



Die karst-ekologie van die Bakwenagrot (Gauteng)

Authors:

François Durand¹
Antoinette Swart²
Werner Marais¹
Candice Jansen van Rensburg³
Johan Habig²
Ansie Dippenaar-Schoeman^{2,4}
Eddie Ueckermann²
Riana Jacobs²
Louis De Wet⁵
Louwrens Tiedt⁶
Eduard Venter⁷

Affiliations:

¹Department of Zoology,
University of Johannesburg,
South Africa

²Biosystematics Division, Plant
Protection Research Institute,
Agricultural Research Council,
Queenswood, South Africa

³Department of Zoology and
Entomology, University of the
Free State, South Africa

⁴Department of Zoology and
Entomology, University of
Pretoria, South Africa

⁵Waterlab, Persegor Park,
Pretoria, South Africa

⁶Laboratory for Electron
Microscopy, North-West
University, Potchefstroom
Campus, South Africa

⁷Department of Botany
and Plant Biotechnology,
University of Johannesburg,
South Africa

Correspondence to:
François Durand

Email:
francois.karst@yahoo.com

Postal address:
PO Box 524, Auckland Park
2006, South Africa

Dates:
Received: 31 Oct. 2011
Accepted: 25 May 2012
Published: 27 July 2012

How to cite this article:
Durand, F. Swart, A., Marais,
W., Jansen van Rensburg,
C., Habig, J., Dippenaar-
Schoeman, A., et al., 2012,
'Die karst-ekologie van die
Bakwenagrot (Gauteng)',
*Suid-Afrikaanse Tydskrif
vir Natuurwetenskap en
Tegnologie* 31(1), 17 pages.
<http://dx.doi.org/10.4102/satnt.v31i1.275>

Die Bakwenagrot huisves 'n verskeidenheid organismes wat 'n ingewikkelde en verweefde voedselweb vorm. 'n Kolonie Natalse langvingervlermuise gebruik hierdie grot regdeur die jaar as blyplek. Die vlermuiscguano en dooie plantmateriaal wat van buite in die grot inval, vorm die basis van die ekologie in die grot wat ook as 'n tipiese detritus-gedrewe ekosisteel beskryf kan word. Afbrekers soos bakterieë en swamme wat vir die afbraak van die guano en plantreste verantwoordelik is, word deur 'n verskeidenheid organismes, insluitend nematode en myte, as voedselbron benut. Hierdie organismes wat die volgende trofiese vlak vorm, word deur predatoriese artropode as voedselbron benut. Die Bakwenagrot is een van die weinige dolomietiese grotte in Suid-Afrika wat dit vir 'n mens moontlik maak om tot by die grondwatervlak te kom. Die grondwater huisves verskeie tipes organismes waaronder bakterieë, swamme en diere – hoofsaaklik nematode en krustaseë. Die Bakwenagrot is ook die hoofvindplek waar varswater-amfipode in Suider-Afrika gevind is. Hierdie besondere en sensitiewe ekosisteel is hoofsaaklik van guano van die vlermuiskolonie afhanklik. Die grasveld in die gebied rondom die grot, wat as voedingsarea vir die vlermuiskolonie dien, word tans deur voorstedelike ontwikkeling en die gevolglike habitatfragmentasie en -vernietiging bedreig. Indien die vlermuise die grot sou verlaat, sal dit 'n hele domino-effek van uitsterwing van die grotbewonende organismes tot gevolg hê.

The karst ecology of the Bakwena Cave (Gauteng). The Bakwena Cave houses a variety of organisms that form an intricate and interdependent food web. This cave is utilised as a permanent roost by a colony of Natal clinging bats. The bat guano and allochthonous plant material that fall into the cave from outside, form the basis of the ecology inside the cave which may be considered a typical example of a detritus ecosystem. Decomposers such as bacteria and fungi are responsible for the decay of the guano and plant detritus which, in turn, are utilised by several organisms, including nematodes and mites, as food source. These animals form the next trophic level which is utilised by predatory arthropods as food source. The Bakwena Cave is one of the few dolomitic caves in South Africa that provide access to the water table. The groundwater houses several types of organisms, including bacteria, fungi and animals – primarily nematodes and crustaceans. The Bakwena Cave is also the type locality for freshwater amphipods in Southern Africa. This unique and sensitive ecosystem is primarily dependent on bat guano. The grassland surrounding the cave is utilised by the bats as foraging area and is currently threatened by urban development and the resulting habitat fragmentation and destruction. A cascade of extinctions of the cave-dwelling organisms will follow if the bats abandon the cave.

Inleiding

Die Bakwenagrot kom in die dolomietiese gesteentes op die Irene-kampus van die Landbounavorsingsraad voor (S25°53'53.3" O28°13'19.8") en is 'n sinkgat wat ondergrondse kamers met die oppervlak verbind (Figuur 1). Twee sykamers word deur tunnels met die hoofkamer verbind. Die kamers het as oplossingsruimtes tussen die gesteentelae gevorm en die oriëntasie van die kamers en van die langer tunnels kom met die oostelike helling van 13° van die gesteentelae ooreen (Figuur 2). Die oostelike tunnel, wat 22 m lank is en wat uit die hoofkamer lei, is verbind met 'n kamer wat gedeeltelik onder water is terwyl die ander tunnels opwaarts in 'n westelike rigting strek.

Die eerste stigobitiese (grondwaterbewonende) amfipode in Suid-Afrika is deur mnr. J. Hewitt van die Albany Museum en eerwaarde N. Roberts in die Bakwenagrot ontdek (Methuen 1911a, 1911b). Die grot-ekologie is 'n tipiese detritus-ekosisteel waarin die bakterieë en swamme 'n belangrike rol speel in die afbraak van die vlermuiscguano en die plantreste wat van buite af inspoel. Daar is tot dusver bykans geen navorsing oor bakterieë en swamme wat in Suid-Afrikaanse grotte

© 2012. The Authors. Licensee: AOSIS OpenJournals. This work is licensed under the Creative Commons Attribution License.



voorkom, gedoen nie en dus is die omvang van hulle rol in die ekosisteem feitlik onbekend. Die Bakwenagrot huisves ook 'n verskeidenheid vlermuise en invertebrate, insluitend arachniede, insekte, nematode en krustaseë.

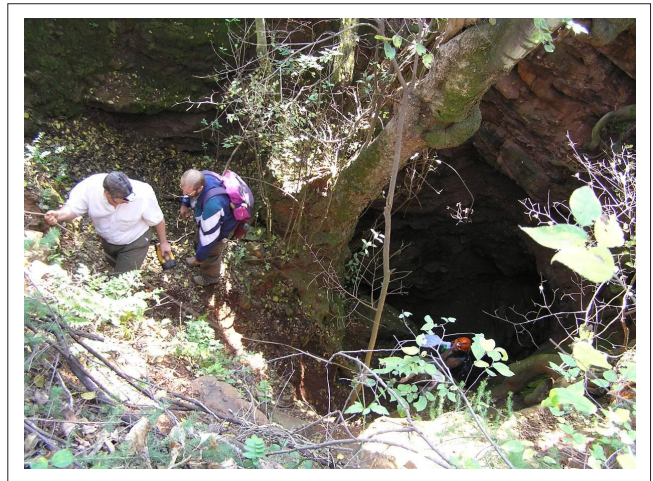
Alhoewel die hele grotstelsel organismes huisves, kom die grootste konsentrasie en diversiteit organismes in die hoofkamer (Figuur 3), een sykamer (Figuur 4) en die grondwater (Figuur 7) voor. Hierdie konsentrasie gaan gepaard met die verspreiding van voedingstowwe in die grot wat hoofsaaklik uit guano en plantreste bestaan. Hierdie voedingstowwe word deur bakterieë en swamme in die vadose sone (die ondergrondse sone bo die grondwatervlak) en die freatische sone (die ondergrondse sone onder die grondwatervlak) afgebreek.

Die doelstelling van hierdie studie was om die karst-ekologie van die Bakwenagrot te bestudeer. Dit sal daartoe bydra dat omvattende kennis opgebou word oor die biologiese verskeidenheid wat tans in die grot voorkom. Hierdie inligting sal dit vir natuurbewaringsliggame moontlik maak om beter riglyne vir die bewaring van karst-ekosisteme op te stel, aangesien sulke bewaringsriglyne nog nie bestaan nie. Die inligting sal ook in die toekoms benut word om afleidings te maak oor hoe voorstedelike ontwikkeling wat in die gebied voorkom hierdie unieke ekosisteem kan beïnvloed.

Materiaal en metodes

Die vlermuise en artropode van die Bakwenagrot is vanaf 2005 sporadies bestudeer, maar in 2009 is die Suid-Afrikaanse Karst-ekologiestudiegroep (SAKES) op die been gebring om 'n sistematiese studie van die karst-ekologie van die Bakwenagrot te doen. 'n Voorlopige studie is in 2008 met kwartaallikse besoeke aan die grot geloods. Die diversiteit van organismes, die wisselvalligheid van die voorkoms en gedrag van die organismes en die kompleksiteit van die voedselweb het tot 'n meer gedetailleerde studie aanleiding gegee, wat tussen Januarie 2009 en Mei 2010 uit maandelikse besoeke aan die grot bestaan het. Die studiegroep het die voorkoms en gedrag van die vlermuise, nematode, grondwaterbewonende artropode, insekte, myte, swamme en bakteriese aktiwiteit in die grot bestudeer. Die abiotiese faktore soos die chemiese samestelling van die grond en rotsformasies en opgeloste stowwe in die grondwater is met behulp van induktief-gekoppelde plasmamassa-spektrometrie bepaal en die pH van die water is met 'n Hach pH meter gemeet. Die temperatuur en humiditeit van die grot is deurentyd met Logtag dataopnemers gemonitor. Die temperatuur- en humiditeitslesings van die hoof- en sykamer is vir die duur van die studie elke twee uur geneem. Die data is met elke besoek aan die grot op 'n rekenaar afgelaai.

Amfipode is vir identifikasiedoeleindes met 'n groen handnetjie versamel. Die wit amfipode kontrasteer met die groen net, wat dit maklik maak om hulle raak te sien. Die spinnekoppe en guanomotte is met behulp van 'n klein verfkwasie versamel. Die organismes wat vir identifikasiedoeleindes gevang is, is in 25-mL monsterbotteltjies met 70% gebufferde alkohol bewaar.



Bron: Foto geneem deur Louise Kritzing

FIGUUR 1: Sinkgat wat die ingang van die Bakwenagrot vorm.

Vlermuise is maandeliks met 'n handnet gevang om die spesie te identifiseer en om die verhouding tussen die getal mannetjies en wyfies te bepaal. Die handnet is gebruik terwyl die kolonie nog in 'n groep teen die grot se dak gesit het, sodat die maksimum aantal vlermuise op 'n slag gevang kan word voordat die groep uitmekaarspat. Vyf *Miniopterus natalensis* vlermuise (mannetjies en wyfies) is met CO₂ gedood. Die dermkanale van hierdie vlermuise is verwyder en vir die teenwoordigheid van nematode ondersoek.

Materiaal vir nematode-ekstrasies is by ses verskillende lokaliteite in die grot geneem:

1. onder varings en mosse teen die kante van die ingang (dagligsone)
2. die vloer van die hoofkamer (skemersone)
3. droë vlermuiguano van die vloer van die hoofkamer (skemersone)
4. vars guano uit een van die sykamers (totaal donker)
5. die bodem van die ondergrondse poel (totaal donker)
6. die vloer van die sykamer (totaal donker).

Die lokaliteite is so gekies omdat die dagligsone van 'n grot gewoonlik die grootste verskeidenheid diere onderhou. Die skemersone met sy wisselende temperatuur onderhou 'n hele paar spesies, waarvan sommige ook sporadies na buite beweeg, terwyl die donker sone wat gekenmerk word deur totale donkerte en konstante temperatuur 'n kleiner aantal spesies huisves.

Grond en guano vir nematode-ekstrasie is met behulp van 'n tuingrafie versamel en in plastieksakkies in 'n koelhouer geplaas. Watermonsters is met behulp van 'n skepparaat geneem en in digsluitende plastiekhouders in 'n koelhouer geplaas. Ekstrasies van nematode uit water- en grondmonsters is met behulp van die sif-suiker-flottasietegniek gedoen, terwyl die guano met behulp van die gewysigde Baermann-tretertegniek onttrek is (Kleynhans 1999). Die nematode wat uit die ekstrasies en die vlermuise verkry is, is met die gewone metodes gefikseer en vir bestudering op onderskeidelik Cobb-plaatjies en glasplaatjies gemonteer (Kleynhans 1999).



In die nematood-gemeenskapsanalise is die genera wat geklassifiseer is volgens voedingstipes (Yeates *et al.* 1993) en c-p-waardes (koloniseerder-volharder) aan elkeen toegeken na gelang van hul r- of K-lewenstrategieë (Bongers 1990, 1999). Hierdie waardes is gebruik om die Rypheidsindeks (Maturity Index) of MI as maatstaf van die omgewingversteurings binne die grot te bereken. Die genusdata is ook gebruik om die diversiteit as aantal spesies per monster (S), die Shannon-Wiener diversiteitsindeks (H'), sowel as die Hill's N_∞ (Hill 1973) te bepaal. Gelykheid is bereken deur gebruik te maak van Pielou se J ($J' = H' / \log S$) (Pielou 1975).

Die materiaal vir ekstraksies van myte is saam met die nematologiemaatstaf versamel. Die guano is op 'n sif met 'n maasgrootte van 6 mm in 'n Berlese tregter geplaas. Hitte van bo is met behulp van 'n termostaat geleidelik verhoog om die guano uit te droog, wat tot gevolg gehad het dat die myte afwaarts deur die sif beweeg het en in die tregter beland het. Aan die onderpunt van die tregter is 'n houertjie met 70% etanol vasgemaak waarin die myte uiteindelik beland het. Die myte is hierna met behulp van 'n stereomikroskoop uit die etanol verwyder, in 85% melksuur verhelder en in 'n montermedium (Polivenielalkoholmengsel, PVA) gemonteer vir identifikasie onder 'n navorsingsmikroskoop.

Die evaluering van die swampopulasie in die Bakwenagrot het gefokus op die fraksie van die swampopulasie wat op gedefinieerde groeimedia gekweek kan word. Isolatie het behels dat 5 g nat organiese materiaal op selektiewe media soos aartappelwortelagar met antibiotika en selektiewe *Fusarium* medium uitgeplant is (Nelson, Tousson & Marasas 1983). Die antibiotika beperk die groei van bakterieë wat ook op die materiaal voorkom. Die gebruik van selektiewe media bevoordeel sekere swamgenera se groei, terwyl dit terselfdertyd die groei van ander inperk en so ook die kans om verteenwoordigers van alle swamgenera wat teenwoordig is, te isoleer. Na die isolasie van reinkulture is enkelspoorkolonies van die swamme gemaak om te verseker dat daar verder met 'n enkele genetiese entiteit gewerk word. Die spore en hifes is daarna as 'n gliserolsuspensie by ultralae temperature van -80°C gestoor.

Basispaaropeenvolgingsbepalingen strepieskode-identifikasie as deel van die aanvanklike opname is op 'n geselekteerde aantal isolate gedoen. DNS is uit die enkelspoorkolonies gehaal deur van die *Plant Dneasy* (Qiagen) ekstraheringsmetode gebruik te maak. Die geengebied tussen die klein en groot subeenhede van die ribosomale DNS van hierdie isolate is deur die PCR-reaksie vermeerder deur gebruik te maak van die ITS1- en ITS4-inleiers en standaardreaksietoestande (White *et al.* 1995). Die basispaaropeenvolgingsbepaling is volgens standaardreaksietoestande op 'n *ABI DNA Analyser* (Applied Biosystems) gedoen. 'n Databasissoektog is met die basispaarvolgordes gedoen en na afloop van bogenoemde proses is die onbekende isolate se basispaaropeenvolging in 'n *BLAST*-analise by GenBank vergelyk (Altschull *et al.* 1990). Dit het 'n aanvanklike identifikasie gegee van die isolate wat verder gebruik kon word om 'n filogenetiese analise te doen.

Die bakterieë in die grondwater is met behulp van die *Colilert* (IDEXX) metode geanaliseer. Grond en guano vir

bakteriese koolstofbronverbruik- en diversiteitsontleding is versamel soos vir nematood-ekstraksies. Die monsters is voor ontleding by 5°C gestoor. Ter voorbereiding vir ontledings is die monsters met steriele gedistilleerde water gemeng en tot 'n finale 1:3000 verdunning gebring (Buyer & Drinkwater 1997). Hierdie verdunning is gevolglik in die *Biolog EcoPlate* (Biolog Inc., Hayward, VSA) geïnokuleer. *Biolog EcoPlate* bevat 31 putjies (in triplikaat), elk gevul met 'n verskillende koolstofbron en 'n redokskleurstof wat verander van kleurloos na pers soos die koolstofbron deur die bakterieë verbruik word; die kontroleputjie bevat geen koolstofbron nie. Die geïnokuleerde *Ecoplate* is daarna by 28°C geïnkubeer en die optiese digtheid oor 'n tydperk van sewe dae by 590 nm bepaal ter berekening van die gemiddelde putjiekleurontwikkeling (Winding & Hendriksen 1997). Die bakteriese funksionele diversiteit is bepaal deur gebruik te maak van die aantal en die variasie in verbruikte koolstofbronne (Garland & Mills 1991) as indikatore van bakteriese diversiteit (Shannon-Weaver diversiteitsindeks [H']) en die teenwoordigheid van bakteriese spesies binne betrokke monsters (Gelykheidsindeks [E]), onderskeidelik (Magurran 1988).

Etiese konsiderasie

Al die projekte by die Universiteit van Johannesburg is onderworpe aan goedkeuring deur die Universiteit se etiese komitee. 'n Permit (CPF6-0017) is verkry by die Natuurbewaringsraad en toegeken aan Werner Marais, vir die doodmaak en versamel van 'n beperkte getal vlermuise, vir navorsingsdoeleindes vir sy PhD projek.

Resultate

Abiotiese waarnemings

Geologie en geomorfologie

Die Bakwenagrot kom in dolomitiese gesteentes voor wat deel vorm van die Malmani-subgroep van die Chuenespoort-groep van die Transvaal-supergroep. Die dolomiet is na beraming tussen 2.4 en 2.6 miljard jaar oud. Geen vloeiendeformasies soos stalaktiete of stalagmite kom in die grot voor nie.

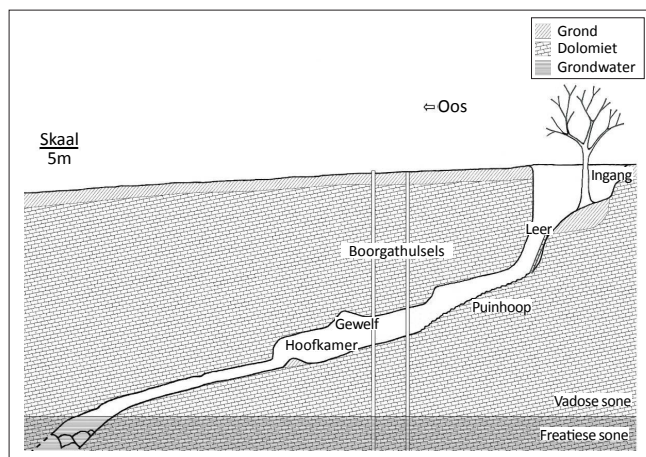
Die ingang na die Bakwenagrot kom binne-in 'n boomgroep voor wat hoofsaaklik uit *Celtis africana* bestaan. 'n Groot witsinkhout groei in die middel van die tregtervormige ingang wat ongeveer 11.5 m op die oos-wes-as breed is en 9 m op die noord-suid-as breed is (Figuur 1 en Figuur 2).

Op die onderpunt van die tregtervormige ingang, 9 m onder die grondoppervlak, is die opening van 'n vertikale skag wat in die hoofkamer open (Figuur 3). 'n Vyfmeterlange metaalleer is jare gelede in die skag aangebring. Die leer staan op die bopunt van 'n puinhoop wat na onder in 'n oostelike rigting hel. Die grot verbreed van hierdie punt af tot in die hoofkamer. Die hoofkamer is ongeveer 21 m lank op die oos-wes-as en 15 m breed op die noord-suid-as. Die dakhoopte van die grot wissel van 1.5 m tot ongeveer 4 m. Die gewelf in die middel van die grot is nog 3 m hoër as die omliggende dakhoopte.

Drie tunnels kom in die suidwestelike hoek van die hoofkamer voor. Die middelste tunnel is met 'n groot sykamer van 12 m (oos-wes) by 6.5 m (noord-suid) verbind (Figuur 4). Hierdie sykamer se dak is ongeveer 10 m hoog. Die mees suidwestelike tunnel lei na 'n kleiner kamer van 10 m (oos-wes) by 5 m (noord-suid). 'n Lang en baie nou tunnel strek teen ongeveer 13° opwaarts in 'n westelike rigting vanuit hierdie kamer en is weens sy engte nie verder ondersoek nie. 'n Kompleks van tunnels is onder hierdie kamer teenwoordig.

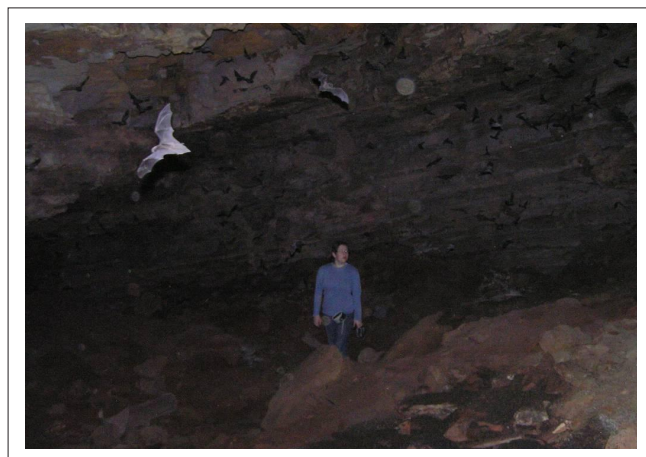
'n Tunnel wat twee-en-twintig meter lank is, strek vanuit die mees oostelike hoek van die hoofkamer ooswaarts ondertoe teen 'n helling van 13°. Op grondwatervlak verbreed die tunnel in 'n kamer wat grotendeels onder water is (Figuur 7). Weens die logistieke beperkings was dit nie moontlik om die grootte van hierdie onderwaterkamer te bepaal nie. Die oriëntasie van die kamers en die tunnels weerspieël die 13°C helling van die dolomietiese lae in die omgewing. Dit blyk dat die Bakwenagrot-sisteem deel van 'n groter uitgebreide netwerk van oplossingsruimtes is wat langs nate en verskuiwings in die dolomietiese lae van die streek gevorm het.

Ferrikreet kom as oranje-bruin plate tussen die verwerde dolomietiese lae en blokke voor (Figuur 4).



Bron: François Durand

FIGUUR 2: Oos-wes-snit deur die Bakwenagrot.



Bron: Foto geneem deur François Durand

FIGUUR 3: Hoofkamer van Bakwenagrot.

Dolomiethandmonsters uit sekere dele van die grot weeg lig weens die uitloping van kalsium. Hierdie gesteentes dui op die oorsprong van die Bakwenagrot wat deur die oplossing van die dolomiet deur grondwater as ondergrondse ruimtes ontstaan het. Die grondwater was ook verantwoordelik vir die uitloping van yster uit die omliggende grondoppervlak en gesteentes wat later as ferrikreet tussen die nate en lae in die verwerende dolomiet gepresipiteer het toe die grondwater laer gesak het. Verdere ondergrondse erosie is deur die invloei van water langs nate veroorsaak en die geërodeerde materiaal het na laer liggende ruimtes gespoel. Die perkulasie van reënwater deur die grond het die onderliggende dolomiet gedekalsifiseer en verswak, terwyl die nate in die dolomiet algaande groter geword het. Die dak van die ondergrondse ruimte is uiteindelik hoofsaaklik deur die ferrikreet verstewig, maar kon op 'n stadium nie meer die gewig van die grond en gedekalsifiseerde dolomiet ondersteun nie en het ingetuimel om 'n sinkgat te vorm (Trollip 2006).

Die grondwater kom op 'n diepte van ongeveer 30 m onder die oppervlak voor en is voorheen benut soos afgelei kan word uit die teenwoordigheid van boorgate by die grot. Twee boorgatomhulsels dring deur die grot. Die een pyp is met klippe verstop maar die tweede een wat ongeveer 20 m oos van die grotingang is, is tot op 'n diepte van ongeveer 60 m oop. Die vadose sone (die ondergrondse deel wat tussen die oppervlak en die grondwater voorkom) is dus in die gebied rondom die grotingang ongeveer 30 m diep. Die diepte van die vadose sone sal volgens die topografie varieer. Die freatiese sone (die waterdeurdrenkte ondergrondse sone wat onder die grondwatervlak voorkom) begin dus op 'n diepte van 30 m onder die oppervlak in die omgewing van die grotingang.

Wateranalise

Die karst-akwifer wat in die dolomietiese gesteentes van die Malmani-subgroep voorkom, is deur mynwater op die Wes-Rand besoedel. Sulfaatsoute vorm wanneer swaelsuur met dolomiet in kontak kom. Aangesien dieselfde spesies amfipode in die Bakwenagrot voorkom as in die Wieg van die Mensdom, is dit waarskynlik dat die grondwater tussen die twee gebiede aaneenlopend is. Die resultate van die toets van die grondwater van die Bakwenagrot toon dat die swaelinhoud baie laag is (Tabel 1) en dat dit dus nie deur mynwater besoedel is nie.

Aangesien die Bakwenagrot geleë is op die Landbounavorsingsraad se gronde waar landbou-aktiwiteite oor jare plaasgevind het, is daar die moontlikheid dat die grondwater in die gebied deur landbouchemikalieë besoedel is. Die relatief lae konsentrasies stikstof en fosfor (Tabel 1) dui daarop dat die grondwater ook nie deur kunsmis en organiese materiaal besoedel is nie. Die fekale koliforme bakterieë (Tabel 1) in die grondwater is afkomstig van die vlermuisguano in die grot en dien as voedingsbron vir verskeie stigobitiese organismes soos amfipode en nematode.



Bron: Foto geneem deur François Durand

FIGUUR 4: Sykamer 1 met vlermuise.

TABEL 1: Wateranalise van die grondwater in die Bakwenagrot.

Analise	mg/L
pH	7.8
Konduktiwiteit in mS/m by 25 °C	63.4
Nitrate as N	3.7
Ortofosfaat as P	< 0.2
Sulfaat as SO ₄	39
Kalsium as Ca	58
Magnesium as Mg	36
Fekale koliforme bakterieë/100 mL	3

Temperatuur en humiditeit

’n Kolonie vlermuise kan die temperatuur binne ’n grotkamer drasties beïnvloed (Baudunette *et al.* 1994). Dit was waarskynlik ook die rede vir die skielike styging in die gemiddelde temperatuur van die sykamer in April 2010 (Figuur 5). Dit stem ooreen met die waarneming dat die vlermuiskolonie tydens die besoek op 17 April 2010 in die sykamer was (vergelyk Tabel 3). Tydens die besoeke op 13 Maart 2010 en 15 Mei 2010 was die vlermuiskolonie egter in die hoofkamer en dit laat die verskynsel van die bogemiddelde hoë temperature van hierdie twee maande oop vir bespiegeling. Die vlermuiskolonie het waarskynlik in hierdie tydperk sporadies tussen die hoof- en sykamer rondgetrek, wat die gemiddelde temperature van hierdie kamers sou beïnvloed het.

Die hoofkamer is egter baie groter as die sykamer en het ’n konstante en direkte uitruiling van lug met die bogrondse habitat. Hierteenoor is die sykamer ’n blinde sak wat teen omtrent 13 °C opwaarts strek en net deur ’n nou tunnel toeganklik is. Die hoofkamer se mikroklimaat is dus meer beïnvloedbaar deur die klimaatstoestande van die bogrondse habitat as die sykamer. Dit blyk duidelik in Figuur 5, Figuur 6 en Tabel 2 dat die sykamer se temperatuur en humiditeit regdeur die jaar meer konstant bly as die hoofkamer s’n, wat in die wintermaande ’n duidelike verlaagde temperatuur en humiditeit toon.

Biotiese waarnemings

Grotte word gekenmerk deur die afwesigheid van lig wat dit vir plante onmoontlik maak om daar te bestaan. Plante wat

fotosinteer, wat die hoofbron van voedsel in die bogrondse wêreld vorm, is dus afwesig. Ondergrondse habitate word daarteenoor deur detritus-gedrewe voedselwebbe gekenmerk.

Die oplossingsruimtes en interstisiële ruimtes tussen grond en sandkorrels in die vadose sone is in ’n mindere of meerdere mate met lug gevul, alhoewel dit by tye reënwater van die oppervlak deurlaat. Dit is in hierdie sone waar lugrespirerende organismes soos vlermuise, insekte en arachniede voorkom. Daar is ook ’n verskeidenheid bakterieë, swamme en nematode wat in hierdie sone in die grond, modder en guano voorkom.

Die oplossingsruimtes en interstisiële ruimtes tussen grond, slied en sandkorrels in die freatische sone is met water gevul. Waterrespirerende organismes soos krustaseë en sekere bakterieë, swamme, nematode, rotifere en annelide kom in hierdie sone voor. Die organismes wat in die grondwater voorkom, staan as stigobionte bekend (Durand 2008).

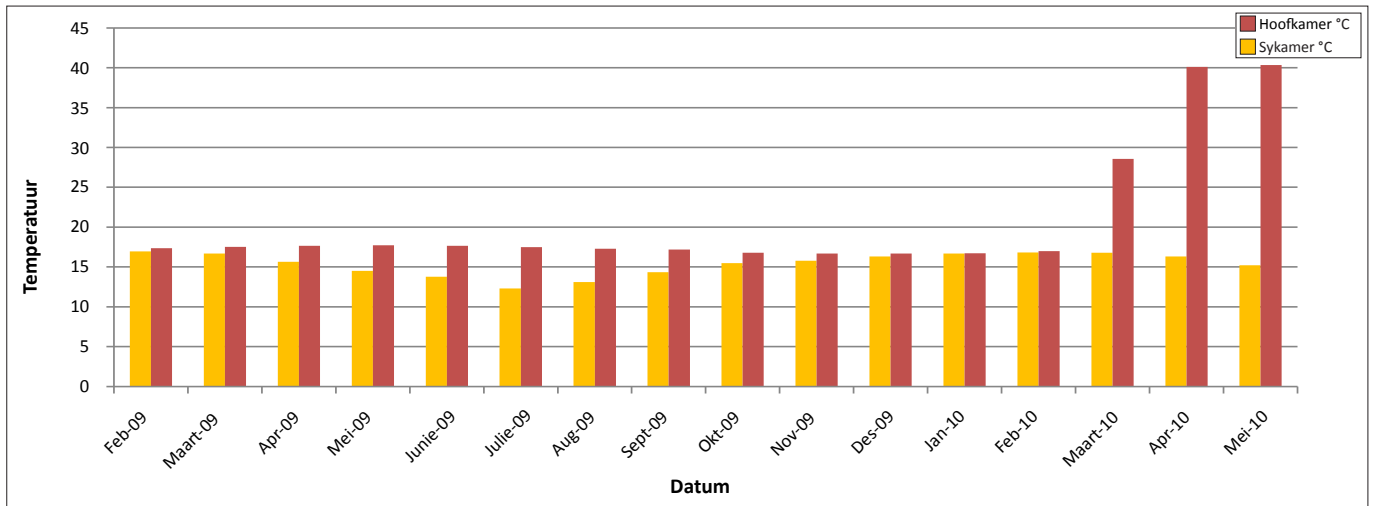
Vlermuise

Die Bakwenagrot word regdeur die jaar deur ’n kolonie *Miniopterus natalensis* (Natalse langvingervlermuis) bewoon (Figuur 8). Die kolonie wissel deur die jaar in grootte, van meer as ’n duisend individue op ’n slag tot slegs ’n paar honderd, en soms verlaat hulle die grot tydelik indien daar ’n impak soos ’n veldbrand of bou-aktiwiteite in die omgewing is. Daar word ook vermoed dat hulle die grot tydelik verlaat weens ’n verlaagde voorkoms van insekte in die gebied of weens tot dusver onbekende sosiale- of populasiedinamika.

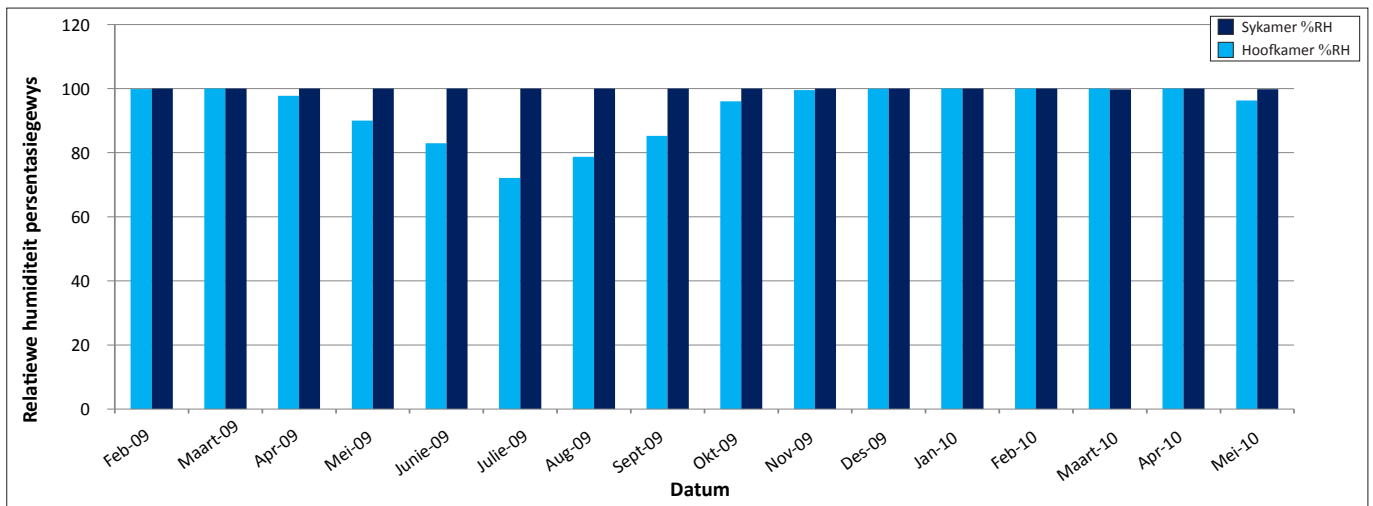
Die grot word ook soms deur klein groepies saalneusvlermuise *Rhinolophus* sp. bewoon. ’n Paar *Myotis tricolor* (Temminck se langhaarvlermuis) individue met hul kleintjies is ook al een keer tydens die studietydperk (2009–2010) in die grot waargeneem.

Die abnormale hoë verhouding van mannetjies teenoor wyfies op 12 Desember 2009, soos in Tabel 3 aangetoon, dui daarop dat die wyfies die grot in hierdie maand verlaat het. Volgens Van der Merwe (1975) migreer die wyfies tydens die laat winter en lente na grotte in die Bosveld in die Limpopo Provinsie waar hulle dan hul kleintjies in baargrotte kry. Teen die laat somer keer dieselfde wyfies en hul gespeende kleintjies vir paring en hibernasie na die grotte op die Hoëveld terug. Daar is ook al aangeteken dat die wyfies partykeer eers teen November die hibernasiegrotte verlaat (Van der Merwe 1975), maar twee ander studies (Van der Merwe 1973, 1978) dui daarop dat die migrasie noordwaarts teen einde Julie geskied en dat groepe mannetjies dan wag op die terugkeer van die wyfies wat eers teen die laat somer plaasvind (Van der Merwe 1975).

In teenstelling met die voorafgaande bevindings dui hierdie studie daarop dat die wyfies in die Bakwenagrot die grot eers teen Desember 2009 verlaat het. Op 16 Januarie 2010 was die verhouding tussen mannetjies en wyfies egter 0.8:1 wat nie merkwaardig van al die ander maande se waarnemings



FIGUUR 5: Temperature in die hoofkamer en sykamer van die Bakwenagrot (Februarie 2009 tot Mei 2010).



FIGUUR 6: Relatiewe humiditeit (%RH) in die hoofkamer en sykamer van die Bakwenagrot (Februarie 2009 tot Mei 2010).

TABEL 2: Gemiddelde temperature (°C en relatiewe humiditeit in die hoofkamer en die sykamer van Bakwenagrot. Die aantal lesings wat maandeliks geneem is sowel as die standaardafwykings (SA) van die lesings word aangedui.

Maand	Hoofkamer					Sykamer				
	°C	SA	%RH	SA	Aantal lesings	°C	SA	%RH	SA	Aantal lesings
Feb-09	16.94	0.32	99.83	1.80	176	17.37	0.27	100.00	0.00	176
Maart-09	16.68	0.29	100.00	0.09	373	17.52	0.14	100.00	0.00	373
Apr-09	15.66	0.52	97.76	2.72	360	17.65	0.05	100.00	0.00	360
Mei-09	14.51	0.64	90.01	5.25	372	17.71	0.22	99.98	0.45	372
Junie-09	13.78	0.73	82.93	7.01	361	17.67	0.21	100.00	0.05	361
Julie-09	12.32	0.63	72.14	5.73	372	17.49	0.21	100.00	0.00	372
Aug-09	13.11	0.46	78.73	4.70	372	17.29	0.22	100.00	0.00	372
Sept-09	14.36	0.45	85.26	4.89	360	17.18	0.27	100.00	0.00	344
Okt-09	15.49	0.31	96.00	2.28	372	16.80	0.33	99.99	0.24	372
Nov-09	15.77	0.25	99.53	0.90	361	16.70	0.19	100.00	0.00	361
Jan-10	16.70	0.13	99.99	0.00	372	16.71	0.03	100.00	0.00	372
Feb-10	16.82	0.07	100.00	0.00	336	16.98	0.90	100.00	0.00	336
Maart-10	16.79	0.12	100.00	0.00	373	28.56	6.10	99.73	5.18	373
Apr-10	16.33	0.44	100.00	0.00	360	40.09	2.72	100.00	0.00	360
Mei-10	15.21	0.85	96.26	5.65	263	40.32	12.67	99.78	3.17	372

°C, grade Celsius; SA, standaardafwyking; %RH, relatiewe humiditeit persentasiegewys.

verskil het nie. Daar is ook geen aanduiding in Tabel 3 van enige drastiese verandering in mannetjie-wyfie-verhoudings wat kan dui op die terugkeer van wyfies tydens die laat somer nie. Buiten vir Desember 2009, toon die mannetjie-wyfie-

verhoudings relatief klein wisselinge in vergeleke met ander studies. Die gebiede waarheen die wyfies in Desember 2009 gemigreer het en wat hulle genoep het om die Bakwenagrot vir so 'n kort tydperk te verlaat, kan nie met sekerheid uit die

beskikbare data afgelei word nie. Dit is ook duidelik dat die migreringsgedrag en populasiedinamika van hierdie spesie kompleks is as wat voorheen beskryf is.

Die Bakwenagrot word as 'n gewone dagslaapplek deur *Miniopterus natalensis* benut en word ook as 'n hibernakulum



Bron: Foto geneem deur Louise Kritzinger

FIGUUR 7: Grondwaterpoel.



Bron: Foto geneem deur Werner Marais

FIGUUR 8: Kolonie *Miniopterus natalensis* teen die dak van die hoofkamer van die Bakwenagrot.

tydens die koue wintermaande benut; dit word egter nie as 'n baargrot benut nie. Alhoewel die kolonie tydens die wintermaande meer slaperig was, was hulle nog steeds aktief en het van grotkamers verskuif wanneer hulle versteur is. Daar was ook altyd vars guano op die vloer onder die dak waar die kolonie gerus het, wat daarop dui dat hul nog steeds in die wintermaande aktief gejaag het. Daar was ook gedurende die winter van 2009 vars guano in die sykamer wat 'n aanduiding is dat die kolonie in hierdie tydperk tussen verskillende grotkamers rondgetrek het. Hierdie gedragspatrone weerspieël die temperatuurskommelinge in die wintermaande. Sulke intragrotbewegings is in ooreenstemming met waarnemings wat deur Van der Merwe (1973, 1975) in grotte in die Krugersdorp-gebied gedoen is.

Nematoda

Nematode of aalwurms wat tot die Filum Nematoda behoort, is een van die talrykste groepe in die diereryk en bewoon bykans alle beskikbare habitate en nisse op aarde (Heyns 2002). Nematode kom dus voor in die grond, in vars- en seewater, in warmbronne en in ysvelde en kan ook parasiete van plante en diere wees. Rofweg kan die grondbewonende nematode in die volgende vyf voedings- of trofiese groepe verdeel word:

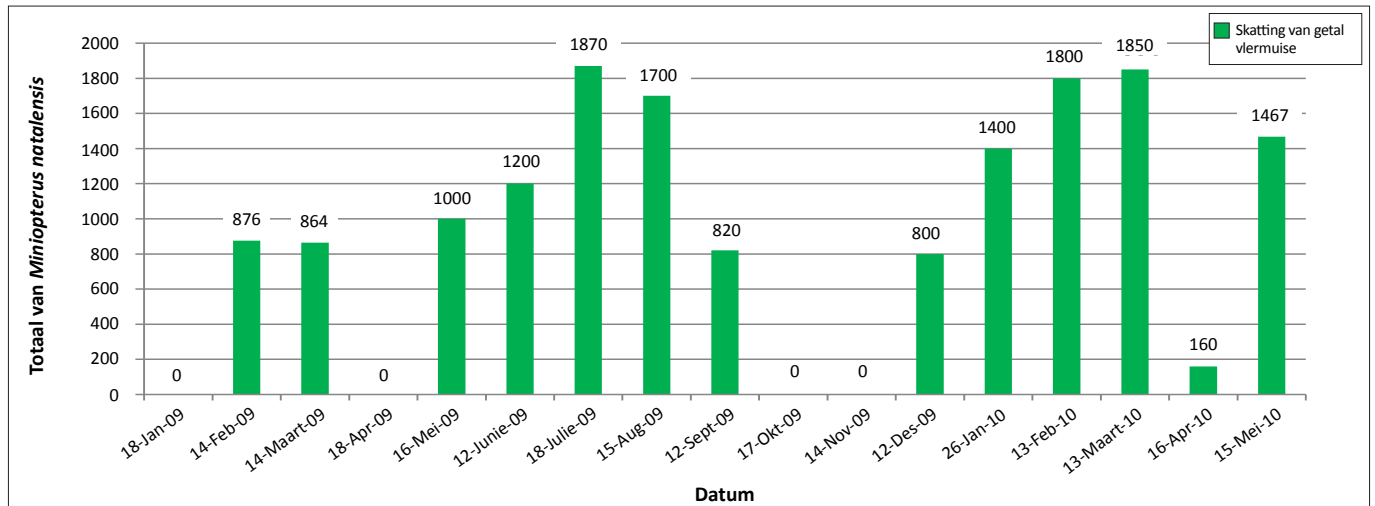
1. herbivore (plantparasiete)
2. bakteriofore
3. fungivore
4. omnivore
5. predatore.

Hulle is aktief by die hersirkulering van koolstofbronne (soos dooie organiese materiaal), stikstofverbindinge en minerale voedingstowwe betrokke. Nematood-populasies van die verskillende trofiese vlakke word in die landbou gebruik om grondtoestande onder verskillende landboupraktieke te evalueer en word ook as indikatore van besoedeling en klimaatsverandering ingespan (Yeates & Bongers 1999).

Daar is wêreldwyd min oor die nematoodfauna van grot-ekosisteme bekend en geen inligting is oor grotnematode in

TABEL 3: Maandelikse voorkoms van *Miniopterus natalensis* in die Bakwenagrot (Januarie 2009 – Mei 2010). Mannnetjie-wyfie-verhoudings word ook aangedui.

Datum	Vlermuise in grot	Deel van grot	Geskatte getal vlermuise	Monster grootte	Getal mannetjies	Getal wyfies	Mannetjie: Wyfie verhouding
18-Jan-09	Nee	-	-	-	-	-	-
14-Feb-09	Ja	Hoofkamer	876	50	25	25	1:1
14-Maart-09	Ja	Hoofkamer	864	49	20	29	0.7:1
18-Apr-09	Nee	-	-	-	-	-	-
16-Mei-09	Ja	Hoofkamer	1000	31	13	18	0.7:1
13-Junie-09	Ja	Hoofkamer	1200	-	-	-	-
18-Julie-09	Ja	Hoofkamer	1870	57	26	31	0.8:1
15-Aug-09	Ja	Hoofkamer	1700	47	25	22	1.1:1
12-Sept-09	Ja	Sykamer	820	79	14	65	0.2:1
17-Okt-09	Nee	-	-	-	-	-	-
14-Nov-09	Nee	-	-	-	-	-	-
12-Des-09	Ja	Hoofkamer	800	61	57	4	14.3:1
16-Jan-10	Ja	Hoofkamer	1400	100	43	57	0.8:1
13-Feb-10	Ja	Sykamer	1800	67	22	45	0.5:1
13-Maart-10	Ja	Hoofkamer	1850	206	61	145	0.4:1
17-Apr-10	Ja	Sykamer	160	16	8	8	1:1
15-Mei-10	Ja	Hoofkamer	1467	56	28	28	1:1



FIGUUR 9: Die maandelikse voorkoms van *Miniopterus natalensis* in die Bakwenagrot (Januarie 2009 – Mei 2010).

die karst-sisteme van Suid-Afrika beskikbaar nie. Wêreldwyd is 28 nematoodgenera in grot-ekosisteme aangemeld. Hulle val in twee groepe: 'n paar endemiese spesies en dan dié spesies wat toevallig in die sisteme beland het en aangepas is om 'n groot verskeidenheid omgewingstoestande te verdra (Hodda, Ocaña & Traunspurger 2006).

Die oogmerke van die huidige studie was die volgende:

1. om die nematode van die Bakwenagrot tot op genusvlak te identifiseer
2. om die sleutelspesies en nuwe spesies van die verskillende habitate binne die grot te beskryf
3. om die verspreidingspatrone van die nematode binne die grot te bepaal
4. om vas te stel of die grot enige tekens van ekologiese versteurings toon
5. om vas te stel of die nematode wat met die guano geassosieer word, in die grot ingebring word deur vlermuise.

Daarvoor sou die dermkanaal van 'n paar vlermuise van die volopste spesie ondersoek word vir die teenwoordigheid van nematode, wat dan tot op genusvlak identifiseer sou word.

Die resultate het getoon dat nematode die algemeenste en mees wydverspreide groep diere in die Bakwenagrot is. Daar kom meer nematode as enige ander meersellige dieregroep in die grot voor en hulle word deur 'n groot verskeidenheid ordes en families verteenwoordig. As gevolg van die feit dat geen herhalings by die maandelikse monsternemings nie ingesluit is, kon geen veranderinge in die ekosisteme statisties gemeet word nie. Die inligting wat uit die huidige monsternemings verkry is, kan egter as basis dien vir toekomstige, meer uitgebreide ekologiese studies. In totaal is 27 genera wat aan 23 families en 11 ordes behoort vanaf die ses lokaliteite in die Bakwenagrot geïdentifiseer (Tabel 4). As die spesierikdom van die verskillende lokaliteite met mekaar vergelyk word, is lokaliteit 5 (ondergrondse poel) en lokaliteit 1 (grotingang) die rykste aan spesies, terwyl lokaliteit 3 (droë guano vanaf hoofkamer), lokaliteit 4 (vars guano vanaf sykamer) en lokaliteit 6 (vloer van sykamer) die laagste aantal spesies het. Die Shannon-Wiener Indeks (H') bevestig ook dat die spesiediversiteit die hoogste is in lokaliteit

5 (ondergrondse poel) en die laagste in lokaliteit 3, lokaliteit 4 en lokaliteit 6 (Tabel 5). Die gemeenskapkompleksiteit is dus die hoogste in die ondergrondse poel. Die N^∞ is die hoogste in lokaliteit 2 (hoofkamervloer) wanneer dit vergelyk word met die neiging wat gesien kan word in die Shannon-Wiener diversiteitsindeks. Lae gelykheid ($J' = 0.47$) is ook waargeneem in lokaliteit 4 en lokaliteit 6, wat toegeskryf kan word aan die voorkoms van slegs twee spesies (*Diplogasteroides* sp. en *Panagrolaimus* sp.) by lokaliteit 4 en twee spesies (*Eumonhystera* sp. en *Chiloplectus* sp.) by lokaliteit 6 (Tabel 4).

Wat die trofiese (voeding-)struktuur en die c-p-waardes betref, word die lokaliteite, met die uitsondering van lokaliteit 1 (grot-ingang) en lokaliteit 2 (vloer van hoofgrot), deur bakterievoeders oorheers. Lokaliteit 2 is saamgestel uit vier verskillende voedingstipes, naamlik, (1) verpligte plantvoeders, (2) fakultatiewe plantvoeders, (3) predatore en (4) bakterievoeders. Lokaliteit 1 (grotingang) het hoofsaaklik uit fakultatiewe plant- en fungusvoeders bestaan. Die algemene opportuniste (c-p 1), *Diplogasteroides* sp. en *Panagrolaimus* sp., was die enigste twee spesies wat in lokaliteit 4 (vars guano vanaf sykamer) voorgekom het, terwyl die verrykingsopportuniste (c-p 2), *Eumonhystera* sp. en *Chiloplectus* sp., dominant was in lokaliteit 6 (grotvloer van sykamer). Die c-p-waardes van die res van die lokaliteite het gewissel van c-p 1 tot c-p 4 (Tabel 4).

Om vas te stel wat die moontlike omgewingversteuring in die grotsisteme is, is die Rypheidsindeks (Maturity Index) MI (Bongers 1990) gebruik. Die MI-waarde het gewissel van MI = 1.00 tot MI = 2.67, met die hoogste MI vir lokaliteit 2 (vloer van hoofgrot) en die laagste MI vir lokaliteit 4 (vars guano vanaf sykamer) (Tabel 5).

Arachnida

Arachnida word sover bekend deur spinnekoppe, myte en pseudoskerpioene in die Bakwenagrot verteenwoordig. Die oorgrote meerderheid arachniede kom in die vorm van myte voor. Hierdie mikroskopiese myte kom in groot getalle

**TABEL 4:** Nematoodgenera afkomstig van die ses lokaliteite in die Bakwenagrot, saam met elkeen se c-p-waardes.

Orde	Familie	Spesie	Lokaleite						c-p waarde
			1	2	3	4	5	6	
Enoplida	Alaimidae	<i>Alaimus</i> sp.	x				x		4
Triplonchida	Trichodoridae	<i>Trichodorus parorientalis</i>					x		4
	Prismatolaimidae	<i>Prismatolaimus</i> sp.					x		3
Dorylaimida	Aporcelaimidae	<i>Aporcelaimus</i> sp.	x				x		5
	Qudsianematidae	<i>Discolaimus</i> sp. (vgl. Figuur 10C)	x				x		4
Mononchida	Mononchidae	<i>Mononchus</i> sp.					x		4
	Mylonchulidae	<i>Mylonchulus</i> sp. (vgl. Figuur 10D)		x			x		4
Chromadorida	Cyatholaimidae	<i>Achromadora</i> sp.					x		3
Monhysterida	Monhysteridae	<i>Eumonhysterida</i> sp.						x	2
		<i>Monhystrella</i> sp.			x		x		2
Araeolaimida	Diplopetidae	<i>Cylindrolaimus</i> sp.					x		3
Plectida	Plectidae	<i>Anaplectus</i> sp.	x						2
		<i>Chiloplectus</i> sp.						x	2
		<i>Plectus</i> sp.	x				x		2
Tylenchida	Tylenchidae	<i>Boleodorus</i> sp.	x				x		2
	Anguinidae	<i>Ditylenchus</i> sp.	x				x		2
	Hoplolaimidae	<i>Helicotylenchus</i> sp.					x		3
	Pratylenchidae	<i>Pratylenchus</i> sp.					x		3
	Telotylenchidae	<i>Tylenchorhynchus</i> sp.		x			x		2
Aphelenchida	Aphelenchidae	<i>Aphelenchus</i> sp.		x			x		2
	Aphelenchoididae	<i>Aphelenchoides</i> sp.	x						2
Rhabditida	Cephalobidae	<i>Acroboloides</i> sp.	x	x			x		2
		<i>Acrobeles</i> sp. (vgl. Figuur 10A)	x	x					2
	Panagrolaimidae	<i>Panagrolaimus</i> sp.			x	x	x		1
	Diplogasteridae	<i>Diplogasteroides</i> sp.				x			1
	Rhabditidae	<i>Mesorhabditis</i> sp.	x				x		1
	Diploscapteridae	<i>Diploscapter</i> sp. (vgl. Figuur 10B)					x		1

c-p waarde, koloniseerder–volharder

TABEL 5: Vergelyking van die spesierikdom, gelykheid, Shannon-Wiener diversiteit, Hill se N_{∞} en MI-waardes tussen die verskillende lokaliteite.

Lokaleiteit	1	2	3	4	5	6
S	11	5	2	2	20	2
J'	0.68	0.96	0.49	0.47	0.37	0.47
H'	1.63	1.55	0.34	0.33	2.18	0.33
N_{∞}	2.27	3.67	1.12	1.11	2.86	1.11
MI	2.20	2.67	1.11	1.00	1.75	2.00

S, spesierikdom; J', gelykheid; H', Shannon-Wiener diversiteit; MI, Rypheidsindeks.

in die guanohope voor waar hulle swamme en nematode vreet en waar hulle deur pseudoskerpioene en spinnekoppe gevreet word.

Araneae: Spinnekoppe kom oral in die Bakwenagrot voor. Webbe word egter meer dikwels in assosiasie met guanohope gevind. Hulle prooi sluit guanomotte en kewers in. Webbe word dikwels bo-oor holtes in guanohope of in klipskeure langs guanohope gevind. In 'n oorsigartikel is daar onlangs gekyk na die huidige status van spinnekoppe in grotte in Suid-Afrika (Dippenaar-Schoeman & Myburg 2009). 'n Totaal van 41 spesies van 20 families is tot op datum uit 30 grottekomplekse in Suid-Afrika versamel. Van die 41 spesies is slegs 10 spesies ware grotbewoners, terwyl die meeste ander spesies sowel binne grotte as daarbuite kan oorleef. In die Pretoria-omgewing is daar reeds in die Apiesrivier, Monumentpark, Wonderboom en die Bakwenagrot voorbeelde versamel en hoofsaaklik vioolspinnekoppe (Sicariidae, *Loxosceles* sp.)

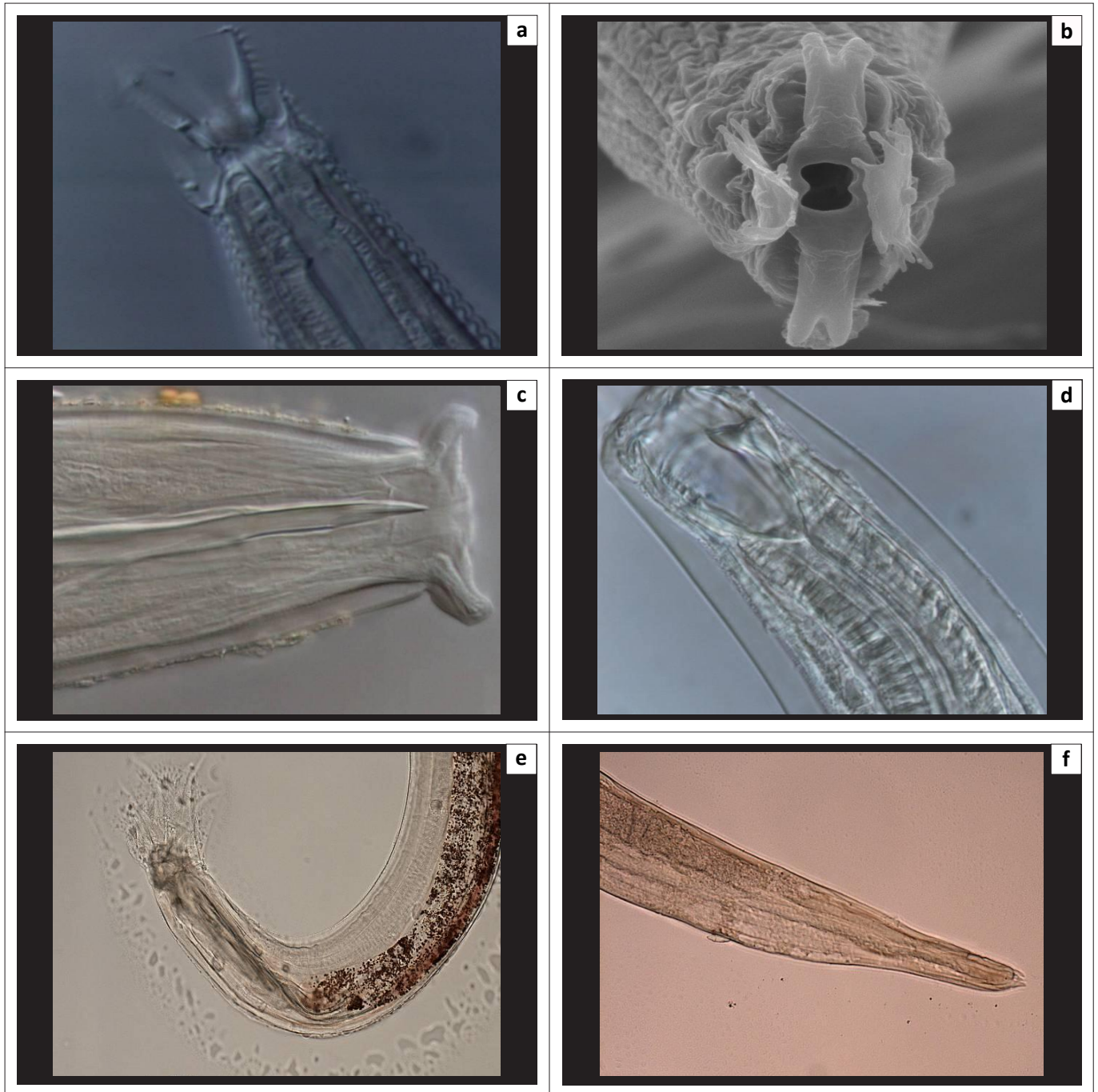
en Piet-langpoot spinnekoppe (Pholcidae, *Smeringopus* sp.) gevind. Uit vorige versamelings is daar twee spesies uit die Bakwenagrot bekend (Phyxelididae *Phyxelida* sp. en Theridiidae *Theridion* sp.; Figuur 11).

Tydens die opnames in 2009 en 2010 (Tabel 6) is die Theridiidae *Theridion* sp. herversamel, asook 'n Piet-langpoot (Pholcidae, *Smeringopus* sp.) en Amaurobiidae *Chresiona* sp. Ongelukkig was die meeste van die materiaal wat tot op datum versamel is onvolwassenes, wat spesie-identifikasie bemoeilik.

Acari: Tot op hede is ses mytspesies wat drie families verteenwoordig in die Bakwenagrot ontdek. Lede van die families Acaridae (*Sancassania* sp.), Laelapidae (*Laelaps* sp.) en lede van die superfamilie Uropodoidea is geïdentifiseer. Die *Laelaps* sp. (Laelapidae) is 'n ektoparasiet van soogdiere, in dié geval moontlik op die vlermuise, en sy teenwoordigheid in die grondmonster kan dus net toevallig wees.

Die ligkleurige myte in Figuur 12 is lede van *Sancassania* van die familie Acaridae. Hierdie myte verkies kompos, mis en verrottende swamme maar kan ook op nematode voed (Krantz & Walter 2009).

Die donkerkleurige myte in Figuur 12 is *Chiropturopoda coprophila* van die familie Uroactinidae, superfamilie



Bron: Fotos geneem deur Louwrens Tiedt, Antoinette Swart, Candice Jansen van Rensburg, Jamie-Lee Szamosvari

FIGUUR 10: Nematode van die Bakwenagrot: (a) Syaansig van die kop van *Acrobeles* sp. (bakterievoeder, akwaties en terrestrieel), (b) vooraansig van die kop van *Diploscapter* sp. (Bakterievoeder, akwaties), (c) syaansig van die kop van *Discolaimus* sp. (Predator/omnivoor, terrestrieel), (d) syaansig van die kop van *Mylonchulus* sp. (Predator, terrestrieel), (e) Stert van *Molinostrongylus* sp. gevind in die intestinum van *Miniopterus natalensis* en (f) stert van *Capillaria* sp. gevind in die intestinum van *Miniopterus natalensis*.

Uropodoidea, en kom in groot getalle in die guano voor. Spesies van die Uropodoidea floreer in verrotte organiese materiaal en mis. Die myte leef blykbaar hoofsaaklik van swamme, maar kan ook van nematode, vliegjarwes en ander myte leef. Die deutonimfe van die groep is ook aangepas om van diere en insekte as vervoermiddels gebruik te maak (Krantz & Walter 2009).

Insecta

Verskeie insektespesies, veral kewers, motte en vlieë, kom in grotte voor. Die meeste van hulle is karnivories of voltooi

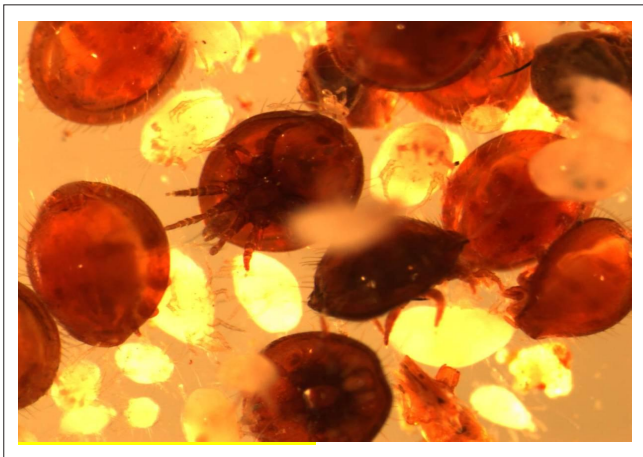
'n deel van hul lewensiklus in vlermuisguano. Papies van vlermuisevlieë kom teen die dak van die grot voor. Soms is daar insekte, veral naby die grotingang, wat tydelike besoekers aan die grot is. Die samestelling van insekdiversiteit verskil aansienlik tussen verskillende grotte. Geen van die insektespesies wat ontdek is, is ware troglodiete nie en kom ook buite die grot voor.

Coleoptera word onder andere deur kewers van die familie Tenebridae verteenwoordig. Hulle larwes kom in die vlermuisguano voor waar hulle waarskynlik die larwes van



Bron: Foto geneem deur Ansie Dippenaar-Schoeman

FIGUUR 11: *Theridion* sp. van die Bakwenagrot.



Bron: Foto geneem deur Eddie Ueckermann

FIGUUR 12: 'n Versameling myte uit die guano in die Bakwenagrot.

TABEL 6: Araneae van die Bakwenagrot.

Datum	Familie	Genus	Spesies	Geslag
08-Jan-09	Pholcidae	<i>Smeringopus</i> sp.		1 onvolwassene
	Theridiidae	<i>Theridion</i> sp.	moontlik nuwe spesies	1 ♀
14-Maart-09	Amaurobiidae	<i>Chresiona</i> sp.		1 onvolwassene ♂
	Pholcidae	<i>Smeringopus</i> sp.		1 onvolwassene
	Theridiidae	<i>Theridion</i> sp.	moontlik nuwe spesies	2 ♀ 1 onvolwassene

die guanomot en myte vreet, terwyl die volwassenes oral in die grot voorkom waar hulle aas en op klein artropode jag maak.

Die enigste lede van Lepidoptera wat in groot getalle in die Bakwenagrot voorkom, is die guanomot *Monopis* cf. *transaans* van die familie Teneidae (Figuur 13). Hierdie mot voltooi die eerste deel van sy lewensiklus in vlermuiskuano (Nylor & Durand 2009).

Papies van vlermuisevlieë van die familie Nycteribidae, superfamilie Hippoboscoidea, kom teen die dak van die grot voor waar die vlermuiskolonie slaap. Die vlermuisevlieë is dikwels aangetref op die vlermuise van die Bakwenagrot wat bestudeer is (Figuur 14). Die lede van hierdie familie

is larvipaar en die bevrugte wyfies verlaat die vlermuise wanneer hulle van die dak hang en plaas hulle larwes teen die grot dak (Scholtz & Holm 1985).

Crustacea

Crustacea word sover bekend deur die ordes Amphipoda, Copepoda en Ostracoda in die freetiese sone van die Bakwenagrot verteenwoordig. Terrestriële isopode is al in die grot gevind, maar kom nie in groot getalle voor nie. Stigobiontiese amfipode, ostrakode en kopepode is in die poel grondwater op die oostelike punt van die grot gevind.

Die Bakwenagrot is die belangrikste plek waar varswateramfipode in Suid-Afrika gevind is. Die eerste varswateramfipode in Suid-Afrika is hier deur J. Hewitt, van die Albany Museum in Grahamstad, en N. Roberts ontdek en aan P.A. Methuen oorhandig. Kort daarna het Methuen ook amfipode in die Bakwenagrot versamel en saam met Austen Roberts amfipode in die grotte in die Makapansvallei tussen Polokwane en Makopane in die Limpopo Provinsie versamel. Methuen was onder die indruk dat die amfipode van die Bakwenagrot en Makapansvallei dieselfde spesie was wat hy *Eucrangonyx robertsi* genoem het (Methuen 1911a, 1911b).

Die genus *Eucrangonyx* is verander na *Crangonyx* (Schellenberg 1936). Daarna is *Crangonyx* weer deur Holsinger en Straskraba (1973), wat die amfipode van die Sterkfonteingrotte in die Wieg van die Mensdom beskryf het, na *Sternophysinx* herdoop. Die amfipode van die Sterkfonteingrotte is *Sternophysinx filaris* genoem en Holsinger en Straskraba (1973) meld dat die amfipode van die Bakwenagrot waarskynlik dieselfde as dié van Sterkfontein is vanweë die nabyheid van die twee grotsisteme aan mekaar. Die Sterkfonteingrotte is ongeveer 60 km van die Bakwenagrot teenoor die 200 km tussen die grotte in die Makapansvallei en die Bakwenagrot.

Holsinger (1992) beskryf amfipode van Matlapitse-grot naby Trichardtsdal in die Limpopo Provinsie en noem dit *Sternophysinx calceola*. Tasaki (2006) meld die teenwoordigheid van *S. calceola* in die Koelenhofgrot in die Wieg van die Mensdom en De Klerk, Durand & Nel (2007) meld die teenwoordigheid van *S. calceola* in die Bakwenagrot. Dit is moeilik om te verklaar hoe populasies van *S. calceola* in die Limpopo Provinsie naby Trichardtsdal en by die Bakwenagrot in Gauteng kan voorkom. Alhoewel albei populasies in die grondwater van dolomietiese karst-sisteme voorkom, is hierdie twee geologiese provinsies deur die Bosveldstollingskompleks van mekaar geskei. Daar is ook geen riviere of opvangsgebied wat hierdie twee gebiede verbind nie. Dit is moontlik dat die twee *S. calceola* populasies die oorblyfsels van 'n voorouerlike oerpopulasie is wat duisende jare gelede geografies van mekaar geskei geraak het.

Dit is onduidelik hoe Methuen oorspronklik die amfipoodspesies van die Bakwenagrot met dié in die Makapansvallei kon verwar, aangesien voorbeelde uit die Makapansvallei amfipode *S. alca* en *S. robertsi* is. Dit is moontlik dat die amfipode van die Bakwenagrot wat hy ontdek het *S. filaris* individue was wat ongeveer dieselfde grootte as *S. robertsi* van die Makapansvallei is, terwyl *S. calceola* (Figuur 15) ongeveer dubbel die grootte is.



Bron: Foto geneem deur Andrea Nylor

FIGUUR 13: Die guanomot *Monopis* cf. *transeans* van die Bakwenagrot.



Bron: Foto geneem deur François Durand

FIGUUR 14: Die vlermuisvlieg van die familie Nycteribidae op 'n Natalse langvingervlermuis in die Bakwenagrot.



Bron: Foto geneem deur François Durand

FIGUUR 15: Die amfipood *Sternophysis calceola* van die Bakwenagrot.

Die populasies van *S. filaris* en *S. calceola* in die grondwaterpoel in die Bakwenagrot het maandeliks gewissel. Amfipode is op elke besoek aan die grot in die grondwaterpoel waargeneem, maar het gewissel van net 2 per uur op 14 Februarie 2009 tot 27 per uur op 14 November 2009. Buiten vir een waarneming op

15 Augustus 2009, toe daar net 3 amfipode teenwoordig was, was daar elke keer meer *S. filaris* as *S. calceola* teenwoordig.

Swamme

Tydens elke besoek aan die grot is vyf monsters geneem: drie uit guano in die hoofkamer, een vanuit die modder op die rand van die watervlak in die oostelike kamer en een vanuit die kamer in die suidwestelike hoek. Hierdie monsters is op verskeie groeimedia gekweek en meer as 100 swamme is gesuiwer op grond van kolonievierskille wat met die oog onderskei kon word.

Die eerste DNS-analises kon voorlopige identifikasie tot op genusvlak bewerkstellig. Die spesies verteenwoordig individue in die genera *Epicoccum*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Hypocrea*, *Sistotrema*, *Mortierella*, *Candida* en *Mucor*. Isolate vanuit die genera *Penicillium* en *Aspergillus* was die swamme wat die algemeenste voorgekom het.

Die swamme was in al die lokaliteite en substrate teenwoordig en daar was geen aanduiding dat enige substraat of lokaliteit bo die ander verkies word nie.

Mikrobiiese aktiwiteit

Grotmikrobiologie is 'n relatiewe nuwe studieveld in Suid-Afrika en bied talle uitdagings. Voor hierdie studie was daar geen basislyndata vir mikrobiiese grotdiversiteit in die land beskikbaar nie. Vyf stelle monsters is tussen Maart 2009 en Augustus 2009 vir mikrobiiese diversiteitsontledings geneem. Monsters is van die grond en die guano in die hoofkamer geneem. Monsters is ook van die grond en die nat guano in sykamer 1 geneem.

Die aantal bakteriese spesies in 'n mikrobiiese gemeenskap (Shannon-Weaver Indeks), die variasie van bakteriese spesies binne 'n mikrobiiese grondgemeenskap (Gelykheidsindeks), asook die hoofkoolstofbrongroepe wat gebruik word, is bepaal. 'n Stelselmatige afname in die aantal mikrobiiese spesies in al die monsters is in hierdie tydperk waargeneem, behalwe in die hoofkamer se vloer waar daar 'n matige toename in mikrobiiese spesies waargeneem is. Die grootste aantal mikrobiiese spesies is in die vloer van die hoofkamer waargeneem. Die grootte van die mikrobiiese populasies in 'n mikrobiiese gemeenskap het met verloop van tyd (toename in spesiedominansie) in die vloer van die hoofkamer en droë guanomonsers afgeneem, terwyl die ooreenstemmende monsters in sykamer 1 redelik stabiel gebly het.

Sedert Maart 2009 is koolhidrate toenemend deur mikrobiiese populasies in die hoofkamervloer en droë guano gebruik, terwyl karboksiesuurgebruik by mikrobies in sykamer 1 se vloer toegeneem het. Dit is interessant om te sien dat, alhoewel aminosuurgebruik deur mikrobies in sykamer 1 se vloer met verloop van tyd drasties afgeneem het, aminosuurgebruik deur mikrobies in sykamer 1 se guano drasties toegeneem het. Aminosuurgebruik deur mikrobies in die hoofkamer vloer en droë guano het met verloop van tyd geleidelik afgeneem. Alhoewel hierdie gegewens nog nie 'n aanduiding kan gee van wat werklik in die grot se mikrobiologiewêreld aangaan nie, hoop ons dat bykomende ensiem-analises en tyd die prentjie duideliker sal inkleur.



Tabel 3 en Figuur 16 dui die verskillende tipes (hoofgroepe) koolstofbronne aan wat deur die mikro-organismes gebruik word en in watter hoeveelhede dit gebruik word (op grond van optiese digtheidslesings).

Figuur 17 dui die Shannon-Weaver diversiteitsindeks aan, wat 'n weerspieëling is van die aantal koolstofbronne wat deur die mikrobiële populasies benut word. Aangesien verskillende koolstofbronne deur verskillende bakteriese spesies gebruik word, verteenwoordig die aantal koolstofbronne die teenwoordigheid van verskillende bakteriese spesies in die betrokke monster. Dit is baie duidelik dat mikrobiële populasies wat uit die guano geïsoleer is, 'n groter aantal koolstofbronne benut en dus meer bakteriese spesies bevat as die mikrobiële populasies wat uit die grondmonsters geïsoleer is.

Figuur 18 illustreer die gelykheidsindeks, wat 'n aanduiding van die variasie tussen bakteriese spesies binne 'n grondmikrobiële populasie gee. Die gelykheidsindekswaardes varieer gewoonlik tussen 0 en 1. Hoe nader die gelykheidsindeks aan 1 is, hoe minder variasie bestaan tussen spesies binne 'n mikrobiële populasie, met ander woorde die verskillende bakteriese spesies binne die populasie is in gelyke hoeveelhede teenwoordig. Gevolglik is daar minder dominasie en dus 'n hoër mikrobiële diversiteit. Op grond van resultate wat uit Figuur 18 verkry is, is dit duidelik dat die meeste variasie tussen spesies teenwoordig is in mikrobiële populasies wat in grond vanuit die hoofkamer verkry is, dus, spesifieke bakteriese spesies domineer in die hoofkamervloer. Dit kan waarskynlik toegeskryf word aan die plantdetritus wat in die hoofkamer van die grot teenwoordig is. Monsters wat uit die sykamer verkry is, het dus 'n hoër mikrobiële diversiteit as monsters wat vanuit die hoofkamervloer versamel is.

Plantreste

Die bosgroep rondom die grotingang is die hoofbron van die plantreste in die grot. Takke en blare val ondertoe en vorm 'n dik laag reste rondom die stam van die boom wat binne die grotingang groei, op die lys waar die leer staangemaak is en op die puinhoop. Swamme en bakterieë breek veral die blare af sodat die humus deel van die grondbedekking tussen die klippe op die grotvloer vorm. Plante word deur plantreste in die grot verteenwoordig en lewende plante word slegs by die grotingang, tot by die onderpunt van die leer, aangetref.

Bespreking

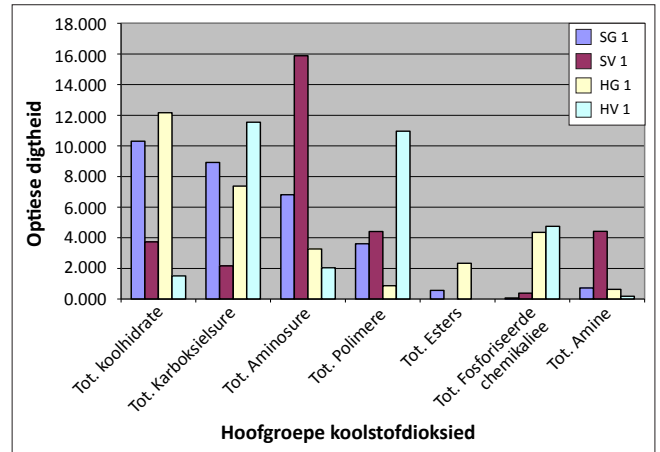
Hierdie studie van die ekologie van die Bakwenagrot het verskeie nuwe resultate opgelewer wat tot dusver nog nie vir karst-ekologie in Suid-Afrika bekend was nie. Eerstens het die biodiversiteit van die grot alle verwagtinge oortref; daar is nog nooit soveel spesies van soveel verskillende filums in 'n grot in Suid-Afrika geïdentifiseer nie.

Soos verwag is, is al die koninkryke, buiten plante, in die grot verteenwoordig. Weens die afwesigheid van plante

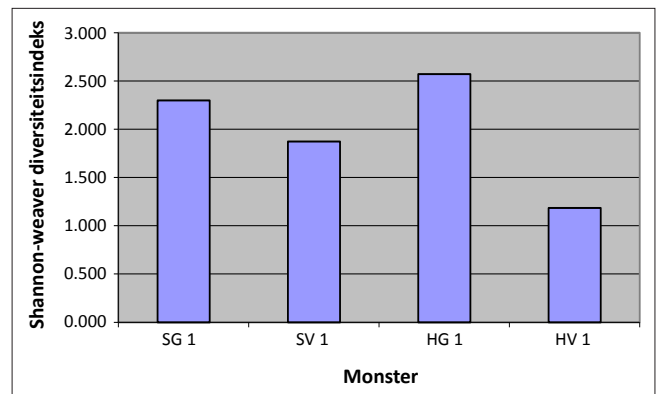
TABEL 7: Hoofgroepe koolstofbronne deur grondmikrobes gebruik.

Substraat	SG 1	SV 1	HG 1	HV 1
Tot. Koolhidrate	10.310	3.734	12.160	1.514
Tot. Karboksiesure	8.915	2.165	7.379	11.545
Tot. Aminosure	6.806	15.889	3.268	2.048
Tot. Polimere	3.611	4.407	0.868	10.959
Tot. Esters	0.561	0.000	2.334	0.000
Tot. Gefosforiseerde chemikalieë	0.071	0.386	4.354	4.748
Tot. Amiene	0.726	4.418	0.636	0.186

SG, Sykamer guano; SV, Sykamervloer (grond); HG, Hoofkamerguano; HV, Hoofkamer loer (grond).

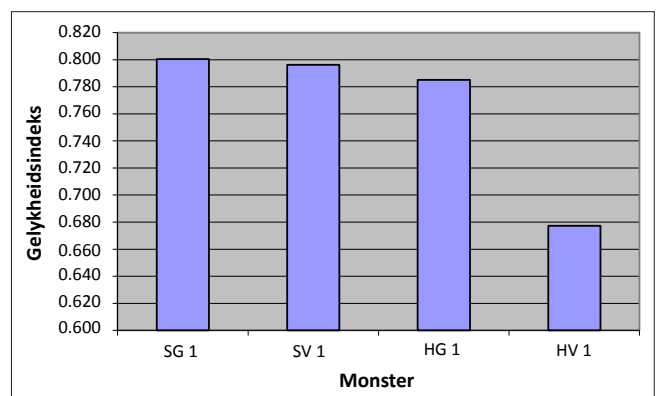


FIGUUR 16: Grondmikrobiële gebruik van koolstofbronne in Maart 2009 in die Bakwenagrot.



SG 1, Sykamer guano 1; SV 1, Sykamervloer (grond) 1; HG, Hoofkamerguano 1; HV1, Hoofkamer loer 1

FIGUUR 17: Shannon-Weaver diversiteitsindeks wat die grondmikrobiële populasiediversiteit van monsters uit Maart 2009 in die Bakwenagrot aandui.



SG 1, Sykamer guano 1; SV 1, Sykamervloer (grond) 1; HG, Hoofkamerguano 1; HV1, Hoofkamer loer 1

FIGUUR 18: Gelykheidsindeks wat die variasie tussen bakteriese spesies binne die grondmikrobiële populasie van die monsters uit Maart 2009 in die Bakwenagrot aandui.



verskil karst-ekologie van fotosintesegeïsoleerde ekologie soos wat mens in die gebied buite die grot kry. Die hoofbron van voedingstowwe in die grot is plantreste wat van buite afkomstig is en vlermuisguano (Durand 2008). Albei hierdie bronne is uiteindelik tog van fotosintese buite die grot afhanklik. Die blare is afkomstig van die boomgroep rondom die grotingang en die vlermuisguano is afkomstig van vlermuise wat leef van insekte wat grotendeels leef van plante wat fotosintetiseer. Die ekologie van die Bakwenagrot kan as 'n detritus-geïsoleerde ekosisteem geklassifiseer word.

Die plantmateriaal en guano word deur bakterieë en swamme as voedingsbron benut. Die bakterieë en swamme word weer in die vadosse sone deur nematode en myte benut, terwyl die myte van sowel swamme as nematode kan leef. Die guano word ook deur vlieë en guanomotte as voedingsbron gebuik. Die myte, vlieë en motte word weer deur predatoriese artropode soos spinnekoppe en kewers as voedselbron benut.

Verskeie invertebraatgroepe is in die grondwaterpoel gevind. Dit sluit lede van die Gastrotricha (orde Chaetonotida), Annelida (klas Aphanoneura), Nematoda, Arthropoda (klas Crustacea) en Ciliophora in (Van Staden 2010). Dit is opmerklik dat die Ciliophora, Nematoda, Crustacea en Chaetonotida in die freatiese sone hoofsaaklik bakteriovore is (Lynn & Small 1990; Van Tonder 2006; Thorp & Covich 2001; Jansen van Rensburg 2010).

Dit is duidelik dat die komplekse karst-ekosisteem van Bakwenagrot grotendeels van bakterieë en swamme afhanklik is. Die grootste konsentrasie en verskeidenheid organismes kom in die vlermuisguano en grondwater voor waar die hoogste bakteriële aktiwiteit voorkom. Wanneer reënwater deur die grot vloei, spoel vlermuisguano van die hoofkamer tot in die grondwater en so word die grondwater met voedingstowwe aangevul. Dit dien as voedingsmedium vir die waterbewonende bakterieë en swamme.

Die swamkoninkryk word deur 'n wye verskeidenheid eukariotiese heterotrofiese mikrobies verteenwoordig. In hierdie studie is verskeie mikroswamme geïsoleer wat verskeie genera verteenwoordig. Grond en guano is hoogs komplekse mediums met sowel abiotiese as biotiese komponente. Hierdie komponente beïnvloed op hulle beurt weer die mikrobe-populasie in die substraat. Die grootste gedeelte van hierdie populasie word deur swamme voorgestel.

Bogenoemde gevolgtrekking is nie net op biomassa gebaseer nie, maar ook op fisiologiese aktiwiteit (Kjøller & Struwe 1982). Die swamme wat voorlopig geïdentifiseer is, verteenwoordig verskeie grondswamgenera. Grondswamme speel 'n rol in verskeie ingewikkelde sisteme met noemenswaardige bydraes tot ontbinding, die koolstof- en stikstofsiklus en grondintegriteit (Bills *et al.* 2004). Alle groot taksonomiese swamgroepe kom in grond voor, maar die getal spesies wat in grond leef, is onbekend (Bills *et al.*,

2004). Nuwe spesies word met byna elke nuwe opname wat gemaak word tot ons huidige kennis bygevoeg (Bills *et al.*, 2004). Die verdere identifikasie en karakterisering van die geïsoleerde swamme sal dus 'n noemenswaardige bydrae tot ons kennis van die swam-ekosisteem in die Bakwenagrot en soortgelyke grotsisteme lewer.

Die karst-ekologie is ook dus van die teenwoordigheid van die vlermuiskolonie afhanklik. Sonder die vlermuise sou die guano nie daar gewees het nie. Die vlermuise benut egter die grot slegs as slaap- en oorwinterplek, terwyl hulle hul kos op die grasvelde, vleilande en in die oewerbosse buite die grot kry. Indien die ekologie buite die grot nie bewaar word nie, sal die voedingsgebied van die vlermuise verdwyn en sal hulle waarskynlik die grot verlaat. Wanneer dit gebeur, sal daar 'n reeks uitsterwings volg wat tot die ineenstorting van die verweefde voedselweb in Bakwenagrot sal lei.

Die nematode vorm die algemeenste, mees wydverspreide en talrykste groep diere in die Bakwenagrot wat 'n groot verskeidenheid ordes en families verteenwoordig. In vergelyking met ander studies van nematode in grotte (Andrássy 1959, 1973; Abolafia & Peña-Santiago 2006; Hodda *et al.* 2006; Joseph 1879; Zullini 1977) is 19 genera en 5 families (Diplogasteridae, Diploscapteridae, Trichodoridae, Aphelenchidae en Aphelenchoididae) van die Bakwenagrot nuwe rekords vir hierdie unieke omgewing. Abolafia en Peña-Santiago (2006) is van mening dat die meeste spesies wat in grotte gevind word, toevallige inwoners is.

Die enkele eksemplaar van *Trichodorus parorientalis* (Decraemer & Killian 1992), 'n endemiese spesie in Suid-Afrika wat met slegs een monsterneming gevind is, is waarskynlik so 'n toevallige inwoner. Hierdie eksemplaar kon met vloedwater ingespoel het of met syferwater wat die ondergrondse poel deur die grondlae bereik het. Andrássy (1966) het dan ook opgemerk dat water die belangrikste wyse is waarop nematode 'n grot kan bevolk.

'n Afname in die rykdom van spesies namate 'n mens dieper in 'n grot ingaan, is ook in submariene-grotte waargeneem (Martí *et al.* 2004), maar is nie die norm in terrestriële grotte nie (Christman & Culver, 2001; Sambugar *et al.*, 2008). Sambugar *et al.* (2008) het daarop gewys dat die habitatskeiding deur plaaslike toestande, soos mikrohabitatstruktuur, beïnvloed word. Die patroon binne die Bakwenagrot stem ooreen met Sambugar se redenasie: As die ses lokaliteite met mekaar vergelyk word, vanaf die grotopening tot die ondergrondse poel, het laasgenoemde onverwags die hoogste spesierykdom en -diversiteit. Die rede hiervoor is dat die ondergrondse poel 'n redelik geïsoleerde habitat is, betreffende besoeke van 'n verskeidenheid diere, terwyl die grotingang geredelik in aanraking is met die buitewêreld. Omdat die twee lokaliteite totaal verskillend is, die een akwaties en die ander terrestriël, kan aangeneem word dat hul spesiediversiteit en -samestelling heeltemal sal verskil.

Die diversiteit van die nematode in die guanomonsters (lokaliteit 3 en lokaliteit 4) is laag en slegs drie spesies is hierin



gevind. Twee van hierdie spesies is waarskynlik bevoordeel as gevolg van hul vermoë om 'n dormante stadium in te gaan sodra ongunstige toestande aanbreek. Nicholas en Stewart (1985) het byvoorbeeld opgemerk dat 'n vrylewende *Panagrolaimus* sp. dehidrering vir agt jaar kon weerstaan deur in 'n anhidrietiese staat in te gaan. Die rede vir die lae gelykheidsindekse (J') in lokaliteit 4 (vars guano uit sykamer) en lokaliteit 6 (grotvloer van sygrot) is toe te skryf aan die teenwoordigheid van slegs twee spesies in dié lokaliteite, met 'n gevolglike hoë variasie in die gemeenskappe van die spesies. Gelykheidswaardes val tussen 0 en 1 en hoe nader die waarde aan 1 kom, hoe kleiner is die variasie in die gemeenskap tussen die spesies (Pielou 1975).

Die trofiese struktuur van die grot word gedryf deur voedselbronne wat by elk van die lokaliteite beskikbaar is. Soos reeds verduidelik, is dit onmoontlik om te bepaal of die Bakwenagrot 'n versteurde omgewing het, grootliks omdat data nie in replikaat geneem is nie en omdat daar nie 'n verwysingswaarde bestaan nie. Bongers en Bongers (1998) het gewys dat die MI-waardes kan verskil vanaf 1 (in beesmis) tot 4 in onversteurde toestande (grasveld). Die lae MI-waardes van lokaliteit 3 en lokaliteit 4 (onderskeidelik droë en nat guano) kan aan die ryk organiese verbindings van guano gekoppel word.

Andrássy (1966) het tereg gesê dat vlermuise 'n belangrike rol in die beskikbaarstelling van voedsel in 'n grotsisteem speel. Hierdie voedsel bestaan uit bakterieë en swamme waarvan die nematode leef, wat dan die rede is waarom verrykingsopportuniste met guano geassosieer word. 'n Ander wyse om die MI-waardes in die Bakwenagrot te interpreteer, is om te redeneer dat die toevoeging van voedsel, in dié geval guano, die vinnig voortplantende spesies bevoordeel en die resultaat 'n verlaging in MI-waarde is. Die grotvloer, wat die hoogste MI-waarde het, het waarskynlik nie die voedseltoevoeging van die ander lokaliteite nie en dus word dié habitat nie deur 'n vinnig voortplantende spesie bevolk nie.

In die droë, maar veral die vars guano, was twee bakterievoedende nematode, *Panagrolaimus* sp. en *Diplogasteroides* sp. in baie groot getalle teenwoordig ($\pm 10\,500/50$ mL vars guano). Volgens Poinar en Bai (1979) is daar 'n foretiese assosiasie tussen sekere *Panagrolaimus* spp. en insekte in die sin dat die weerstandbiedende derdestadiumlarwes hulle aan die buitekant van die insek vasheg om so van een plek na die volgende gedra te word. Die vraag het onmiddellik ontstaan of die insekte wat deur die vlermuise ingeneem word, nie dalk deur die uitskeidings van die vlermuise in die grot beland nie, vandaar dan die groot bevolkingsgetalle van hierdie nematode in die guano. Vyf *Miniopterus natalensis* vlermuise is vervolgens gedissekteer en die dermkanale is vir nematode ontleed. Geen *Panagrolaimus* sp. of *Diplogasteroides* sp. is gevind nie, maar twee diereparasitiese nematode, 'n *Molinostrongylus* sp. (Figuur 10E) en 'n moontlike *Capillaria* sp. (Figuur 10F), is in die wand van die dermkanal van die vyf vlermuise geïdentifiseer (Szamosvari & Durand 2010).

In dergelike studies van intestinale parasiete van *Miniopterus natalensis* in die Wes-Kaap en Pretoria is bevind dat *Molinostrongylus* spp. tot 50% uitmaak van alle parasiete in die dermkanal van hierdie vlermuise. Hierdie nematoodgenus behoort tot die Orde Strongylida en Familie Molineidae. Die gasheer van dié parasiete sluk die infektiewe larwes en eiers saam met voedsel of water in en word so geïnfekteer. Die genus *Capillaria* word ingesluit in die Orde Trichurida, Familie Capillariidae. Spesies van hierdie genus is parasities in omtrent alle organe en weefsels van vertebrate en veroorsaak simptome soos diarree, swakheid en gewigsverlies. Infeksie deur die parasiet geskied op dieselfde manier as dié van *Molinostrongylus* en geen tussengasheer, soos ook in *Molinostrongylus*, is nodig nie (Schmidt & Roberts 2006). In vorige studies wat op die helmint-parasiete van *Miniopterus natalensis* in Suid-Afrika gedoen is, is drie nematoodspesies geïdentifiseer, 'n spesie behorende tot die Capillariinae, *Litomosa chiropterorum* en *Molinostrongylus ornatus* (Junker, Bain & Boomker 2008).

Die amfipoodgenus *Sternophysinx* val onder die Familie Sternophysingidae en is endemies aan Suider-Afrika. Die Bakwenagrot was die eerste plek in Suid-Afrika waar varswateramfipode ontdek is. Alhoewel *S. calceola* ook in die Wieg van die Mensdom gevind is, is hulle uiters skaars daar en is hulle slegs by enkele geleenthede waargeneem (Durand 2008). Dit is moontlik dat die suidelike populasie van *S. calceola* geneties van die een in die noorde verskil weens geografiese isolasie. As dit die geval is, is beide populasies uniek en weens hulle klein verspreidingsgebied, endemisme en klein getalle baie kwesbaar. Hierdie kwesbaarheid word vermenigvuldig deur hul afhanklikheid van vlermuise as die hoofbron van die voedingstowwe in die gebiede waar hulle woon.

Amfipode eet die biofilm wat hoofsaaklik uit swamme en bakterieë bestaan wat op die bodem van die grondwaterpoele, krake en interstisiële ruimtes voorkom (Gilbert *et al.* 1994). Van Tonder (2006) meld egter dat hulle ook verrottende blare, gisse en vlermuisinguano eet. Dit is moontlik dat hulle die mikro-organismes wat op die verrottende blare en in die guano voorkom, eet. Hulle tree ook as karnivore op wat klein invertebrate soos annelide vreet. Hulle vang soms ander amfipode van dieselfde spesie of ander spesies ongeag of hulle lewendig, gewond of dood is en vreet hulle (Van Tonder 2006).

Die verlies van die voedselweb in die Bakwenagrot sal 'n groot verlies vir die biodiversiteit van Suid-Afrika wees. Sommige van die spesies wat tydens die studie ontdek is, kan moontlik nuwe spesies wees. Geen van die makroskopiese spesies in die vadosse sone het troglomorfie ondergaan nie. Dit blyk dus dat hulle nie spesiaal vir grotbewoning aangepas is en verpligte grotbewoners geword het nie, maar eerder troglafiele is wat opportunisties in die grot leef (Durand 2008). Die uniekheid van die ekologie van die Bakwenagrot lê in die samestelling daarvan en dat daar drie vlakke van afhanklikheid tussen organismes voorkom – op



die oppervlak, in die vadose en in die freatische sone, wat dit dus moontlik maak om die energievloei van 'n grashalm op die oppervlakte tot by 'n amfipood of nematood 30 m ondergronds te volg.

Erkenning

Louise Kritzingen word bedank vir die fotografie tydens die projek. Steve Swart en Martha Durand word bedank vir die versameling van monsters. Die LNR (Irene-kampus) word bedank vir toegang tot die grot. Dr Jenő Kontschán van die Loránd Eötvös Universiteit, Budapest, Hongarye, word bedank vir die identifikasie van die myt, *Chiropturopoda coprophila* van die familie Uroactinidae.

Mededingende belange

Die outeurs verklaar dat hulle geen finansiële of persoonlike verbintenisse het met enige party wat hul nadelig kon beïnvloed in die skryf van hierdie artikel.

Outeursbydraes

F.D. (Universiteit van Johannesburg) was die projekteier. F.D. (Universiteit van Johannesburg), A.S. (Landbounavorsingsraad), W.M. (Universiteit van Johannesburg), C.J.v.R. (Universiteit van die Vrystaat), J.H. (Landbounavorsingsraad), A.D-S. (Landbounavorsingsraad; Universiteit van Pretoria), E.U. (Landbounavorsingsraad), R.J. (Landbounavorsingsraad), L.d.W. (Waterlab, Pretoria), L.T. (Noordwes-Universiteit) en E.V. (Universiteit van Johannesburg) was verantwoordelik vir die eksperimentele en projek-ontwerp en het die meeste van die eksperimente uitgevoer.

F.D. (Universiteit van Johannesburg), A.S. (Landbounavorsingsraad), W.M. (Universiteit van Johannesburg), C.J.v.R. (Universiteit van die Vrystaat), J.H. (Landbounavorsingsraad), A.D-S. (Landbounavorsingsraad; Universiteit van Pretoria), E.U. (Landbounavorsingsraad), R.J. (Landbounavorsingsraad), L.d.W. (Waterlab, Pretoria), L.T. (Noordwes-Universiteit) en E.V. (Universiteit van Johannesburg) het die berekeninge uitgevoer en die manuskrip geskryf.

Literatuurverwysings

- Abolafia, J., Peña-Santiago, R., 2006, 'Description and SEM observations of *Stegelletina caprophila* sp.n. (Nematoda: Rhabditida) from caves of Andalusia Oriental, Spain', *Journal of Nematology* 38, 411–417.
- Altschul, S.F., Gish, W., Miller, W., Myers, E.W. & Lipman, D.J., 1990, 'Basic local alignment search tool', *Journal of Molecular Biology* 215, 403–410.
- Andrássy, I., 1959, 'Nematoden aus der Tropfsteinhöhle "Baradla" bei Aggtelek (Ungarn), nebst einer Übersicht der bisher aus Höhlen bekannten freilebenden Nematoden-Arten', *Acta Zoologica Hungarica (Budapest)* 4, 253–277.
- Andrássy, I., 1966, 'Nematodes and their role in caves', in E.H. Rapoport (ed.), *Prograssos en biología del suelo: Actas del primer coloquio latino americano de biología del suelo en la Universidad Nacional del Sur Bahía Blanca (Argentina)*, pp. 303–312, UNESCO, Montevideo, Uruguay.
- Andrássy, I., 1973, 'Nematoden aus Strand und Hohlenbiotipen von Kuba', *Acta Zoologica Hungarica* 19, 233–270.
- Baudunette, R.V., Wells, R.T., Sanderson, K.J. & Clark, B., 1994, 'Microclimatic conditions in maternity caves of the bent-wing bat, *Miniopterus schreibersii*: an attempted restoration of a former maternity site', *Wildlife Research* 21(6), 607–619. <http://dx.doi.org/10.1071/WR99040607>
- Bills, G.F., Collado, J., Ruibal, C., Peláez, F. & Platas, G. (2004), '*Hormonema carpentum* sp. nov., a new lineage of dothideaceous black yeasts from Spain', *Studies in Mycology* 50, 149–157.
- Bongers, T., 1990, 'The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition', *Oecologia* 83, 14–19. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00324627>
- Bongers, T., 1999, 'The maturity index, the evolution of nematode life history traits, adaptive radiation and c-p scaling', *Plant Soil* 212, 13–22. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1004571900425>
- Bongers, T. & Bongers, M., 1998, 'Functional diversity of nematodes', *Applied Soil Ecology* 10, 239–251. [http://dx.doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00123-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00123-1)
- Buyer, J.S. & Drinkwater, L.E., 1997, 'Comparison of substrate utilisation assay and fatty acid analyses of soil microbial communities', *Journal of Microbiological Methods* 30, 3–11. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-7012\(97\)00038-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-7012(97)00038-9)
- Christman, M.C. & Culver, D.C., 2001, 'The relationship between cave biodiversity and available habitat', *Journal of Biogeography* 28, 367–380. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2699.2001.00549.x>
- Decraemer, W. & Kilian, S., 1992, 'Description of *Trichodorus parorientalis* n. sp. (Nemata: Diphtherophoroidea) from South Africa', *Fundamental and Applied Nematology* 15(6), 539–543.
- De Klerk, A.R., Durand, J.F. & Nel, A., 2007, 'The discovery of an amphipod, lost in translation, in a cave at Irene, leading to a new distribution of *Sternophysinx calceola*', Unpublished BSc honours project, Department of Zoology, University of Johannesburg, South Africa.
- Dippenaar-Schoeman, A.S. & Myburgh, J.G., 2009, 'A review of the cave spiders (Arachnida: Araneae) from South Africa', *Transactions of the Royal Society of South Africa* 64(1), 53–61. <http://dx.doi.org/10.1080/00359190909519237>
- Durand, J.F., 2008, 'Die karst-ekologie van Suid-Afrika met spesiale verwysing na die Wieg van die Mensdom Wêrelderfenisgebied', *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* 24(4), 5–15.
- Garland, J.L. & Mills, A.L., 1991, 'Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-level sole-carbon-source utilisation', *Applied and Environmental Microbiology* 57, 2351–2359.
- Gilbert, J., Stanford, J.A., Dole-Olivier, M.J. & Ward, J.V., 1994, 'Basic attributes of groundwater ecosystems and prospects for research', in J. Gilbert, D.L. Danielopol & J.A. Stanford (eds.), *Groundwater ecology*, pp. 7–40, Academic Press, California.
- Heyns, J., 2002, 'Checklist of free-living nematodes recorded from freshwater habitats in Southern Africa', *Water S.A.* 28, 449–456. <http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v28i4.4918>
- Hill, M.O., 1973, 'Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences', *Ecology* 54, 427–432. <http://dx.doi.org/10.2307/1934352>
- Hodda, M., Ocaña, A. & Trautspurger, W., 2006, 'Nematodes from extreme habitats', in E. Abebe, W. Trautspurger & I. Andrassy (eds.), *Freshwater nematodes: Ecology and Taxonomy*, pp. 179–210, CABI International, Wallingford. <http://dx.doi.org/10.1079/9780851990095.0179>
- Holsinger, J.R., 1992, 'Sternophysingidae, a new family of subterranean amphipods (Gammaridea: Crangonyctoidea) from South Africa, with description of *Sternophysinx calceola*, new species, and comments on phylogenetic and biogeographic aspects', *Journal of Crustacean Biology* 12(1), 111–124.
- Holsinger, J.R. & Straskraba, M., 1973, 'A new genus and two new species of subterranean amphipod crustaceans (Gammaridae) from South Africa', *Annales de Speleologie* 28, 69–79. <http://dx.doi.org/10.2307/1548726>
- Jansen van Rensburg, C., 2010, 'Nematodes from the Bakwena Cave in Irene, South Africa', Unpublished MSc dissertation, Ghent University, Ghent.
- Joseph, G., 1879, 'Über die in den Krainer Tropfsteingrotten einheimischen, frei lebenden Rundwürmer (Nematoden)', *Zoologischer Anzeiger* 2, 275–277.
- Junker, K., Bain, O. & Boomker, J., 2008, 'Helminth parasites of Natal long-fingered bats, *Miniopterus natalensis* (Chiroptera: Miniopteridae), in South Africa', *Onderstepoort Journal of Veterinary Research* 75, 261–265.
- Krantz, G.W. & Walter, D.E., 2009, *A manual of Acarology*, Texas Tech University Press, Lubbock.
- Kjøller, A. & Struwe, S., 1982, 'Microfungi in ecosystems: fungal occurrence and activity in litter and soil', *Oikos* 39, 389–422.
- Kleynhans, K.P.N., 1999, *Collecting and preserving nematodes*, Manual for a SAFRINET course in practical Nematology. SAFRINET, the Southern African (SADC) LOOP of BioNET-International, Pretoria, South Africa.
- Lynn, D.H. & Small, E.B., 1990, 'Phylum Ciliophora', in L. Margulis, J.O. Corliss, M. Melkonian & D.J. Chapman (eds.), *Handbook of Protozoa*, pp. 498–523. Jones and Bartlett, Boston.
- Magurran, A.E., 1988, *Ecological diversity and its measurement*, Princeton University Press, Princeton.
- Martí, R., Uriz, M.J., Ballesteros, E. & Turon, X., 2004, 'Benthic assemblages in two Mediterranean caves: species diversity and coverage as a function of abiotic parameters and geographic distance', *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 84, 557–572. <http://dx.doi.org/10.1017/S0025315404009567h>
- Methuen, P.A., 1911a, 'On an amphipod from the Transvaal', *Proceedings of the Zoological Society of London* 2, 948–957.
- Methuen, P.A., 1911b, 'Transvaal Crustacea. Part 2. Notice of a freshwater amphipod from South Africa', *Annale van die Transvaal Museum* 3, 96–101.
- Nelson, P.E., Tousson, T.A. & Marasas, W.F.O., 1983, *Fusarium Species: an Illustrated Manual for Identification*, Pennsylvania State University Press, University Park.
- Nicholas, W.U. & Stewart, A.C., 1985, 'Cryptobiotic nematodes in dry soil from Kinchega National Park, NSW', *Australian Nematologists' Newsletter* 4, 18–21.



- Nylor, A. & Durand, J.F., 2009, 'The life stages and feeding behaviour of the guano moth in Bakwena Cave, Irene', Unpublished BSc honours project, Department of Zoology, University of Johannesburg, South Africa.
- Pielou, E.C., 1975, *Ecological Diversity*, Wiley, New York.
- Poinar, G.O. & Bai, G., 1979, '*Panagrolaimus migophilus* sp.n. associated with *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) in India', *Indian Journal of Nematology* 9, 1–4.
- Sambugar, B., Ferrarese, U., Martínez-Ansemil, E., Stoch, F., Tomasin, G. & Zullini, A., 2008, 'The groundwater fauna of Piani Eterni karstic area (Dolomiti Bellunesi National Park, Southern Limestone Alps, Italy) and its zoogeographic significance', *Subterranean Biology* 6, 65–74.
- Schellenberg, A., 1936, 'Die Amphipodengattungen um *Crangonyx*, ihre Verbreitung und ihre Arten', *Mitteilungen Zoologischen Museum Berlin* 22, 31–43. <http://dx.doi.org/10.1002/mmzn.19370220103>
- Schmidt, G.D. & Roberts, L.S., 2006, *Foundations of Parasitology*, 7th edn., McGraw Hill, New York.
- Scholtz, C.H. & Holm, E., 1985, *Insects of Southern Africa*, Butterworth Publishers, Durban.
- Szamosvari, J.-L. & Durand, J.F., 2010, 'Nematodes associated with the Natal long-fingered bat (*Miniopterus natalensis*) colony in Bakwena Cave', Unpublished BSc honours project, Department of Zoology, University of Johannesburg, South Africa.
- Tasaki, S., 2006, 'The presence of stygobitic macroinvertebrates in karstic aquifers: a case study in the Cradle of Humankind World Heritage Site', Unpublished MSc dissertation, Department of Zoology, University of Johannesburg, South Africa.
- Thorp, J.H. & Covich, A.P., 2001, *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*, Academic Press, San Diego.
- Trollip, N.Y.G., 2006, 'The geology of an area south of Pretoria with specific reference to dolomite stability', Unpublished MSc dissertation, Department of Geology, University of Pretoria, South Africa.
- Van der Merwe, M., 1973, 'Aspects of hibernation and winter activity of the Natal clinging bat, *Myotis schreibersii natalensis* (A. Smith, 1834) on the Transvaal Highveld', *South African Journal of Science* 69, 116–118.
- Van der Merwe, M., 1975, 'Preliminary study on the annual movements of the Natal clinging bat', *South African Journal of Science* 71, 237–241.
- Van der Merwe, M., 1978, 'Postnatal development and mother-infant relationships in the Natal clinging bat, *Myotis schreibersii natalensis* (A. Smith, 1834)', in proceedings of the 4th International Bat Research Conference, pp. 309–322. National Academy of Arts & Sciences, Kenya, 1975.
- Van Staden, A., 2010, 'The microfaunal composition of the groundwater of the Bakwena Cave (Irene) karst system', Unpublished BSc honours project, Department Zoology, University of Johannesburg, South Africa.
- Van Tonder, S. (2006). *The feeding behaviour and general histological characteristics of the gastrointestinal tract of South African cave-dwelling amphipods*. Unpublished MSc dissertation, University of Johannesburg, South Africa.
- White, T.J., Bruns, T., Lee, S. & Taylor, J.W., 1990, 'Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics', in M.A. Innis, D.H. Gelfand, J.J. Sninsky & T.J. White (eds.), pp. 315–322, *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*, Academic Press Inc., New York.
- Winding, A. & Hendriksen, N.B., 1997, 'BIOLOG® substrate utilisation assay for metabolic fingerprints of soil bacteria: incubation effects', in I. Insam & A. Rieger, A. (eds.), *Microbial Communities: Functional versus Structural Approaches*, pp. 195–205, Springer-Verlag, Berlin.
- Yeates, G.W. & Bongers, T., 1999, 'Nematode diversity in agroecosystems', *Agriculture Ecosystems and Environment* 74, 113–135. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00033-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00033-X)
- Yeates, G.W., Bongers, T., De Goede, R.G.M., Freckman, D.W. & Georgieva, S.S., 1993, 'Feeding habits in nematode families and genera – an outline for soil ecologists', *Journal of Nematology* 25, 315–331.
- Zullini, A., 1977, 'Some freshwater nematodes of Southern Mexico and Guatemala. Subterranean fauna of México. Part III', *Quadern, Accademia Nazionale dei Lincei* 171, 75–85.