

El Hicha – en studie av saltstäppssediment

Hanna Pettersson

Kandidatuppsats i Geologi vid Lunds Universitet,
nr. 278
(15 hskp/ECTS)



Department of Earth- and Ecosystem Sciences
Division of Geology
Lund University
2011

El Hicha; En studie av saltstäpps- sediment



Examensarbete, 15hp
Hanna Pettersson

Handledare: Leif Johansson, Håkan Wallander och Hafedh Nasr

Institutionen för Geo- och Ekosystemvetenskaper
- enheten för geologi
Lunds universitet
2010

Innehåll

1 Inledning	5
2 Syfte	5
3 Frågeställningar	5
4 Bakgrund	5
4.1 Geologi	5
4.2 Provtagningsplatsen	7
4.3 Mark	7
4.4 Grundvatten och bevattning	8
4.5 Lättlösliga salter, växter och överlevnadsstrategier	8
5 Metod	9
5.1 Urvalsprocess för jordprover	9
5.2 Strukturprovtagning	10
5.3 Provtagning för koltest	10
5.4 LOI	10
5.5 Uträkning av karbonatinnehåll	10
5.6 Statistik	10
5.7 Preparering av strukturprover	11
5.8 SEM och EDS-analys	11
6 Resultat	11
6.1 EC-test	11
6.2 LOI	11
6.3 SEM	12
6.3.1 Kornstorlek och form	12
6.3.2 Generell kemisk sammansättning och mineral	13
6.3.3 Aggregat	15
7 Diskussion	16
7.1 LOI	16
7.2 SEM och EC	16
8 Slutsatser	17
9 Tack	17
10 Referenser	18

Omslagsbild: Strukturprovtagning för *Periploca laevigata*

El Hicha – en studie av saltstäppssediment

HANNA PETTERSSON

Pettersson, H., 2011: El Hicha - en studie av saltstäppssediment. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 278, 22 sid. 15 hp.

Det här examensarbetet i geologi är en studie av ökensediment. Det är tvärvetenskapligt mellan geologi och ekologi. Sedimenten som har studerats kommer från en statlig försöksodling, El Hicha, på saltstämpan utanför El Akarit, 45 km norr om Gabes i södra Tunisien.

Första steget i studien var att ta sediementprover på försöksodlingen där Ministry of Rural Engineering, Water and Forest odlar träd och buskar för att hitta arter som är tåliga mot saltstress och torka och har positiva effekter på odlingsjorden. Olika arter kan hantera salter genom att exkludera eller inkludera joner. Därför förväntas jorden närmast de olika arternas rotsystem ha olika saltinnehåll. Den elektriska konduktiviteten i jordprover från ett antal 2-meter djupa profiler mättes och jämfördes. Jorden från tre arter valdes för vidare tester (*Acacia salicina*, *Periploca laevigata* and *Atriplex halimus*). På Geocentrum i Lund analyserades proverna för att få halten organiskt kol och karbonater och resultaten jämfördes sedan med kontrollprover tagna utanför odlingsområdet.

Metoden Loss On Ignition, glödförlust, användes för att analysera proverna. Resultatet visade att det inte var någon statistisk skillnad mellan proverna för alla grupperna (arterna), varken när det gällde organiskt kol eller karbonater. Medelvärdet för organiskt kol var högre än i undersökningen som utfördes 1997 och högre än medelvärdet för öken- och halvökenjordar över lag i Tunisien. Att resultatet var så högt kan bero på att det inte togs hänsyn till det stora gipsinnehållet i jorden när analysmetoden valdes. Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dehydreras inte fullständigt vid torkning vid 105°C . Istället bildas bassanit ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$). En del av den vikt förlust som noteras vid förbränning vid 550°C är därför inte organiskt kol utan avgång av kristallint vatten från gips då anhydrit bildas (CaSO_4).

Medelvärdet för karbonater var samma för de testade grupperna. Eftesom proverna innehöll dolomit, räknades inte procenthalten karbonater ut som om proverna enbart innehöll kalciumkarbonat. Om förekomst av dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ignorerades blev procenthalten den samma som i analysen 1997.

Utöver analyserna av organiskt kol och karbonater gjordes också en generell jordbeskrivning med förekommande mineral, kemi, och aggregatsammansättning. Jordproverna innehöll få spår av organiskt bundna aggregat, men det fanns mineraliserade microaggregat. Majoriteten av kornen var kvartskorn, men det förekom också gipskristaller och ett fåtal zirkoner, titanmineral och aluminiumsilikat. Microaggregatens matrix bestod av Si, Ca och S med mindre mängder K, Al, Fe, Na och Cl. Trots att jorden är salin fanns inga halitkristaller. Jordproverna från de odlade fälten hade en mycket lägre elektrisk konduktivitet än kontrollprovet utanför området. Natrium och klor kan ha sköljts ned till en lägre nivå i markprofilen eller så kan saliniteten vara ett resultat av höga halter av kalcium-, magnesium- och sulfatjoner.

Handledare: **Leif Johansson** och **Håkan Wallander**

Handledare för fältarbetet: **Mr Hafedh Nasr - INRGREF**

Examensarbete 15 hp Geologi 2010

Institutionen för Geo- och Ekosystemvetenskaper, enheten för Geologi, Lunds Universitet

Nyckelord: salin jord, organiskt kol, karbonater, gips, LOI, SEM, EDS, Tunisien

Hanna Pettersson, Institutionen för Geo- och Ekosystemvetenskaper, enheten för Geologi, Lunds Universitet, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund. E-mail: hannathyme@gmail.com

El Hicha - A study of salt flat sediments.

HANNA PETTERSSON

Pettersson, H., 2011: El Hicha - A study of salt flat sediments. *Bachelor thesis in Geology, Lund University*, Nr. 278, 22 pp. 15 hp

This bachelor thesis is a study of desert soil. It is a thesis within the subject of bedrock geology but has a clear ecological angle. The specific soil studied is from the salt flats in the area of El Akarit, 45 kilometers north of the city of Gabes in southern Tunisia.

The first aim of the study was to sample soil from the test site El Hicha, where the Ministry of Rural Engineering, Water and Forest is growing trees and shrub to find species that are salt and drought resistant and that might have other abilities to improve the condition of the soil. Different species are known to handle high salt levels by excluding or including ions. Therefore the soils around the different species were expected to have a different salt content. By sampling a number of 2 meter deep soil profiles and measuring the electrical conductivity of the samples, three species were chosen for further tests (*Acacia salicina*, *Periploca laevigata* and *Atriplex halimus*). They were tested for organic carbon and carbonates and the results were compared with two controls from outside the agriculture area.

The Loss On Ignition method was used to analyze the soil samples at the university laboratory in Sweden. The results showed that there was no statistical difference between the samples for all groups tested, both regarding organic carbon and carbonates. However, the average percentage of organic carbon was higher than the initial survey in 1997 and higher than desert and semi desert soils in Tunisia in general. This could be because the gypsum content of the soil was not considered when the method Loss On Ignition was chosen. Gypsum, ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), is not fully dehydrated at 105°C. Instead the mineral bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) have been formed. Some of the weight loss at 550°C that was thought to have been organic carbon is therefore water loss from bassanite dehydration, formation of anhydrite (CaSO_4).

The average carbonate content was equal for all groups. Since the samples contained dolomite, the carbonate percentage was not calculated as being only calcium carbonate. If the dolomite was ignored the percentage was approximately the same as in the previous analyze made in 1997.

In addition to the test of organic carbon and carbonates a general soil description with minerals, chemistry, structure and aggregate composition was made. The soil showed few signs of organic aggregates, but had mineralized micro aggregates. The majority of the soil particles were silicon grains, but there were also gypsum crystals and a few zircons, titanium minerals and aluminum silicates. The micro aggregates had a matrix consisting of Si, Ca and S, with lower amounts of K, Al, Fe, Na and Cl present. Despite the soil being very saline there were no halite crystals. The soil samples from the cultivated fields had a much lower electrical conductivity than the control sample from outside the research area. The sodium and chlorine could have been washed to a lower level in the ground or the soil salinity could be a result of high levels of calcium, magnesium and sulphate ions.

Advisor: **Leif Johansson and Håkan Wallander**

Research Site Advisor: **Mr Hafedh Nasr - INRGREF**

Degree project 15 ECTS-credits in Geology 2010

Department of Earth and Ecosystem Sciences, Division of Geology, Lund University, Sweden

Keywords: saline soil, organic carbon, carbonates, gypsum, LOI, SEM, EDS, Tunisia

Hanna Pettersson, Department of Earth and Ecosystem Sciences, Division of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: hannathyme@gmail.com

1 Inledning

Tunisien är ett nordafrikanskt land som gränsar till Medelhavet, Libyen, och Algeriet. Den norra delen av landet har medelhavsklimat medan den sydvästra tillhör Saharaöknen och har mycket låg nederbörd.

Landets totala area är 16.4 miljoner hektar. På grund av klimatet i kombination med sandiga sediment, gipsskorpor och näringsfattiga jordmåner är det enbart 5 miljoner hektar av landytan som går att odla (Republic of Tunisia, Ministry of Agriculture, 1997-1999). Eftersom Tunisien inte har några större fyndigheter av viktiga naturresurser såsom malm eller olja är jordbruket extra viktigt för försörjningen. Basprodukterna som odlas är oliver, citrusfrukter, spannmål och dadlar. För att maximera den odlade landytan används bland annat konstbevattning. Mellan 1970 och 1990 tredubblades andelen jordbruksmark och den har fortsatt öka sedan dess (Republic of Tunisia, Ministry of Agriculture, 1997-1999). För att konstbevattning ska kunna vara ett ekonomiskt hållbart alternativ tar bönderna vatten från lokala brunnar. Dessa har en varierande salthalt men i de flesta fall är den hög. Generellt så stiger salthalten från norr till söder och från inlandet till kusten. Området längs med kusten från strax norr om Sousse till gränsen mot Libyen i sydöst har de högsta halterna.

Genom tillförsel av salt grundvatten i kombination med hög evaporation höjs halten av salter i markytan kontinuerligt. Saltanrikning är den process som utgör den näst största begränsningen för markanvändning världen över (USDA taxonomy 1999). Den försvårar villkoren för växterna och begränsar artrikedomen. Enbart mycket tåliga arter överlever och kan reproducera sig. Studier har visat att arter har olika överlevnadsstrategier där de antingen inkluderar eller exkluderar joner när de tar upp vatten. Detta förändrar salthalten i sedimenten runt rötterna. Examensarbetet utgår från förändringar i salthalt och innebär en mer detaljerad sedimentundersökning med länkar till organiskt kol och karbonater.

Examensarbetet har varit möjligt att genomföra tack vare ett samarbete mellan institutionen för biologi, avdelningen för mikrobiologisk ekologi, vid Lunds universitet, National Research Institute for Rural Engineering, Water and Forest, i Tunis och Regional Department for Agricultural Development of Gabes.

2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att utföra provtagning och analysera sedimentprover från en försöksodling i ett ökengränsområde i Tunisien. I arbetet ingår också förberedande litteraturstudier om områdets geologi, hydrogeologi, klimat och ekologi. Provtagningen utgår från ett ekologiskt perspektiv med tonvikt på hur specifika växtarter på provodlingen hanterar salinitetsstress via upptag eller exkludering av salter. Genom att utföra en analys av jordens elektriska konduktivitet (senare refererat till som EC) väljs ett antal arters jordmån för fortsatta studier. Dessa studier innefattar ana-

lys av kolhalt (både organiskt och karbonater) och markstruktur. Studierna av markstruktur är främst beskrivande och gäller aggregatförekomst, kemisk sammansättning, partikelform och mineralogi.

3 Frågeställningar

1. Mellan vilka arter är det totalt störst skillnad i elektrisk konduktivitet när man jämför en 2-meter djup markprofil?
2. Finns det någon skillnad i halten organiskt kol i det organiska marklagret hos de olika växtarterna och icke odlad mark?
3. Hur höga är karbonathalterna i jordproven?
4. Förekommer aggregat och vad består i så fall matrix av?

4 Bakgrund

4.1 Geologi

Tunisiens geologiska historia är spännande och komplex. I norra delen finns bergssystemen Rif-Tell och Atlas. Båda spänner över Maghreb (Marocko, Algeriet och Tunisien) i öst-västlig riktning, se figur 1. Rif-Tell är en rest från den västra Alpina medelhavskedjan och Atlasbergen är ett intra-kontinentalt assymetriskt system (Frizon de Lamotte et al. 2009).

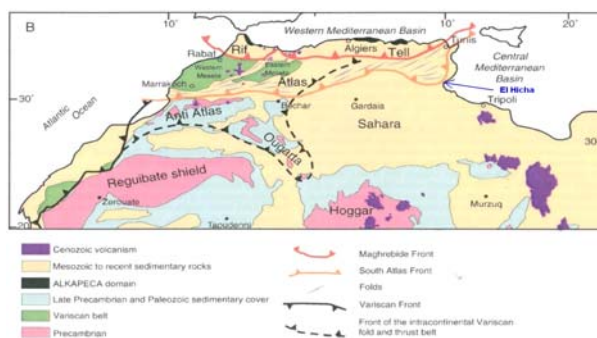


Fig. 1. Provpplatsen, El Hicha, är utmärkt med pil och blå text. Ursprungsbilden innan modifikation kommer från Frizon de Lamotte et al. 2009.

I Tunisien har de båda systemen kontakt men utgör separata bergskedjor på grund av strukturella skillnader (Pique et al. 2002). Båda systemen härstammar från Afrika-Eurasienkonvergensen som började i Krita men inte påverkade Tunisien förrän i slutet av Miocene. Detta är den yngsta delen av bergskedjorna (Frizon de Lamotte et al. 2009).

Atlasbergen är indelade i centrala Atlas och south Atlas. I södra delen av Tunisien är south Atlas foreland ett aktivt sjunkande område med chotts (Frizon de Lamotte et al. 2009). Dessa saltsjöar/träsk förses med grundvatten från artesiska källor främst i området vid Seftimi, Chott Fedjaj (Ca 15km norr om W15 i figur 2). De båda akviferer som grundvattnet kommer ifrån kan ha hög salthalt, upp till mellan 7.4 och 8.5 g/l (Drake et al. 2003). Vattnet är rikt på kalcium- och sulfatjoner och detta har en stor påverkan på

sjöarna och området runt omkring. Under torra perioder torkar sjöarna delvis ut och den torra sjöbotten utsätts för vinderosion. Det mesta eoliskt transporterade materialet fångas av vegetationen i omkringliggande salträsik (Oueslati 1992) men de kan också ha påverkan på ett större område.

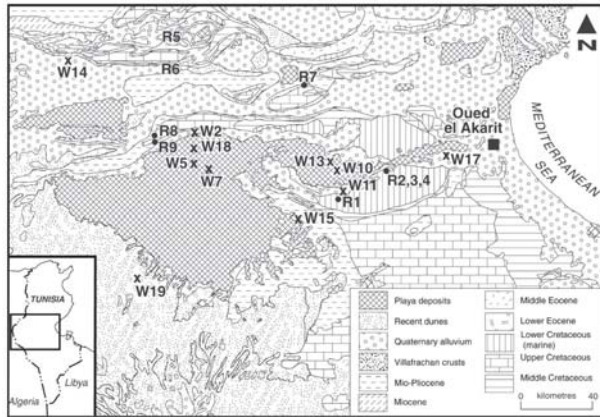


Fig. 2. Provtagningsplatsen ligger vid kusten ca 10 km nordöst om Oued el Akarit. Kartan kommer från en studie av svavelisotoper och visar på mätplatserna runt saltsjöarna (Drake et al. 2004).

Området för examensarbetet ligger strax öst-nordöst om Oued El Akarit (se figur 2), 35km norr om Gabes (se figur 3). Det tillhör det nordvästra hörnet av sedimentbassängen Jeffara Basin och är en kustnära slätt där markytan ligger strax över havsnivå. I väster ligger South Atlas foreland med saltsjöar och i sydväst begränsas området av Dahar Platån. I sydöst fortsätter

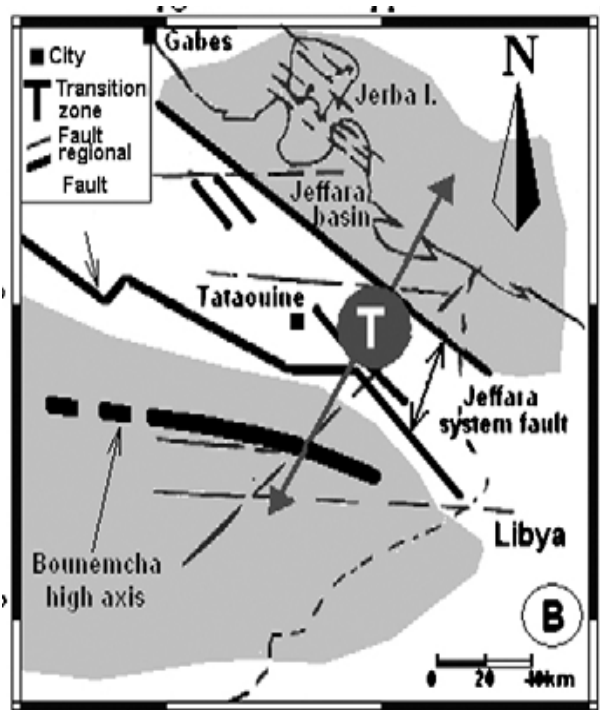


Fig. 3. Karta från området söder om Gabes. Förkastningsområdet och Jeffarabassängen fortsätter åt nordväst förbi försöksområdet (Gabtni et al. 2009).

Jeffarabassängen in i Libyen. Bassängen är resultatet av ett nordvästligt-sydöstligt riftsystem (se figur 3) där den större delen av extensionen och subduktionen skedde mellan Perm och Krita (Gabtni et al. 2008), men det finns tecken på att systemet fortfarande är aktivt (Frizon de Lamotte et al. 2009).



Fig. 4. Karta över Tunisien, Google maps.

Berggrunden runt försöksområdet domineras av marina sediment från perioderna Krita, Eocene och Mio-Pliocene. Under dessa lager och de lösa sedimentlagren i försöksområdet finns sedimentär berggrund från Perm och Trias. Perm-Trias-sedimenten består av sandsten, skiffer, dolomit och kalksten med inslag av gips i de övre lagren. Sedimenten från Krita består av lerig kalksten, sandsten, dolomitisk kalksten och lera. I de översta lagren förekommer fosfater, gips och lera (Drake et al. 2003).

Tektoniska rörelser i senare delen av Pliocene har täckt berggrunden med kontinentala sediment i form av alluvialslätter, alluvialkoner, eoliska dyner och playasediment. En del av landformerna är numera övertäckta av gipsskorpor och i sydväst ligger Grand Erg Oriental med gipshaltiga sanddyner. Då området

är en av de gipsrikaste platserna i Afrika har gipsskorpornas ursprung studerats. Svavelisotoper visar att i området runt Oued el Akarit kan ursprunget vara både yttransporterat sulfat eller grundvattenburet. (Drake et al. 2003), men härstammar från berggrunden. Gipskorporna har tillsammans med andra förekommande evaporiter en stark prägel på markkemin och ekologin i försöksområdet.

4.2 Provtagningsplatsen

Fältarbetet utfördes under 5 dagar mellan den 19:e och 23:e oktober 2010. Platsen för fältarbetet är försöksodlingen, El Hicha, som ligger 35km norr om staden Gabes i södra Tunisien. Försöksodlingen är statlig och tillhör National Research Institute for Rural Engineering, Water and Forest. Innan försöksodlingen var områdets ekosystem detsamma som den omkringliggande kustnära saltstäppen. Växtligheten bestod av fläckvisa bestånd av inhemska buskar och gräs (halofyter). 1997 utfördes mark- och vattenundersökningar och 1998 planterades de första försöksväxterna på området. De växtslag som finns där nu är de träd- och buskarter som har överlevt sedan 1998.



Fig. 5. Försöksodlingen.



Fig. 6. Närliggande område med naturlig stäppvegetation.

4.3 Mark

Markfuktighet och temperatur är de mest begränsande faktorerna för utveckling av en näringsrik jordmån (USDA soil taxonomy, 1999). Hos aridisoler (jordmån utvecklad i ett arit klimat) är den dominerande markprocessen en anrikning av vittringsprodukter, ofta salter. Försöksodlingen El Hicha hade vid den första markundersökningen i oktober 1997 en hög halt av kalcium, magnesium och gips (se bilaga 1).

Markens översta lager består till mer än hälften av finsand, en mindre del grovsand och resterande del finare material. Detta lager sträcker sig ner till 45cm. Under detta övergår marken till att vara en mer eller mindre hård gipsskorpa med högre halt CaCO_3 . Salthalten ökar också i riktning nedåt. PH-värdet låg generellt runt 8,4 i undersökningen 1997. På mellan 2 och 3 meters djup finns ett övergångslager. Högst upp består det till mer än hälften av gips och övergår nedåt till att helt bestå av sand. I bilaga 1 finns en tabell som redogör för den ursprungliga kemiska analysen.

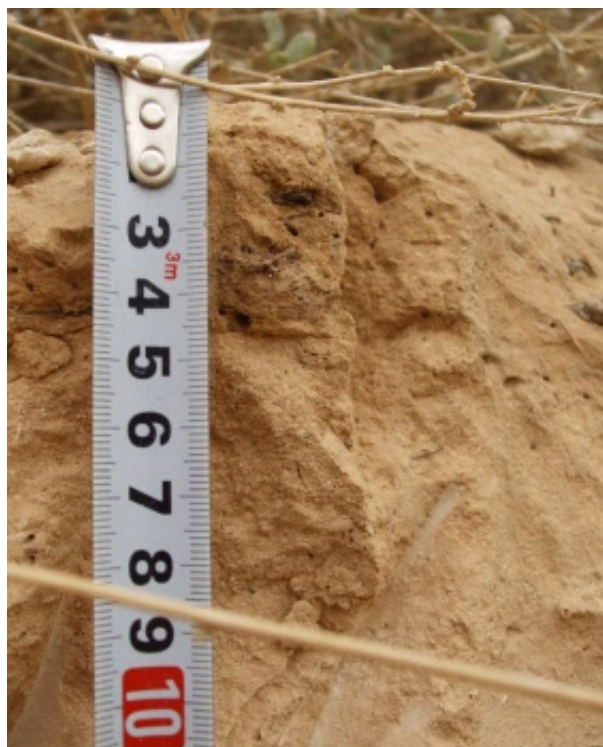


Fig. 7. Profilmfoto mellan 0 och 10 cm.



Fig. 8. Profilfoto. Linjerna är märken i gipsen från hackan.



Fig. 9. Profilfoto mellan 150 och 160 cm.

4.4 Grundvatten och bevattning

Klimatet i södra delen av Tunisien där försöksodlingen ligger klassas som arid. Det saknar en sammanhängande period på minst 90 dagar årligen då det finns tillgängligt vatten för växtligheten. Nederbörden minus evaporation ger ett underskott på över 1800 mm/år (Republic of Tunisia, Ministry of Agriculture, 1997-1999). Värdena är ett genomsnitt från en 25-årsperiod och kan skifta mycket från år till år. På grund av gipsskorporna i marken är ytavrinningen under regnperioden mycket större än infiltrationen. De vattendrag som finns i regionen finns bara under denna period (okt-jan).

För att kunna kompensera för nederbördsunderskottet och få jordbruket att fungera används konstbevattning. Av kostnadsskäl används lokala brunnar som oftast bara är borrarade ner till den översta akvifären som sträcker sig ner till 50 meters djup.

Den första brunnen på försöksområdet borrarades ner till ett djup av 15 meter med en grundvattenyta vid pumpning på 9 meter. Då markytan ligger 12 meter över havet ligger de 3 översta metrarna av den vattenfyllda delen av brunnen över havsytans nivå och de 3 resterande metrarna under havsytans nivå. Med tanke på närheten till havet och att det i perioder inte sker någon påfyllnad i akvifären genom nederbörd skulle en viss saltvatteninträngning kunna förekomma.

Växterna överbevattnas till en viss del för att "tvätta" bort saltanrikningen från den översta rotzonen. Förutom de gånger detta görs är bevattningsmängden enbart stor nog att fylla växternas behov.

4.5 Lättlösliga salter, växter och överlevnadsstrategier.

En förhöjd halt av lättlösliga salter i mark och vatten har stor negativ inverkan på växternas biokemiska processer. Fotosyntes, proteinsyntes och metabolism försvåras (Parida & Das 2004).

För att kunna ta upp vatten och näringsämnen men undvika uttorkning och förgiftning har växterna olika men samverkande strategier. De växter som klarar sig bäst är antingen bra på att exkludera Na^+ och istället favorisera K^+ eller så är de bra på att efter upptag lagra dem i vakuoler, bark o.s.v. (Niknam & McComb 2000). Genom att lagra Na -joner i organ som är utanför de viktiga processerna förhindras att mängden stiger till toxiska nivåer och t.ex. skadar bladtilfväxt och stör fotosyntesen (Parida & Das 2004). Växter kan vara olika bra på detta vid olika salthalter och samma art (och ekotyp) kan klara en hög salthalt men dö vid låg salthalt (Niknam & McComb 2000).

Det finns också en speciell typ av växt som tar upp natrium och klor men istället för att deponera joner i vävnad så har de saltkörtlar på bladen där det med mikroskop går att urskilja NaCl -kristaller (halit) (Simon, Abeliovich & Belkin 1994). Saltet förs då regelbundet bort från växten antingen genom att gamla blad fälls eller vid avtvättning under regnperioder. Dessa växter ger upphov till en inverterad saltprofil med hög salthalt vid markytan och sedan successivt lägre halt nedåt i profilen. Vanligtvis är det tvärtom då regnvatten sköljer Na - och Cl -jonerna nedåt i profilen.

Växarterna på försöksodlingen vid El Hicha är utvalda för utvärdera deras förmåga att klara just detta områdes specifika krav. Förutom saltstress bör de vara tåliga mot uttorkning och under vissa perioder s.k. water logging då dräneringen inte är tillräcklig.

5 Metod

5.1 Urvalprocess för jordprover

Urvalsprocessen för markproverna baserades på de olika växtarternas förmåga att inkludera eller exkludera salter. Denna förmåga påverkar markens salthalt. När växterna inkluderar salt blir salthalterna i marken lägre och då sjunker den elektriska konduktiviteten. När arterna exkluderar salt har marken närmst rotsystemen en högre salthalt i jämförelse med de arter som inkluderar salter. De arter som inkluderar salter men utsöndrar dem via bladen får en inverterad saltprofil där de sänker salthalten i marken runt rötterna men höjer den vid markytan.

Det som eftersträvades var jordprov från försöksodling med den art som hade högst salthalt i marken d.v.s. bäst förmåga att exkludera Na^+ och Cl^- och den med lägst salthalt d.v.s. den art som tog upp flest Na^+ och Cl^- utan att nå toxiska nivåer. Den elektriska konduktiviteten mättes i dS/m, deciSiemens per meter (State of Queensland, 2007). Urvalet för två arter gjordes enbart baserat på markens elektriska konduktivitet och inte på några förkunskaper om just dessa arters förmåga att inkludera eller exkludera salter. En tredje art, *Atriplex halimus*, valdes för dess värde som foderväxt och för dens förmåga att utsöndra salter via körtlar på bladen. Denna art utfördes inget EC-test på.

För EC-testet grävdes 11 st 2-meter djupa profiler på separata försöksplotter (monokulturer), samt en 12e profil från ett ovattnat kontrollområde. Den ovattnade kontrollen valdes för att där inte skedde någon saltanrikning i marken p.g.a. tillförsel av salt grundvattnen.

Profilerna placerades nära (ca 50cm) växtlighet. Från varje profil togs prover på nivåerna 0-5cm, 5-10cm, 10-15cm, 15-20cm, 20-25cm, 25-35cm, 35-45cm, 90-100cm och 190-200cm.



Fig. 10. Markprofilens närhet till träd på en plott med *Acacia salicina*.

Proverna torkades minst 12h på 105°C , maldes och silades. Efter detta blandades 20g torrsvikt med 100ml destillerat vatten. Blandningarna fick stå orörda i två timmar varefter de rördes om igen. Därefter mättes den elektriska konduktiviteten. Detta test utfördes på kontrollen och ytterligare 5 arter. 6 arter togs bort av begränsad tillgång till laboratoriet i Gabes. De arter som testades var *Eucalyptus camaldulensis*, *Acacia salicina*, *Pinus halepensis*, *Medicago arborea* och *Periploca laevigata*.



Fig. 11. Stora bilden är *Eucalyptus camaldulensis*. De mindre är uppifrån och ner: Ovattnad kontroll, *Acacia salicina*, *Atriplex halimus* och *Periploca laevigata*.



Fig. 12. *Pinus halepensis* och *Medicago arborea*. Från: www.qwiki.com/q/#!/Mediterranean_woodlands_and_forests och www.unavarra.es/servicio/herbario/pratenses/htm/Medi_arbo_p.htm

5.2 Strukturprovtagning

4 plaströr med diametern 6 cm bankades in horisontellt i profilväggarna på djupet 15 cm, grävdes ut och förseglades. Djupet valdes därför att där i genomsnitt fanns mest rötter vilket medför att detta var det område där växternas individuella påverkan på jorden var som störst. Prover togs från *Acacia salicina*, *Periploca laevigata*, *Atriplex halimus* och en ovattnad kontroll.



Fig. 13. *Atriplex halimus*



Fig. 14. Utgrävning av strukturprov i kontrollprofilen.

5.3 Provtagning för koltest

En växt av varje art fick representera en odlingsplott. Fem växter av varje art valdes ut. Inom en radie av 50 cm runt varje växt togs 4 prover på djupet 10 cm. Dessa blandades sedan för att få ett representativt prov. *Atriplex* representeras av ett prov som är från en provplats vid växten, inte 4. Här togs utöver den ovattnade kontrollen också 5 prover från vattnade kontroller (Olivlund minst 15 meter från träd).

I den här undersökningen finns 3 typer av prov representerade. Den första typen var jord som påverkats av saltvattentillförsel i kombination med olika arters inverkan på marken genom processerna för deras näringsupptag, inkludering eller exkludering av salter och därmed en varierad koncentration av salter. Antingen påverkade inte växterna salthalten genom att exkludera salterna, eller så mildrade de anrikningen genom upptag eller flyttade salterna från en lägre nivå i markprofilen till en högre.

Den andra typen av prov var ovattnad kontroll med enbart tillförsel av regnvatten. Här borde salthalten öka från markytan och nedåt då regnvatten periodvis sköljde igenom marken och transporterar salterna till en lägre nivå.

Den tredje typen av prov var vattnad kontroll med tillförsel av salter, anrikning, men bara förändring av salthalten genom inhemska växter till skillnad från för saltstämpan nya arter.

Atriplex halimus skulle kunna finnas i flera kategorier då den är inhemsk men också odlad och bevattnad på försöksodlingen. I dessa prover är den representerad i den första gruppen som vattnad mark från försöksodlingen.

5.4 LOI

Loss On Ignition, glödförlust, följer principen att vikt-förlust vid förbränning representerar CO_2 avgången från organiskt material och karbonater, 550°C för organiskt kol och 925°C för karbonater. Proverna vägdes och torkades vid 105°C över natten, vägdes igen, brändes 6h vid 550°C , vägdes, brändes 4h vid 925°C och vägdes igen. Se också artikeln om LOI (Heiri et al. 2001) för detaljer om hanteringen av proverna.

5.5 Uträkning av karbonatinnehåll

Vid 925°C avgår CO_2 från CO_3 . Eftersom O blir kvar (som CaO eller MgO t.ex.) anger inte viktförlusten i procent karbonathalten. Genom att multiplicera med 1.36 får man karbonathalten i procent. 1.36 kommer från atomvikten för CO_3 ($12+16+16+16$) dividerad med atomvikten för CO_2 ($12+16+16$). Om man hade varit säker på att proverna enbart innehöll kalciumkarbonat hade man kunnat multiplicera med 2.27 ($\text{CaCO}_3/\text{CO}_2 = 100/44$) och då fått procenthalten kalciumkarbonat istället för den generella karbonathalten som i den här undersökningen. Om man räknar med att CO_2 avgår från $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ måste man multiplicera med 3.45 för att få procenthalten karbonater.

5.6 Statistik

På resultaten av testerna för organiskt kol och karbonater gjordes statistiska beräkningar. Eftersom det gjordes jämförelser av viktförlust på fler än tre grupper gjordes ett one-way Anova test (i SPSS) med utgångshypotesen att alla provgruppernas medelvärden var samma. Varje provgrupp representerades av rådata från 5 prover. Resultatet av beräkningarna visade om det var en statistisk skillnad mellan grupperna eller ej.

5.7 Preparering av strukturprover

Epoxy tillreddes med en tillsats av 10 % alkohol för att få en tunn lättflytande vätska som sedan hälldes i rören. Dessa fick stå så att vätskan kunde perkolera ned mellan kornen i de tidigare luftfyllda porerna. När epoxin hade stelnat sågades rören upp och proverna polerades maskinellt. Poleringen utfördes i 4 steg med successivt finkornigare slipplattor, den sista med diamanter för att slipa bort så många grova repor från sågen som möjligt. Desto bättre polerad yta desto bättre bildkvalitet får man i elektronmikroskopet.

5.8 SEM och EDS-analys

Både strukturproverna och lösa korn på koltejp undersöktes med skanningelektronmikroskop (SEM) och EDS-analys (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy). Elektronmikroskopet användes mest i backscatter mode (BSE) för att få information om fina ytdetaljer. De reflekterade elektronerna ger information om genomsnittliga atomvikter och visar bilderna i en gråskala där de ljusaste partiklarna är de som innehåller de ämnen med högst atomvikt (Krinsley et al. 2005). Figur 27 är ett bra exempel på detta där kontrasten är stor mellan den ljusa zirkonen och omkringliggande partiklar. Med EDS analyseras det röntgenspektra som uppstår då elektroner träffar ett material. Röntgenstrålningen gav ett energispektrum för den analyserade punkten. Med hjälp av analys av energispektrum och partikelform gick det att göra en mer eller mindre precis bedömning av vilka mineral som förekom. Metoden är endast semikvantitativ. För en mer precis kvantitativ analys fordras högpolerade ytor.

Lösa korn undersöktes för att få korn och aggregatkonturer i 3 dimensioner. För att kunna studera dem med SEM doppades koltejp i provpåsarna. Ytorna kolbelagdes maskinellt och studerades sedan med lägre vakuum i kammaren på mikroskopet än strukturproverna som var fixerade med epoxy. Strukturproverna gav förutom information om markstruktur också tvärsnitt av korn och aggregat.

6 Resultat

6.1 EC-test

För fortsatta tester valdes *Acacia salicina* för att den hade högst elektrisk konduktivitet och *Periploca laevigata* med den lägsta. *Atriplex halimus*, hade redan valts ut för fortsatta tester utan EC-test. Detta på grund av att den är tork och saltstresstålig och värdefull som foderväxt (Bajji, Kinet and Lutts 2002).

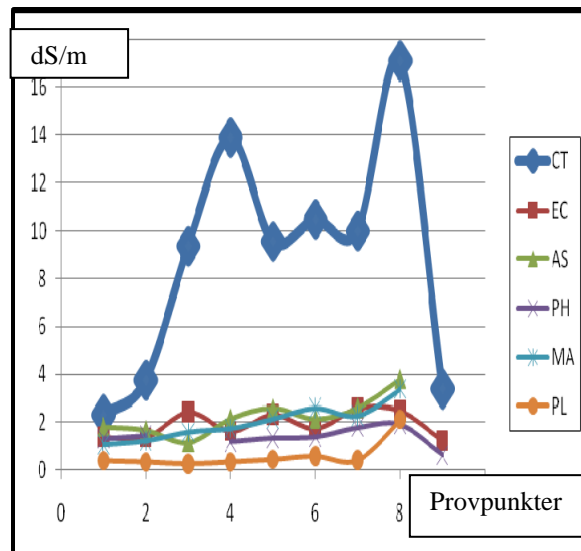


Fig. 15. Diagram över salthalten i markprofilerna. Y-axeln visar dS/m, deciSiemens per meter. X-axeln visar 9 mätdjup för 5 arter och ett kontrollprov. *Pinus halepensis* (lila) saknar ett värde på 10-15cm.

Arter

CT=kontrollprov

EC=*Eucalyptus camaldulensis*

AS=*Acacia salicina*

PH=*Pinus halepensis*

MA=*Medicago arborea*

PL=*Periploca laevigata*

Profildjup

1=0-5cm 6=25-35cm

2=5-10cm 7=35-45cm

3=10-15cm 8=90-100cm

4=15-20cm 9=190-200cm

5=20-25cm

6.2 LOI

Utgångshypotesen för Anova-testet var att alla grupperna var lika. Signifikansen var över 0.05 (0.082, se tabell 2) för testet på mätvärdena för organiskt kol vilket visar att skillnaderna var icke signifikanta. Därför kan alla grupperna anses ha samma medelvärde. Försöket gav alltså inga skillnader i innehåll av organiskt kol i marken varken mellan de olika arterna eller mellan någon art och kontrollproverna. Se bilaga 2 & 3 för alla samlade viktdata.

Anova-testet visade icke signifikanta värden för karbonaterna på samma sätt som för organiskt kol. Alltså ingen skillnad i karbonathalten för sedimenten hos de olika arterna. Samtliga enskilda provvärden finns i bilaga 2 & 3.

Prov	Medelvärde organiskt kol i %	Standardavvikelse o.k.	Medelvärde karbonater i %	Standardavvikelse karbonater
Periploca laevigata	1.9	0.2	5.5	0.5
Vattnad kontroll	3.2	1.4	5.5	1.4
Acacia salicina	3.3	0.9	5.5	1.4
Ariplex halimus	2.7	0.8	5.8	0.3
Ovattnad kontroll	3.4	0.7	5.3	0.7

Tabell 1. Medelvärden och standardavvikelse för organiskt kol och karbonater i grupperna.

ANOVA					
procent organiskt kol					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7.381	4	1.845	2.426	.082
Within Groups	15.213	20	.761		
Total	22.593	24			

Tabell 2. Anova-test för organiskt kol framtaget med SPSS

ANOVA					
procent karbonater					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.587	4	.147	.147	.962
Within Groups	19.991	20	1.000		
Total	20.578	24			

Tabell 3. Anova-test för karbonater framtaget med SPSS.

6.3 SEM

6.3.1 Kornstorlek och form

I alla prover förekommer partiklar av liknande storlek och form. Det går att göra en grov indelning i tre grupper;

1. Små partiklar, korn med diameter mellan 1 och 10 mikrometer.
2. Större partiklar med diameter 25-150 mikrometer. Dessa är kantiga men med rundade kanter.
3. Gipskristaller mellan 25 och 250 mikrometer.

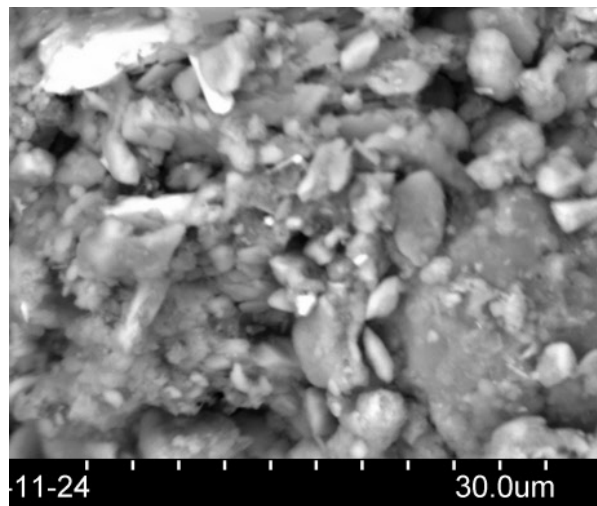


Fig. 16. De minsta synliga partiklarna.

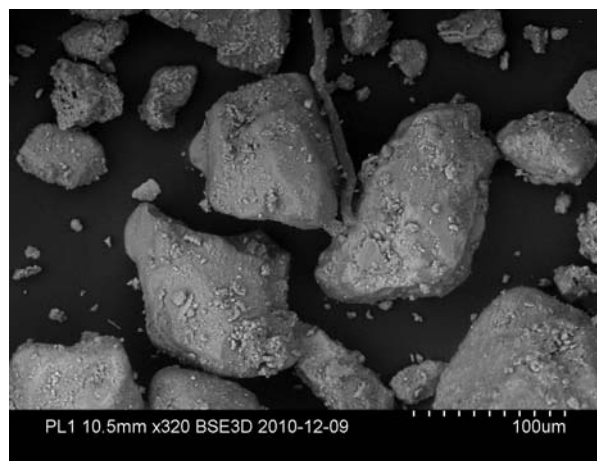


Fig. 17. Kvartskorn. Formen och storlekarna är representativa för provet.



Fig. 18. Gipskristall

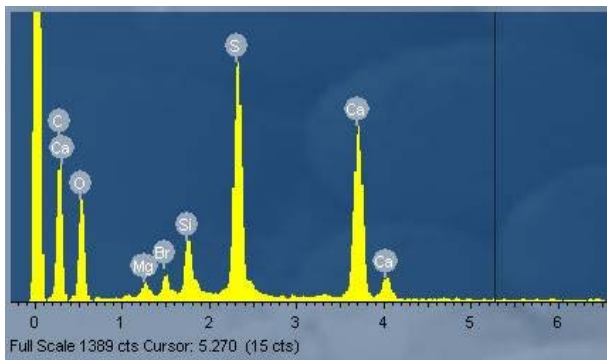


Fig. 19. EDS-spektrum från gipskristall. Svavel och kalcium dominerar. (Br-toppen är Al och inte Br.)

6.3.2. Generell kemisk sammansättning & mineral

EDS ger ett kemiskt spektrum för en punkt i provet med ca 5 mikrometers diameter. Detta spektrum och i vissa fall en distinkt kristallform ligger till grund för bedömningen av vilka mineral som förekommer.

Majoriteten av kornen i proverna hade en sammansättning av enbart kisel och syre, d.v.s. kvarts. Kalciumkarbonater och gips förekom också mycket (CaCO_3 och $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). På de flesta kornens ytor satt mindre partiklar i en ojämn halvtäckande massa bestående av kisel, kalcium, magnesium och aluminium. I vissa fall förekom också svavel, klor och järn. Andelen av de olika ämnena i massan skiftade vid olika provtagningspunkter och ibland dominerade kisel och ibland kalcium.

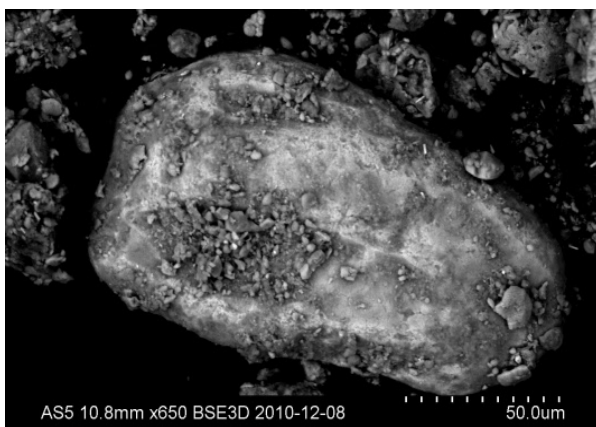


Fig. 20. Korn täckt av massan beskriven i texten ovan.

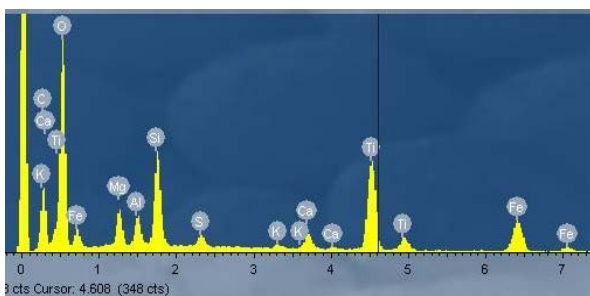


Fig. 21. Spektrum för kornet i figur 20. Titanhalten är hög och Mg, Al, Fe och Si förekommer också.

Ett fåtal välutvecklade sekundära mineralkristaller förekom. Dessa var antagligen kalcit, dolomit eller någon form av aluminiumsilikat t.ex. kaolinit ($\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$). Gipskristallerna är också sekundära mineral och som man kan se på bilden med en rot i nedbrutet stadium kan de kristallerna uppstå relativt snabbt. Ett fåtal små zirkoner och några titanrika mineral finns också i materialet.

Rötter med diametern mindre än 1mm förekom samt hyfer och ett fåtal rötter som håller på att brytas ner.

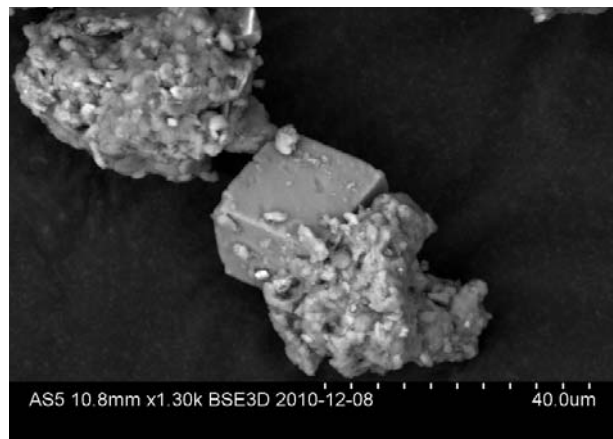


Fig. 22. Mg, Ca, C och Si, antagligen dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) med en kiselbeläggning. Att kristallen ser kubisk ut kan bero på bildens infallsvinkel. Aggregatmassan syns tydligt.



Fig. 23. Kristall med hög halt aluminium. En del kisel förekommer också i EDS-analysen.

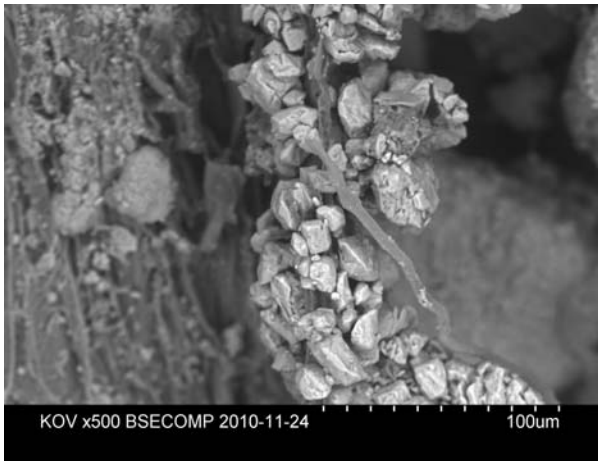


Fig. 24. Gipskristaller bildade på förmultnande organiskt material.

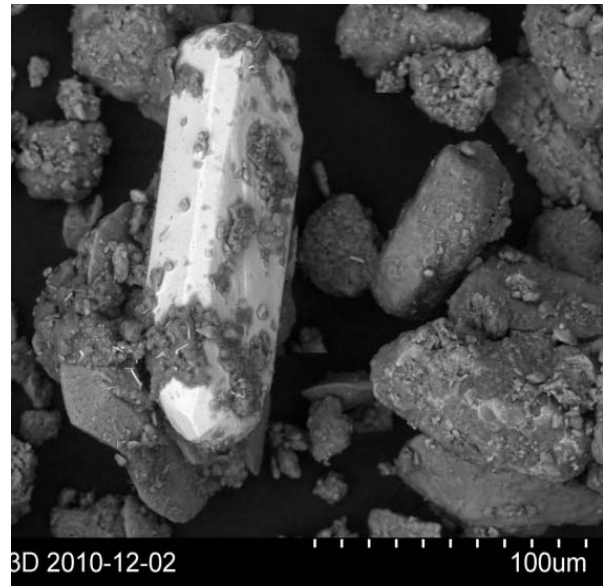


Fig. 27. Zirkon med matrix och välutvecklade gipskristaller i nedre vänstra hörnet.

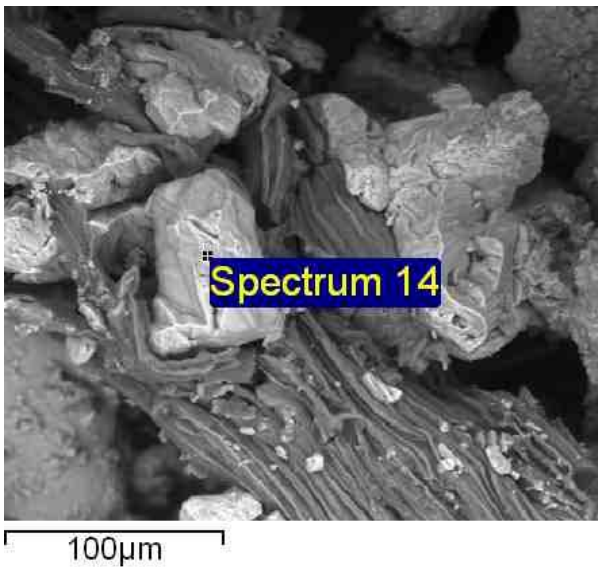


Fig. 25. Närbild av gipskristall på organiskt material.

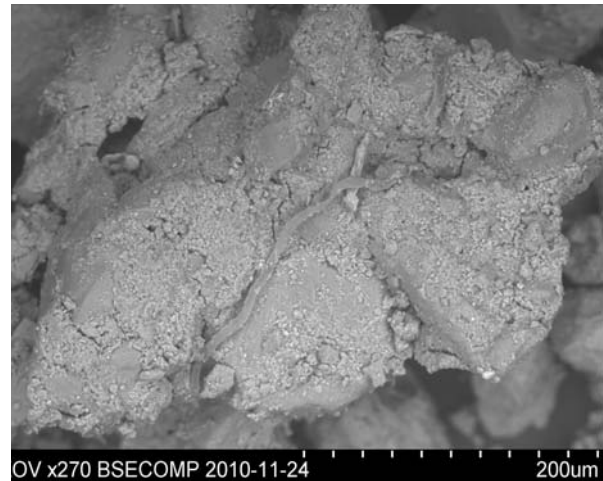


Fig. 28. Hyf på utsidan av aggregat.

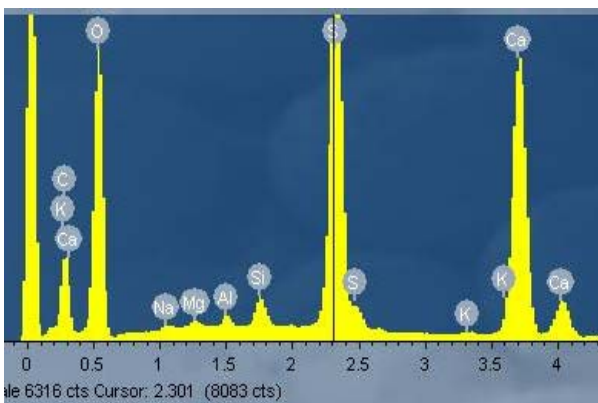


Fig. 26. EDS-analys av gipskristallen i figur 25.

6.3.3 Aggregat

Aggregat förekom i alla prover. Storleken varierade mellan 15 mikrometer och 600 mikrometer i de lösa jordproverna men förekom i större variant i strukturproverna. Aggregaten var mineraliserade och visade inga spår av att vara organiskt sammanhållna. De dominerande ämnena var kalcium, kisel och svavel. I vissa fall högre halter av aluminium, magnesium, och kalium. I några fanns låga halter klor men inte så mycket som förväntat i sediment där saltanrikning är ett problem. Med tanke på detta är det förvånande att natrium nästan inte förekom. Förvisso sköljdes marken med jämna mellanrum för att få ner saltanrikningen under 25 cm, men det är ändå väldigt låga värden. Matrix i aggregaten är likartad det som finns som en tunn halvtäckande grynig massa på de separata kornen.

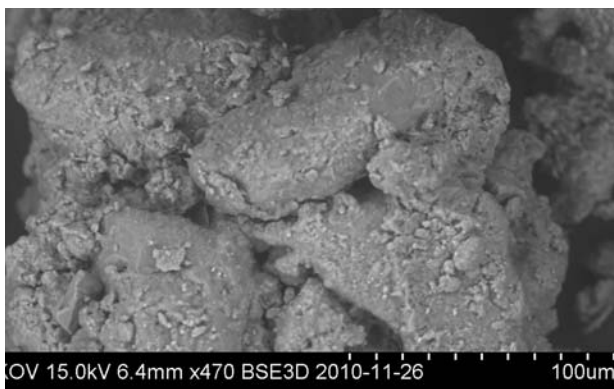


Fig. 29. Kiselkorn med mineraliserat matrix

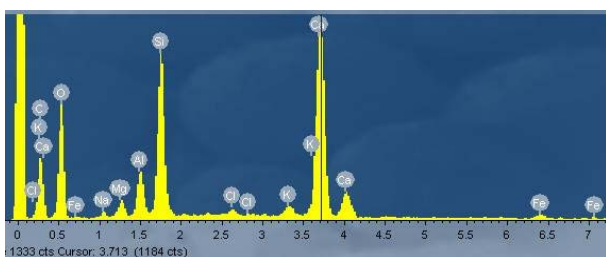


Fig. 30. EDS-analys av matrix i figur 29. Denna gång högre halt Ca än Si och innehåller även Al, K, Na, Cl och Fe.



Fig. 31. Stort aggregat.

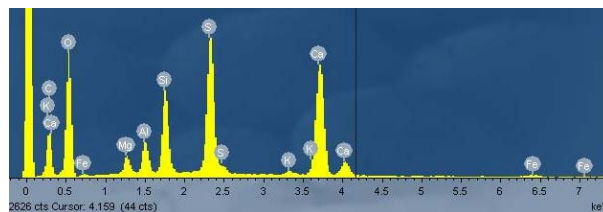


Fig. 32. EDS-analys för aggregatet i figur 31.

I aggregatet på bild 31 syns fragment av gips. EDS-analysen är från punkten som markerad med en vit kvadrat. Flera kristaller har en trasig struktur (markerat med vita pilar) och detta skulle kunna indikera att de är på väg att upplösas.

Strukturproverna gav bra tvärsnittsytor av aggregaten. EDS-analys av punkter inuti matrixen gav samma resultat som ytanalysen. Kisel, kalcium och svavel var alltså inte bara en ytbeläggning på matrix utan en stor beståndsdel rakt igenom.

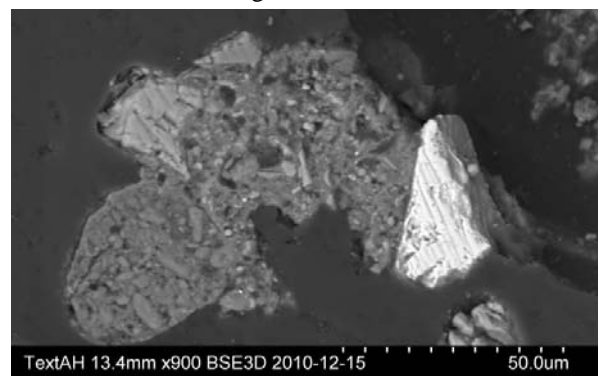


Fig. 33. Tvärsnitt av aggregat med två kristaller och matrix.

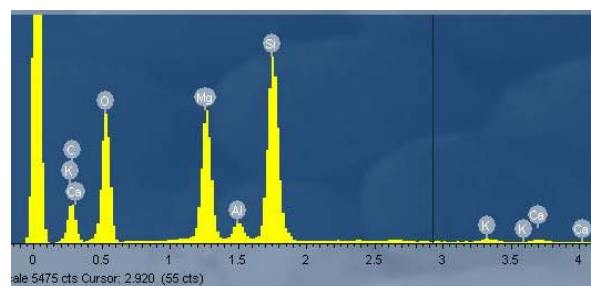


Fig. 34. Spektrum för matrix i figur 33.

Figur 33 är från ett av proverna ingjutna i epoxy (Atriplex halimus). Den ljusa triangelformade kristallen till höger på bild 33 är ett titanmineral. Kristallen uppe till vänster med alla sprickorna är kalcit. De är sammanfogade med ett matrix bestående av kisel, magnesium och aluminium. Det svarta jämna materialet runt aggregatet är epoxy. I högra hörnet har det varit en luftbubbla. Därför ser man extra dimension av titanmineralet som man inte hade sett om epoxyt hade fyllt ut hela porutrymmet.

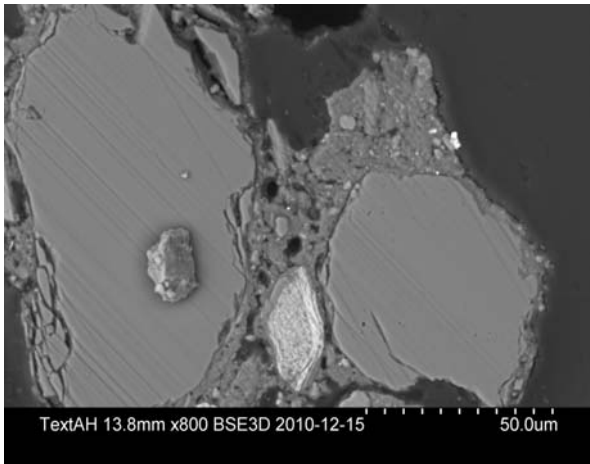


Fig. 35. Ljust titanmineral i matrix mellan två kvartskorn.

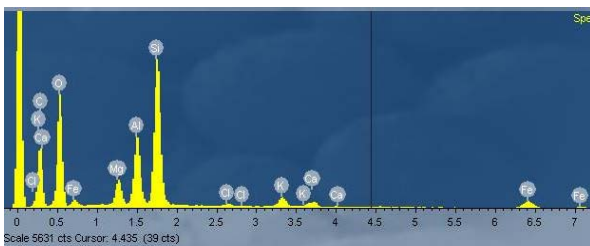


Fig. 36. Spektrum för matrix i figur 35.

Kvartskornen har mycket väl definierade gränser. Det vänstra kornet har sprickor i vänsterkanten och bitar har gått av. Detta kan vara krossador från sågningen. Kornen är sammanfogade med ett matrix med följande sammansättning:

7 Diskussion

7.1 LOI

Anovatestet visade att det inte var någon skillnad i halten organiskt kol mellan proverna. De kunde sägas ha samma medelvärde. Den enda skillnaden som har upptäckts är att medelvärden för alla grupperna är högre än vid den första markanalysen 1997 (se bilaga 1). De är också högre än FAOs jordutvärdering för veteproduktion i Tunisien där ökenområden ligger på 0.2 till 0.4% organiskt material och semi-arida områden något högre, 0.4 till 0.6%. För att jämföra dessa värden behövs de räknas om då total halt organiskt bundet kol enbart utgör 58 % av organiskt material (Schumacher 2002). Dock ger detta lägre värden för organiskt kol och skillnaden blir större mellan FAOs värden och mätvärdena i den här rapporten.

Felkällor vid den här undersökningen kan vara avgång av kristallint bundet vatten vid förbränningen. Dels kan leror ge ifrån sig vatten (marken innehöll 7 % mellan 0 och 25 cm 1997), men vatten kan också komma från gips. Gips släpper vatten i två steg. Först övergår gips till bassanit ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$). Detta sker mellan 95°C och 120°C . Vid temperaturer över 125°C släpper bassanit det sista vattnet och bildar anhydrit (CaSO_4) (Ballirano & Melis, 2009).

Förberedelsen för LOI var att torka proverna över natten i 105°C . Detta var över 8 timmar och räckte för att gipsen skulle övergå till bassanit. Dock fanns det fortfarande kvar en liten del vatten som inte släppte förrän vid 550°C . Därför visar sannolikt mätvärdena för organiskt kol också vattnet som avgick vid bildandet av anhydrit. Detta kan vara orsaken till skillnaden mellan mätvärdena i denna undersökning och den som utfördes 1997. Vilken metod som användes 1997 saknas det information om. Ursprungligen skulle en annan maskin ha använts vid analysen på Geocentrum men maskinen i fråga gick sönder under de första försöken. Denna maskin analyserade med hjälp av en koldioxid-detektor istället för vikt förlust och gipsinnehållet hade då inte varit en felkälla. Om projektet hade pågått längre hade en annan metod med ämnesseparation kunnat utföras.

Anovatestet för karbonaterna visade heller ingen skillnad mellan grupperna. Medelvärdena låg mellan 5.3 och 5.8%. Detta var en viss skillnad mot 1997 (9 %, se bilaga 1) men i analysen 1997 ser det ut som ett antagande att det bara fanns kalciumkarbonat i proverna. Om denna analys hade utgått från samma sak (och ignorerat förekomsterna av dolomit då Mg har atomvikten 12 till skillnad från 20 för Ca, se metod) hade medelvärdena varit likartade, 8,8% till 9.7%.

7.2 SEM och EC

Kornstorlekar, form, kemisk sammansättning och mineralförekomst var likartade i alla proverna. Den enda avvikelserna var att det verkade förekomma färre gipskristaller i proven från Atriplex halimus, men det har inte utförts någon kvantitativ undersökning av detta.

Strukturproverna visade inte på några organiska aggregat. I de lösa jordproverna förekom några som kunde vara organiskt sammanhållna. De var större och verkade sköra. Om de hade kunnat behandlas utan att falla isär kunde de ha gjutits in i epoxy och studeras. Arbetet med aggregat har därför helt fokuserats på de minerogena.

Den oorganiska beläggning som förekommer i större eller mindre mängd på alla korn och utgör matrix i aggregaten var intressant. De tre ämnen som förekom i störst mängd var kisel, kalcium och svavel. Det förekom också mindre mängder av aluminium, klor, kalium, järn o.s.v.. Halitkristaller förekom inte. Med tanke på den höga saliniteten i kontrollprovet, den pendlar mellan undre och övre gänsen för "strongly saline" (se tabell 4), så var förekomsten av natrium och klor låg. Natrium och klor kan ha varit nedspolat till en lägre nivå, under 25 cm eller så kan ämnena som gör marken salin i detta fall vara joner av kalcium, magnesium och sulfat (Government of Alberta 2001).

Salinity rating and electrical conductivity value					
Soil Depth	Non-Saline	Weakly Saline	Mod-erately Saline	Strongly Saline	Very Strongly Saline
0-60 cm (0-2 ft)	<2 ds/ m*	2-4 ds/m	4-8 ds/ m	8-16 ds/m	>16 ds/ m
60-120 cm(2-4 ft)	<4 ds/ m	4-8 ds/m	8-16 ds/m	16-24 ds/m	>24 ds/ m

* ds/m = decisiemens per metre.

Tabell 4: Salinitetstabell (Government of Alberta 2001).

För alla växtproverna var ds/m lägre än 4, för *Periploca laevigata* var den under 2 ds/m ner till 90cm. Alla växterna sänkte saliniteten i den närmst omgivande marken. Kanske skulle denna salinitetssänkning kunna användas för att odla någon annan växt (t.ex. vete under regnperioden, se bilaga 4) i samband med träden/buskarna. Dock kan saliniteten skifta mycket inom kort tid så fler analyser skulle behövas för att avgöra hur mycket den skiftar under en odlingsäsong.

8 Slutsatser

- *Acacia salicina* och *Periploca laevigata* hade de största skillnaderna i elektrisk konduktivitet i marken, *Acacia* hade högst halt och *Periploca* hade lägst. Alla växterna som testades hade lägre salthalt än kontrollprovet. *Atriplex halimus* testades inte.
- *Acacia salicina*, *Periploca laevigata*, *Atriplex halimus*, ovattnad kontroll och vattnad

kontroll testades för organiskt kol i marken på djupet 15 cm. En statistisk beräkning (one way Anova test) gjordes på resultaten. Inga signifikanta skillnader mellan växterna och mellan växterna och kontrollerna påvisades. Medelvärden var högre än tidigare undersökningar. Detta kan bero på rester av vatten i gips efter torkning vid 105°C. Istället för att torka till anhydrit fanns det bassanit kvar i proverna ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$). Att marken på försöksodlingen har en högre halt organiskt kol än ökenjordar generellt sett i Tunisien är fortfarande en möjlighet.

- Undersökningen av karbonathalten i proverna visade efter statistiska beräkningar att den var samma för alla proverna, ca 5,5%. Det förekom både kalcit och dolomit (CaCO_3 och $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).
- Enbart oorganiska aggregat upptäcktes i strukturproverna. Majoriteten av partiklar inbäddade i matrix var kvarts (SiO_2) och gipskristaller ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). De dominerande ämnena i matrix var Si, Ca och S. Lägre mängder av Al, Mg, K, Fe, Na och Cl förekom också. Det förekom också ett fåtal zirkoner, titanmineral och sekundära aluminiummineral.
- Det förekom Na och Cl i mindre mängder i proverna, men inga halitkristaller. Förekomsten av halitkristaller hade kunnat förväntas i saltstressad jord med kontinuerlig tillförsel och anrikning av salter. Frånvaron av dessa i proverna kan bero på nedspolning till en lägre nivå i markprofilen eller att den höga elektriska konduktiviteten berodde på att det förutom natrium och klor förekom höga mängder kalcium, magnesium och sulfater.

9 Tack

Tack till Leif Johansson, Håkan Wallander, Hafedh Nasr, Jalal, personalen på El Hicha & laboratoriet i Gabes, Dan Hammarlund, Åsa Wallin, Lena Adrielson, Helena Alexanderson och Sandy.

10 Referenser

- Bajji M., Kinet J-M. and Lutts, S., 2002: Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, and ion content of *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae). *Canadian Journal of Botany* 80, 297–304.
- Ballirano, P. & Melis, E., 2009: Thermal behaviour and kinetics of dehydration of gypsum in air from in situ real-time laboratory parallel-beam X-ray powder diffraction. *Phys Chem Minerals* 36, 391–402.
- Drake, N. A., Eckhardt, F. D. and White, K. H., 2004: Sources of sulphur in gypsiferous sediments and crusts and pathways of gypsum redistribution in southern Tunisia. *Earth Surface Processes and Landforms* 29, 1459–1471.
- FAO: Tunisia - FAO wheat database. Wheat production potential in Tunisia. <http://www.fao.org/ag/AGP/agpc/doc/field/Wheat/africa/tunisia/tunisiaagec.htm> 2011-01-15
- Frizon de Lamotte, D., Leturmy, P., Missenard, Y., Khomsi, S., Ruiz, G., Saddiqi, O., Guillocheau, F. & Michard, A., 2009: Mesozoic and Cenozoic vertical movements in the Atlas system (Algeria, Morocco, Tunisia): An overview. *Tectonophysics* 475, 9-28
- Gabtni, H., Jallouli, C. Mickus, K.L., Zouari, H., & Turki, M.M., 2009: Deep structure and crustal configuration of the Jeffara basin (Southern Tunisia) based on regional gravity, seismic reflection and borehole data: How to explain a gravity maximum within a large sedimentary basin? *Journal of Geodynamics* 47, 142-152.
- Government of Alberta. Agriculture and Rural Development. 2001
[www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex3303](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex3303) 2011-01-15
- Heiri, O., Lotter, A.F. & Lemcke, G., 2001: Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology* 25, 101-110.
- Krinsley, D.H., Pye, K., Boggs JR, S. & Tovey N.K., 2005: *Backscattered Scanning Electron Microscopy and Image Analysis of Sediments and Sedimentary Rocks*. Cambridge. Cambridge University Press.
- Morhange, C. & Pirazzoli, P. A., 2005: Mid-Holocene emergence of southern Tunisian coasts. *Marine Geology* 220, 205–213.
- Niknam, S.R. & McComb, J., 2000: Salt tolerance screening of selected Australian woody species - a review. *Forest Ecology and Management* 139, 1-19.
- Oueslati, A., 1992: Salt Marshes in the Gulf of Gabes (Southeastern Tunisia): Their Morphology and Recent Dynamics. *Journal of Coastal Research* 8, 727-733.
- Parida, A. K., & Das, A. B., 2005: Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60, 324–349.
- Pique, A., Tricart, P., Guiraud, R., Laville, E., Bouaziz, S., Armrhar, M. & Ouali, R.A., 2002: The Mesozoic-Cenozoic Atlas belt (North Africa): an overview. *Geodinamica Acta* 15, 185-208.
- Republic of Tunisia: Ministry of Agriculture. National Report 1997-1999. Sustainable Utilization of Saline Groundwater and Wastelands for Plant Production.
- Schumacher, B.A., 2002: Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. U. S. Environmental Protection Agency; www.epa.gov/esd/cmb/research/papers/bs116.pdf
- Simon, R.D., Abeliovich, A. & Belkin, S., 1994: A novel terrestrial halophilic environment: The phylloplane of *Atriplex halimus*, a salt-excreting plant. *FEMS Microbiology Ecology* 14, 99-110.
- The State of Queensland (Department of Natural Resources and Water), 2007.
www.derm.qld.gov.au/factsheets/pdf/land/1137.pdf 2011-01-15
- United States Department of Agriculture & Natural Resources Conservation Service. USDA: Soil Taxonomy, 2 uppl. 1999.

Bilagor

Table: Initial state of the soil characteristics at El Hicha (October 1997)

Depth (cm)	0-25	25-45	45-60	60-90	90-135	135-200
mineral fraction (%)						
Clay	7	10				
fine silt	3	2				
coarse silt	12	10				
fine sand	69	67				
coarse sand	7	9				
Saturation of the soil (%)	31	35	43	32	37	41
Organic matter (%)	0,89	0,38	0,41	0	0	0
Organic carbon (%)	0,52	0,22	0,24			
Nitrogen (%)	0,25	0,11	0,14			
Total: CaCO ₃ (%)	9	11	17	11	15	14
Gypsum (%)	1	1	27	58	48	45
K ₂ O avail. (ppm)	153	201	201			
P ₂ O ₅ avail. (ppm)	19	6	0			
pH	8,41	8,43	8,63	8,43	8,19	8,40
E.C	2,3	4,82	16,7	10,02	6,17	9,63
Salinity in soil solution (meq/l)	1,2	1,8	4,4	1,4	1,2	1,2
HCO ₃ ⁻	37,6	78,5	116,0	75,0	67,5	71,0
SO ₄ ⁻	2,0	5,0	115,0	70,0	30,0	60,0
Cl ⁻						
NO ₃ ⁻	12,0	14,0	11,0	16,0	18,0	16,6
Ca ⁺⁺	16,0	46,0	79,0	85,0	48,0	43,0
Mg ⁺⁺	10,0	24,0	147,0	70,0	31,2	65,5
Na ⁺	1,2	1,85	2,14	1,55	1,22	1,32
K ⁺						
Water content (%)						
pF 4.2	5	6	14	16	15	15
pF 4.5	7	9	20	23	21	20
Oligo-elements (meq/l)						
Cu	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0
Mn	6,4	3,9	1	0,4	0,4	0,6
Fe	2,3	1,6	1,6	1,6	1,6	2,3

The soil salinity was moderate to high near the soil surface and it increased in depth. Water table is located in the south-eastern Tunisia in the Gulf of Gabes, and has 100 km² in area. Water in the region of Gabes has a large amount of dissolved salts. The salinity of the water table at El hicha varies between 0.7 and 7.3 g/l, according to the presence of gypseous or saline water table.

The hydrogeological analyses have shown that the aquifers are formed by sandy layers belonging to the mio-pliocene tertiary, composed by two levels 0-50 m and 50-70 m depth.

prov	vikt bågare	vikt vått prov	vikt 105°C	vikt prov 105°C	Viktförlust %
PL1	18.2808	4.0744	22.3036	4.0228	1.27
PL2	21.3179	4.036	25.3004	3.9825	1.33
PL3	21.0836	4.1582	25.1814	4.0978	1.45
PL4	22.1676	4.0615	26.1415	3.9739	2.16
PL5	21.1238	4.193	24.9834	3.8596	7.95
CTI1	21.3759	4.0996	25.1136	3.7377	8.83
CTI2	21.125	4.0783	24.8966	3.7716	7.52
CTI3	20.5476	4.2023	24.1875	3.6399	13.38
CTI4	20.986	4.1067	25.0472	4.0612	1.11
CTI5	21.9077	4.1009	25.9328	4.0251	1.85
AS1	21.7185	4.1348	25.4266	3.7081	10.32
AS2	20.3762	4.2655	24.313	3.9368	7.71
AS3	20.9929	4.0931	24.6507	3.6578	10.63
AS4	21.3911	4.1401	25.2832	3.8921	5.99
AS5	21.5105	4.1844	25.3562	3.8457	8.09
AH1	21.0792	4.0146	25.044	3.9648	1.24
AH2	20.8228	4.2168	24.9742	4.1517	1.54
AH3	20.5561	4.1015	24.3513	3.7952	7.47
AH4	20.5525	4.247	24.6078	4.0553	4.51
AH5	20.9699	4.1317	24.9913	4.0214	2.67
CT1	20.3581	4.266	24.1897	3.8316	10.18
CT2	21.6099	4.1913	25.7242	4.1143	1.84
CT3	20.2502	4.2434	24.1751	3.9249	7.51
CT4	21.6149	4.1071	25.4853	3.8704	5.76
CT5	15.3899	4.1587	19.2502	3.8603	7.18

Bilaga 2: Förberedande LOI vikter.

prov nr	vikt 550°C	vikt prov 550°C	procent organiskt kol	vikt 925°C	vikt prov 925°C	% viktförlust 925°C	% karbonater
PL1	22.2254	3.9446	1.94	22.0521	3.7713	4.3	5.85
PL2	25.234	3.9161	1.67	25.0949	3.777	3.49	4.75
PL3	25.101	4.0174	1.96	24.9252	3.8416	4.29	5.83
PL4	26.0733	3.9057	1.72	25.9189	3.7513	3.89	5.29
PL5	24.898	3.7742	2.21	24.7356	3.6118	4.21	5.73
CT11	24.9333	3.5574	4.82	24.7735	3.3976	4.28	5.82
CTI2	24.8334	3.7084	1.68	24.7316	3.6066	2.7	3.67
CTI3	24.0309	3.4833	4.3	23.8266	3.279	5.61	7.63
CTI4	24.9647	3.9787	2.03	24.8083	3.8223	3.85	5.24
CTI5	25.8043	3.8966	3.19	25.6463	3.7386	3.93	5.34
AS1	25.3403	3.6218	2.33	25.2398	3.5213	2.71	3.69
AS2	24.1635	3.7873	3.8	23.9696	3.5934	4.93	6.7
AS3	24.5672	3.5743	2.28	24.4555	3.4626	3.05	4.15
AS4	25.1235	3.7324	4.1	24.9401	3.549	4.71	6.41
AS5	25.2071	3.6966	3.88	25.0227	3.5122	4.79	6.51
AH1	24.9778	3.8986	1.67	24.8194	3.7402	4	5.44
AH2	24.8722	4.0494	2.46	24.699	3.8762	4.17	5.67
AH3	24.2518	3.6957	2.62	24.0754	3.5193	4.65	6.32
AH4	24.484	3.9315	3.05	24.3087	3.7562	4.32	5.88
AH5	24.8421	3.8722	3.71	24.6741	3.7042	4.18	5.68
CT1	24.0139	3.6558	4.59	23.8328	3.4747	4.73	6.43
CT2	25.6006	3.9907	3	25.4425	3.8326	3.84	5.22
CT3	24.0453	3.7951	3.3	23.9075	3.6573	3.51	4.77
CT4	25.3762	3.7613	2.82	25.2159	3.601	4.14	5.63
CT5	19.1328	3.7429	3.04	19.003	3.6131	3.36	4.57

Bilaga 3: LOI resultat

Salt tolerance of various types of plants				
Salt Tolerance EC (ds/m)	Field Crops	Forages	Vegetables	Trees, Shrubs
Very High 20		beardless wildrye fulks altai grass levonns alkaligrass alkali sucatan		
High 16	kochia sugar beets	altai wildrye tall wheatgrass Russian wildrye slender wheat grass		Siberian salt tree sea buckthorn silver buffaloberry
8	6-row barley safflower sunflower 2-row barley fall rye winter wheat spring wheat	birdsfoot trefoil sweetclover alfalfa bromegrass	garden beets asparagus spinach	hawthorn Russian olive American elm Siberian elm villosa lilac laurel leaf willow
Moderate	oats yellow mustard	crested wheatgrass intermediate wheatgrass	tomatoes broccoli	spreading juniper poplar
	meadow fescue flax canola	reed canary grass	cabbage	ponderosa pine apple mountain ash
4	corn		sweet corn potatoes	common lilac Siberian crab apple Manitoba maple Viburnum
Low	timothy peas field beans	white dutch clover alsike clover red clover	carrots onions strawberries peas beans	Colorado blue spruce rose Douglas fir balsam fir cottonwood aspen, birch raspberry
0				black walnut dogwood little-leaved linden winged euonymus spirea larch

Bilaga 4: Government of Alberta, 2001

**Tidigare skrifter i serien
”Examensarbeten i Geologi vid Lunds
Universitet”:**

228. Lindvall, Hanna, 2008: Kortvariga effekter av tefranedfall i lakustrin och terrestrisk miljö. (15 hskp)
229. Löfroth, Elin, 2008: Are solar activity and cosmic rays important factors behind climate change? (15 hskp)
230. Damberg, Lisa, 2008: Pyrit som källa för spårämnen – kalkstenar från övre och mellersta Danien, Skåne. (15 hskp)
331. Cegrell, Miriam & Mårtensson, Jimmy, 2008: Resistivity and IP measurements at the Bolmen Tunnel and Ådalsbanan, Sweden. (30 hskp)
232. Vang, Ina, 2008: Skarn minerals and geological structures at Kalkheia, Kristiansand, southern Norway. (15 hskp)
233. Arvidsson, Kristina, 2008: Vegetationen i Skandinavien under Eem och Weichsel samt fallstudie i submoräna organiska avlagringar från Nybygget, Småland. (15 hskp)
234. Persson, Jonas, 2008: An environmental magnetic study of a marine sediment core from Disko Bugt, West Greenland: implications for ocean current variability. (30 hskp)
235. Holm, Sanna, 2008: Titanium- and chromium-rich opaque minerals in condensed sediments: chondritic, lunar and terrestrial origins. (30 hskp)
236. Bohlin, Erik & Landen, Ludvig, 2008: Geofysiska mätmetoder för prospektering till ballastmaterial. (30 hskp)
237. Brodén, Olof, 2008: Primär och sekundär migration av hydrokarboner. (15 hskp)
238. Bergman, Bo, 2009: Geofysiska analyser (stängslingram, CVES och IP) av lagerföljd och lakvattenrörelser vid Albäcksdeponin, Trelleborg. (30 hskp)
239. Mehlqvist, Kristina, 2009: The spore record of early land plants from upper Silurian strata in Klinta 1 well, Skåne, Sweden. (45 hskp)
239. Mehlqvist, Kristina, 2009: The spore record of early land plants from upper Silurian strata in Klinta 1 well, Skåne, Sweden. (45 hskp)
240. Bjärnberg, Karolina, 2009: The copper sulphide mineralization of the Zinkgruvan deposit, Bergslagen, Sweden. (45 hskp)
241. Stenberg, Li, 2009: Historiska kartor som hjälp vid jordartsgeologisk kartering – en pilotstudie från Vångs by i Blekinge. (15 hskp)
242. Nilsson, Mimmi, 2009: Robust U-Pb baddeleyite ages of mafic dykes and intrusions in southern West Greenland: constraints on the coherency of crustal blocks of the North Atlantic Craton. (30 hskp)
243. Hult, Elin, 2009: Oligocene to middle Miocene sediments from ODP leg 159, site 959 offshore Ivory Coast, equatorial West Africa. (15 hskp)
244. Olsson, Håkan, 2009: Climate archives and the Late Ordovician Boda Event. (15 hskp)
245. Wollein Waldetoft, Kristofer, 2009: Sveko-fennisk granit från olika metamorfa miljöer. (15 hskp)
246. Månsby, Urban, 2009: Late Cretaceous coprolites from the Kristianstad Basin, southern Sweden. (15 hskp)
247. MacGimpsey, I., 2008: Petroleum Geology of the Barents Sea. (15 hskp)
248. Jäckel, O., 2009: Comparison between two sediment X-ray Fluorescence records of the Late Holocene from Disko Bugt, West Greenland; Paleoclimatic and methodological implications. (45 hskp)
249. Andersen, Christine, 2009: The mineral composition of the Burkland Cu-sulphide deposit at Zinkgruvan, Sweden – a supplementary study. (15 hskp)
250. Riebe, My, 2009: Spinel group minerals in carbonaceous and ordinary chondrites. (15 hskp)
251. Nilsson, Filip, 2009: Förorenings-spridning och geologi vid Filborna i Helsingborg. (30 hskp)
252. Peetz, Romina, 2009: A geochemical characterization of the lower part of the Miocene shield-building lavas on Gran Canaria. (45 hskp)
253. Åkesson, Maria, 2010: Mass movements as contamination carriers in surface water systems – Swedish experiences and risks.
254. Löfroth, Elin, 2010: A Greenland ice core perspective on the dating of the Late Bronze Age Santorini eruption. (45 hskp)
255. Ellingsgaard, Óluva, 2009: Formation Evaluation of Interlava Volcaniclastic

- Rocks from the Faroe Islands and the Faroe-Shetland Basin. (45 hskp)
256. Arvidsson, Kristina, 2010: Geophysical and hydrogeological survey in a part of the Nhandugue River valley, Gorongosa National Park, Mozambique. (45 hskp)
257. Gren, Johan, 2010: Osteo-histology of Mesozoic marine tetrapods – implications for longevity, growth strategies and growth rates. (15 hskp)
258. Syversen, Fredrikke, 2010: Late Jurassic deposits in the Troll field. (15 hskp)
259. Andersson, Pontus, 2010: Hydrogeological investigation for the PEGASUS project, southern Skåne, Sweden. (30 hskp)
260. Noor, Amir, 2010: Upper Ordovician through lowermost Silurian stratigraphy and facies of the Borenshult-1 core, Östergötland, Sweden. (45 hskp)
261. Lewerentz, Alexander, 2010: On the occurrence of baddeleyite in zircon in silica-saturated rocks. (15 hskp)
262. Eriksson, Magnus, 2010: The Ordovician Orthoceratite Limestone and the Blommiga Bladet hardground complex at Horns Udde, Öland. (15 hskp)
263. Lindskog, Anders, 2010: From red to grey and back again: A detailed study of the lower Kundan (Middle Ordovician) 'Täljsten' interval and its enclosing strata in Västergötland, Sweden. (15 hskp)
264. Rääf, Rebecka, 2010: Changes in beyrichiid ostracode faunas during the Late Silurian Lau Event on Gotland, Sweden. (30 hskp)
265. Petersson, Andreas, 2010: Zircon U-Pb, Hf and O isotope constraints on the growth versus recycling of continental crust in the Grenville orogen, Ohio, USA. (45 hskp)
266. Stenberg, Li, 2010: Geophysical and hydrogeological survey in a part of the Nhandugue River valley, Gorongosa National Park, Mozambique – Area 1 and 2. (45 hskp)
267. Andersen, Christine, 2010: Controls of seafloor depth on hydrothermal vent temperatures - prediction, observation & 2D finite element modeling. (45 hskp)
268. März, Nadine, 2010: When did the Kalahari craton form? Constraints from baddeleyite U-Pb geochronology and geo-chemistry of mafic intrusions in the Kaapvaal and Zimbabwe cratons. (45 hskp)
269. Dyck, Brendan, 2010: Metamorphic rocks in a section across a Svecnorwegian eclogite-bearing deformation zone in Halland: characteristics and regional context. (15 hskp)
270. McGimpsey, Ian, 2010: Petrology and lithochemochemistry of the host rocks to the Nautanen Cu-Au deposit, Gällivare area, northern Sweden. (45 hskp)
271. Ulmius, Jan, 2010: Microspherules from the lowermost Ordovician in Scania, Sweden – affinity and taphonomy. (15 hskp)
272. Andersson, Josefin, Hybertsen, Frida, 2010: Geologi i Helsingborgs kommun – en geoturistkarta med beskrivning. (15 hskp)
273. Barth, Kilian, 2011: Late Weichselian glacial and geomorphological reconstruction of South-Western Scania, Sweden. (45 hskp)
274. Mashramah, Yaser, 2011: Maturity of kerogen, petroleum generation and the application of fossils and organic matter for paleotemperature measurements. (45 hskp)
275. Vang, Ina, 2011: Amphibolites, structures and metamorphism on Flekkerøy, south Norway. (45 hskp)
276. Lindvall, Hanna, 2011: A multi-proxy study of a peat sequence on Nightingale Island, South Atlantic. (45 hskp)
277. Bjerg, Benjamin, 2011: Metodik för att förhindra metanemissioner från avfallsdeponier, tillämpad vid Albäcksdeponin, Trelleborg. (30 hskp)
278. Pettersson, Hanna, 2011: El Hicha – en studie av saltstappsediment. (15 hskp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska enheten
 Institutionen för geo- och ekosystemvetenskaper
 Sölvegatan 12, 223 62 Lund