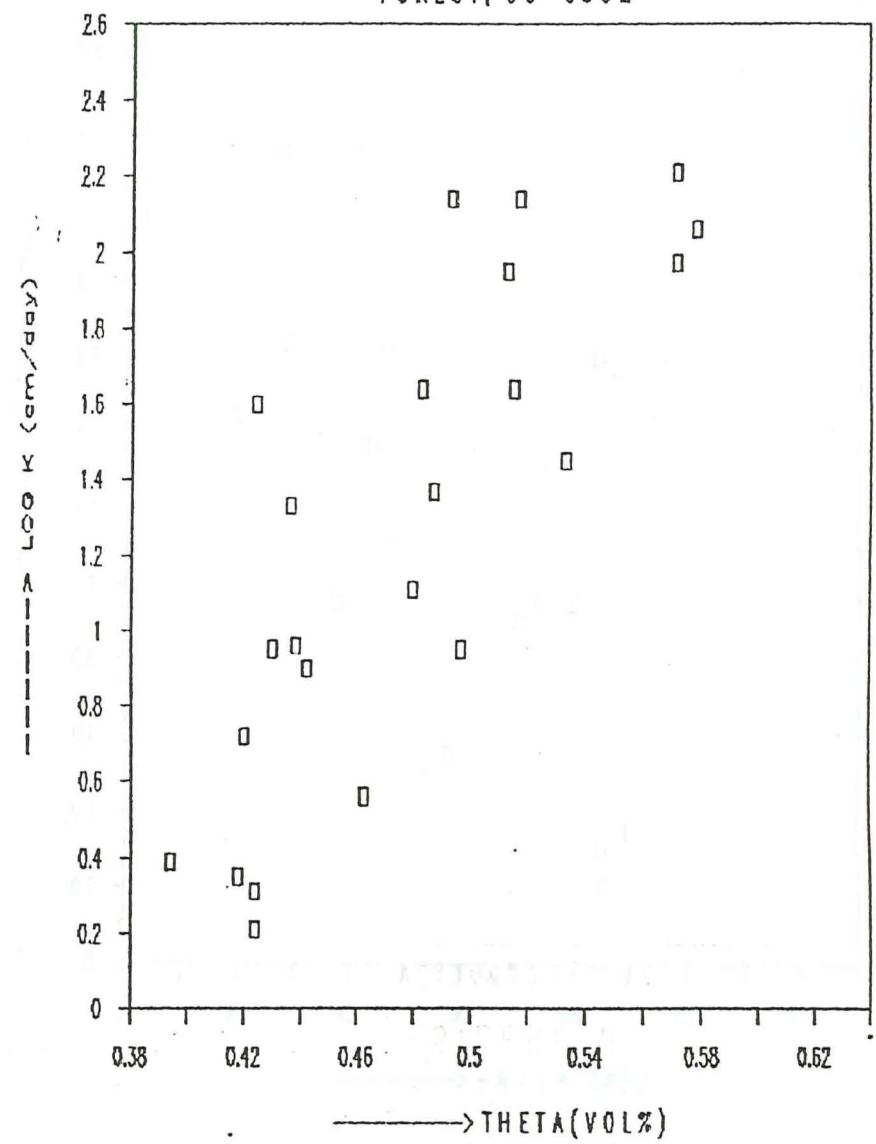
MILANO

FOREST, 0-30CM



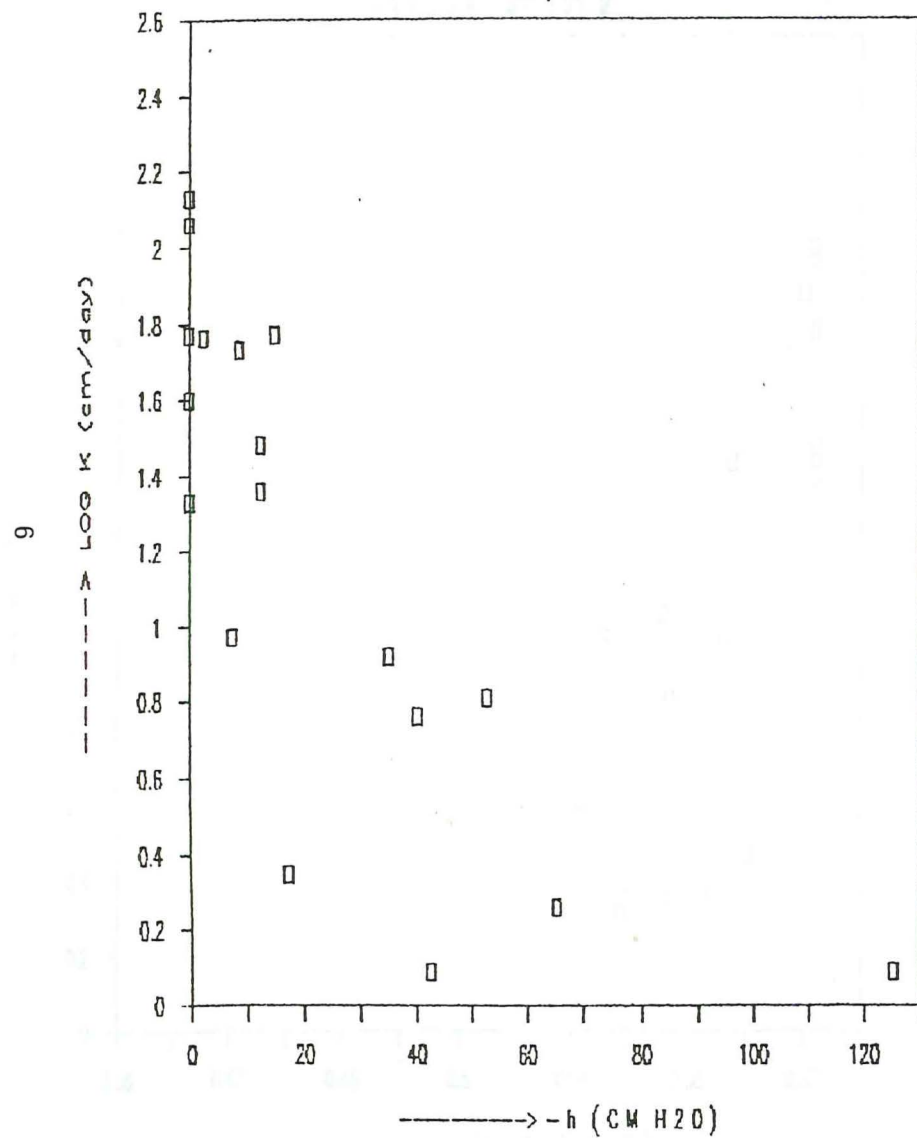
MILANO

FOREST, 30-60CM



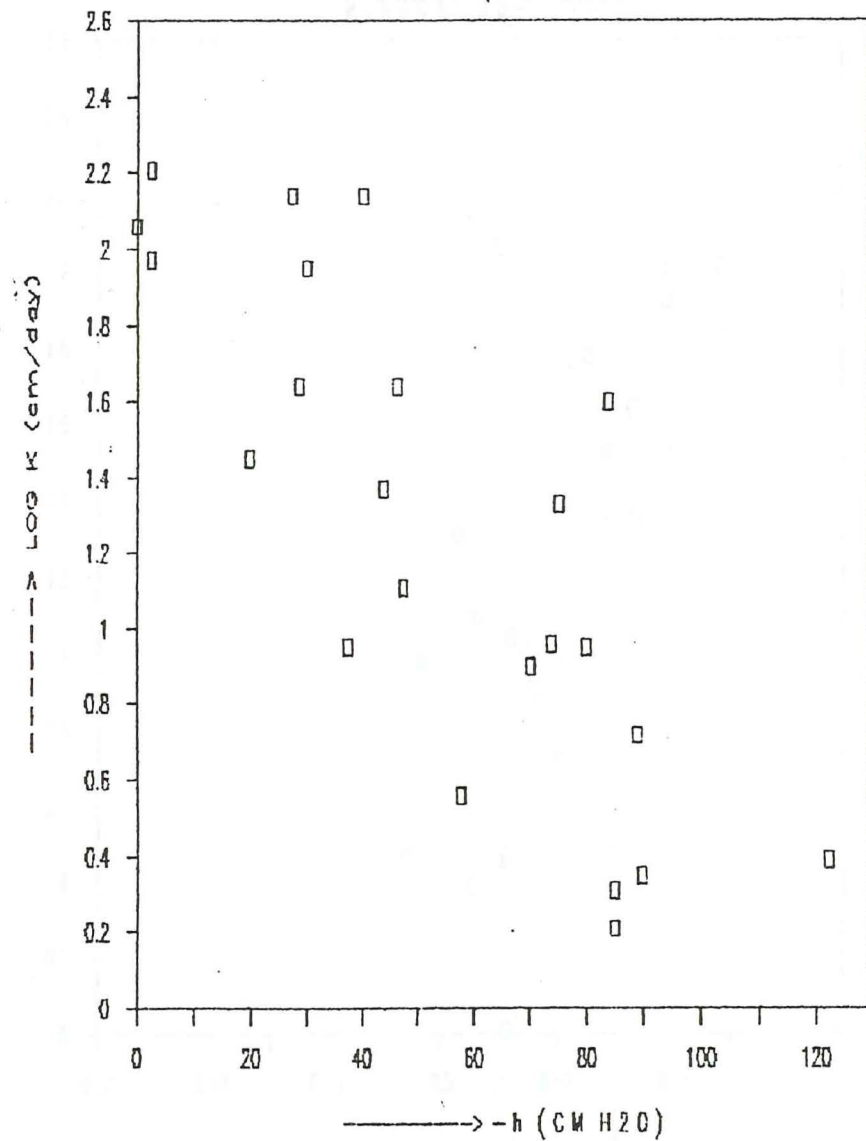
MILANO

FOREST, 0-30CM



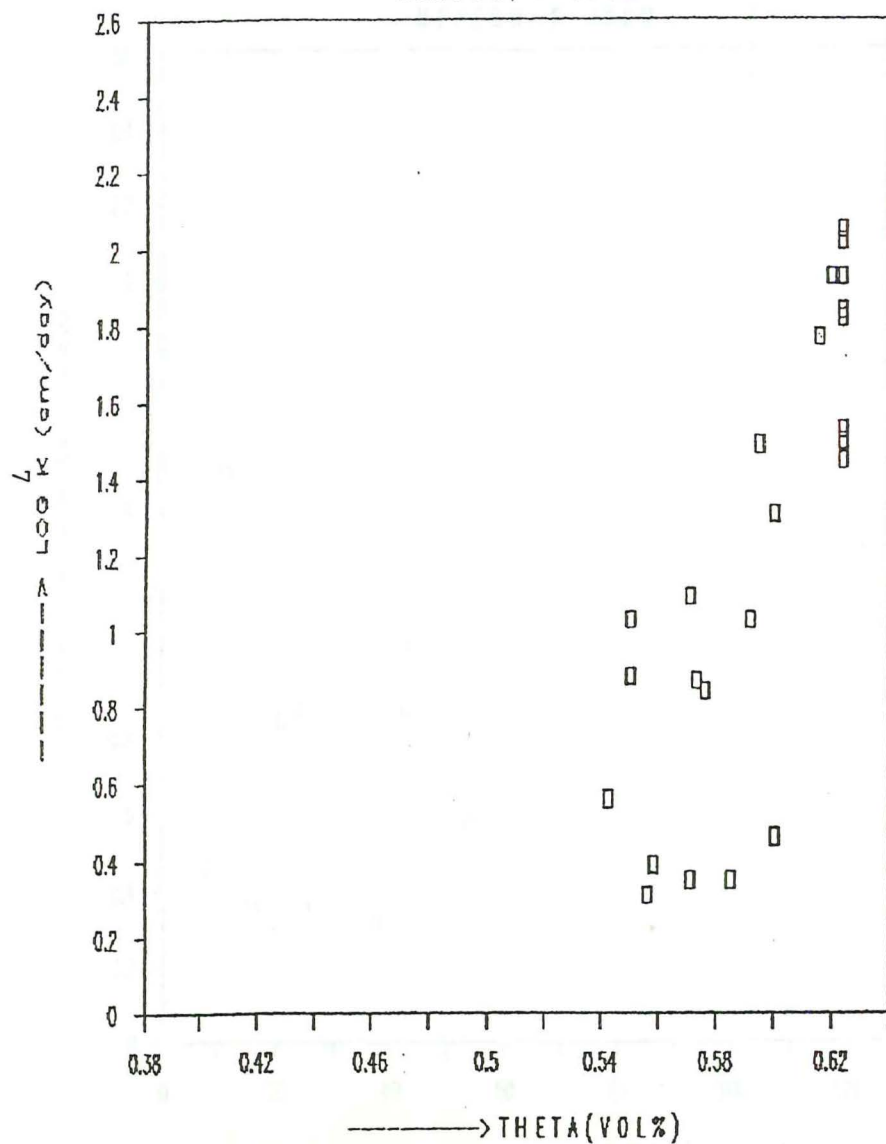
MILANO

FOREST, 30-60CM



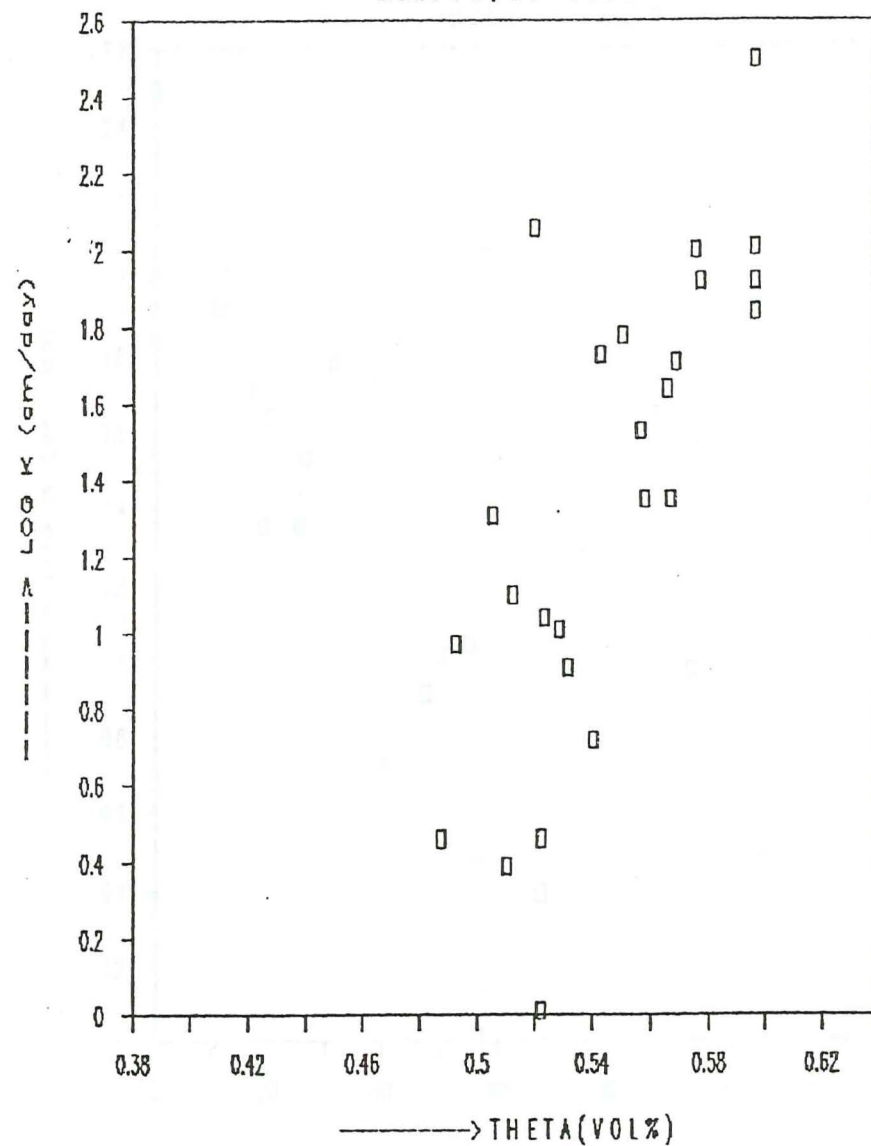
MILANO

MEADOW, 0-30CM



MILANO

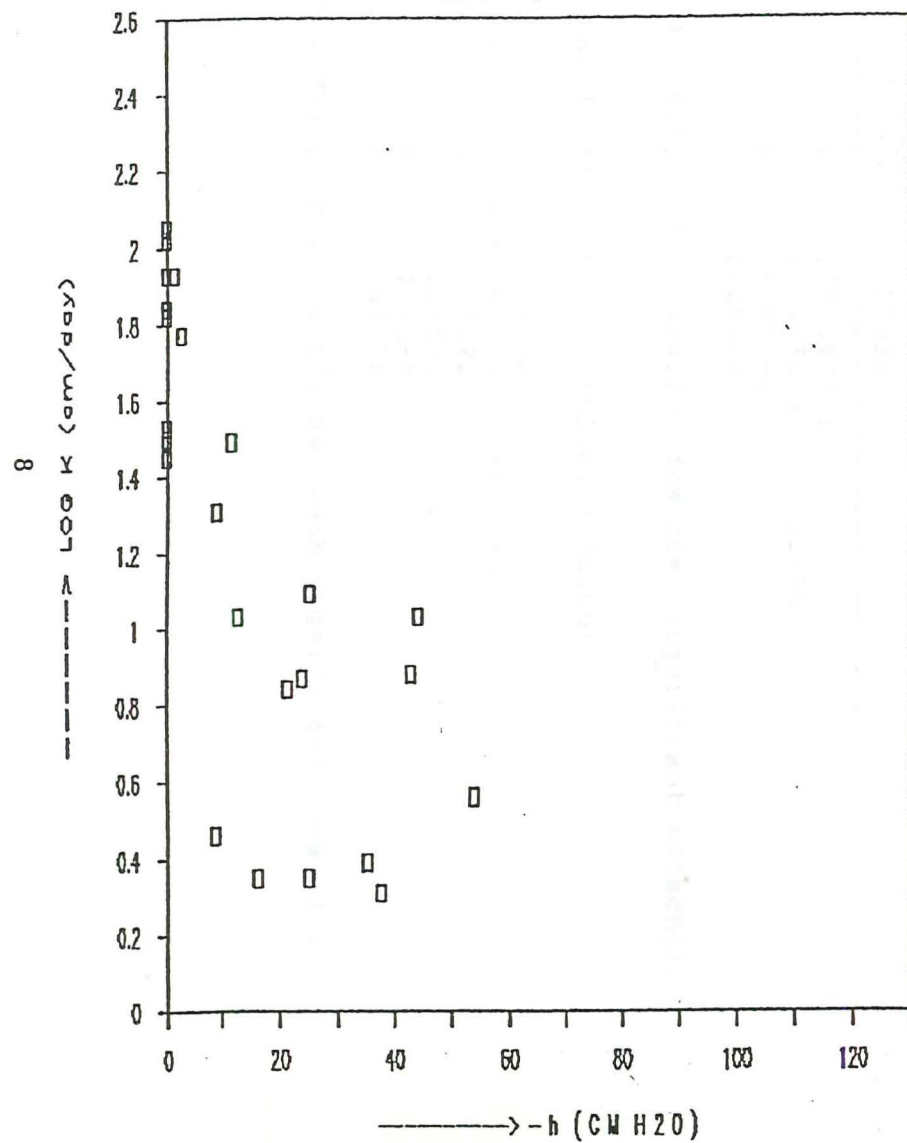
MEADOW, 30-60CM



vervolg bijlage 5

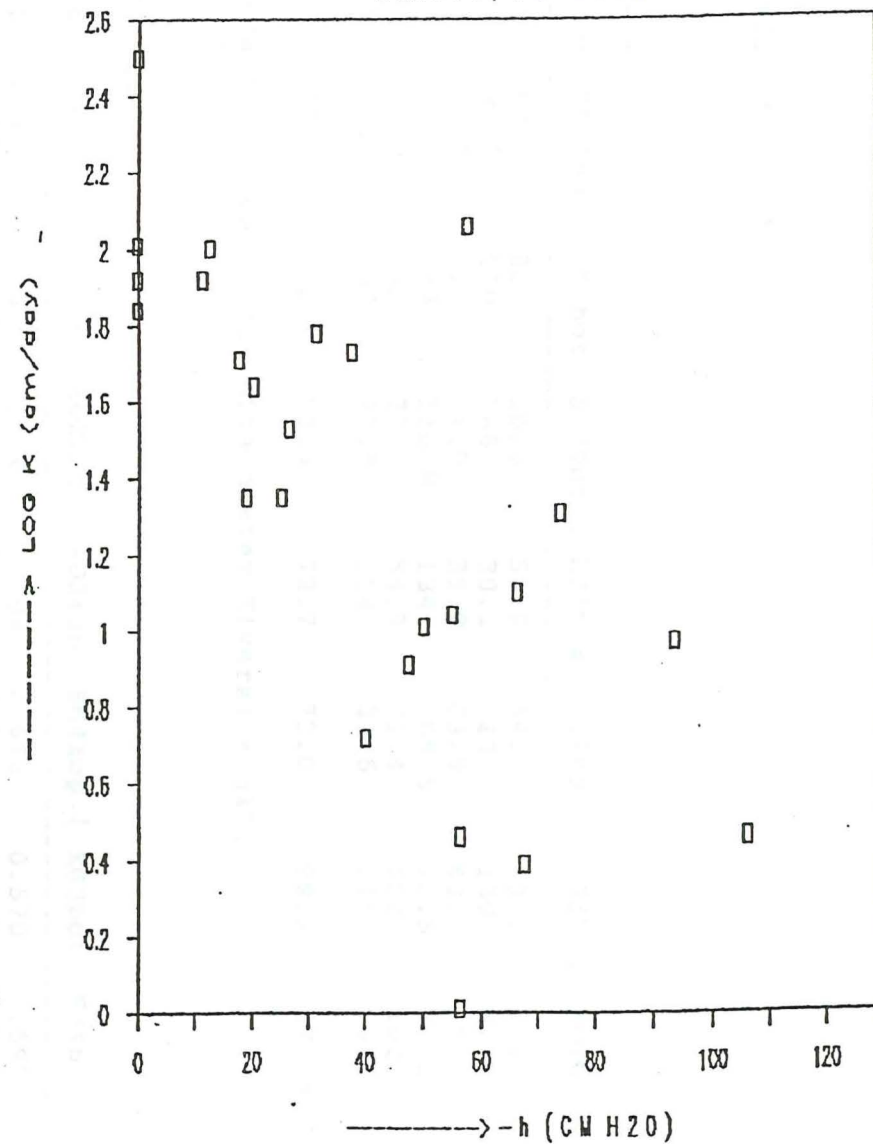
MILANO

MEADOW, 0-30CM



MILANO

MEADOW, 30-60CM



vervolg bijlage 5

BIJLAGE 6

STATISTISCHE ANALYSE

K(verz)

EG1top	EG2top	EG1bot	EG2bot	EG3top	EG4top	EG3bot	EG4bot
1440	67.8	288	36.3	58.9	84.3	43.2	101
835	92.7	800	288	30.2	113	139	82.3
648	60.3	216	34.0	39.9	69.9	43.2	317
590	57.9	288	110.8	134	105.5	92.5	83.5
1800	25.7	451	37.1	58.9	31.4	162	102.3
1248	50.5	250	27.3	114	33.6	115	69.3

$\bar{X} = 1094$ 59.2 382 88.9 72.7 73.0 99.2 87.7*

* = gemiddelde waarde zonder uitschieter K(verz) = 317.

Theta(verz)

EG1top	EG2top	EG1bot	EG2bot	EG3top	EG4top	EG3bot	EG4bot
0.660	0.645	0.610	0.608	0.604	0.622	0.570	0.597
-	0.656	0.610	0.602	0.591	0.625	0.585	0.596

ANOVA-tabel, theta(verz), EG1top * EG2top

	dim	proj2	f
Nivo	1	1.281840333	
Vegetatie	1	6.0167E-5	0.994
Rest	1	6.05E-5	
Totaal	3	1.281961	

$f=0.994 < F(1,1; 0.90)=39.90$, dus geen significant verschil.

ANOVA-tabel, theta(verz), EG1bot * EG2bot

	dim	proj2	f
Nivo	1	1.476225	
Vegetatie	1	2.5E-5	2.78
Rest	2	1.8E-5	
Totaal	4	1.476268	

$f=2.78 < F(1,2; 0.90)=8.53$, dus geen significant verschil.

VERVOLG BIJLAGE 6

ANOVA-tabel, theta(verz), EG3top * EG4top

	dim	proj2	f
Nivo	1	1.490841	
Vegetatie	1	6.67E-4	15.19
Rest	2	8.9E-5	
Totaal	4	1.491606	

$f=15.19 > F(1,2; 0.90)=8.35$, er is significant verschil, echter bij $F(1,2; 0.95)=18.52$ geen significant verschil.

ANOVA-tabel, theta(verz), EG3bot * EG4bot

	dim	proj	f
Nivo	1	1.378276	
Vegetatie	1	3.61E-4	6.39
Rest	2	1.13E-4	
Totaal	4	1.37875	

$f=6.39 < F(1,2; 0.90)=8.35$, dus geen significant verschil.