

# Estratègies de recol·lecció de plantes i paleoambients durant la Middle Stone Age a Pinnacle Point (costa sud de Sud-àfrica): les anàlisis de fitòlits

Irene Esteban,<sup>1,2,3\*</sup> Rosa María Albert,<sup>2,3,4</sup> Dan Cabanes,<sup>5</sup> Curtis W. Marean<sup>3,6</sup>

## Introducció

Les plantes constitueixen un recurs imprescindible per a la realització d'activitats de la vida quotidiana de poblacions caçadores-recol·lectores. S'utilitzaven principalment com a base de l'alimentació, com a font important d'aigua (per exemple els geòfits, que són plantes amb òrgans de reserva d'aigua), com a combustible per als focs (fusta), i com a material per elaborar eines per a la caça i la pesca (arcs, fletxes, xarxes, etc.) o utensilis amb finalitats diverses com l'emmagatzematge i/o el transport d'aliments, la construcció de cabanes i estoretes per dormir, elaboració de medicines i cosmètics, etc.

El principal combustible emprat en fogars d'origen antròpic és la fusta, tot i que també s'haurien pogut emprar altres tipus de plantes per iniciar la combustió o per crear condicions idònies per a l'ús de focs amb propòsits específics.

Dins de les societats caçadores recol·lectores que encara perviuen, tenim bons exemples de la importància de les plantes per a la seva subsistència, per exemple, estudis sobre societats caçadores-recol·lectores actuals, !Kung, Hadza i Aka Pygmy a l'Àfrica; aborígens australians i de Papua Nova Guinea mostren com gran part de la seva dieta està basada en el consum de vegetals (p. ex. Milton, 2000). En el sud d'Àfrica,

- 
1. Evolutionary Studies Institute, Palaeosciences Centre, East Campus, 1 Jan Smuts Avenue, Braamfontein, 2001, Private Bag 3, WITS 2050, Johannesburg, South Africa.
  2. ERAAUB. Departament d'Història i Arqueologia. Universitat de Barcelona. Montalegre, 6, 08001 Barcelona, Espanya.
  3. African Centre for Coastal Palaeoscience, Nelson Mandela Metropolitan University, Port Elizabeth, Eastern Cape 6031, South Africa.
  4. ICREA, pg. Lluís Companys 23, 08010 Barcelona, Espanya.
  5. Department of Anthropology and Center for Human Evolutionary Studies, Rutgers, The State University of New Jersey, Biological Sciences Building, 32 Bishop Street, New Brunswick, NJ 08901-8558, USA.
  6. Institute of Human Origins, School of Human Evolution and Social Change, PO Box 872402, Arizona State University, Tempe, AZ 85287-2402, USA.

la dieta de poblacions Khoisan, els quals han habitat la regió des de fa almenys 120.000 anys, s'ha basat en la seva major part en el consum de vegetals (Fox i Norwood Young, 1982; Parsons, 1993). Aquests estudis etnogràfics tenen gran importància per intentar comprendre els modus de vida de les poblacions caçadores-recol·lectores del passat.

No obstant això, aquests patrons de comportament en el passat s'han de contrastar a partir de la recerca arqueològica i de la identificació de restes vegetals preservades en jaciments arqueològics associats a caçadors-recol·lectors del passat. En aquest sentit, els resultats obtinguts en les darreres dècades posen en evidència que les plantes van jugar un paper fonamental per a la seva subsistència, malgrat que tradicionalment s'ha considerat el consum de carn com la base fonamental de la dieta.

Els canvis climàtics i ambientals també han jugat un paper de gran importància en les característiques biològiques i físiques, així com en la distribució geogràfica del gènere *Homo* i dels primers humans moderns. Els canvis ambientals ràpids i molt locals produïts per les fluctuacions entre períodes glacials (en aquest treball, l'estadi isotòpic marí 4) i interglacials (en aquest treball, els estadis isotòpics marins 5 i 3) van fer variar les línies de costa, van influenciar en les estratègies d'adaptació humanes i en van marcar l'evolució de la nostra espècie (p. ex., Potts, 1998; Ziegler [et al.], 2013; Compton, 2011).

Per això, entendre la relació que hi ha entre les plantes i els humans en la prehistòria és fonamental per comprendre com les poblacions del passat van evolucionar, van viure i van prosperar. Així, l'estudi de restes vegetals procedents de jaciments arqueològics també pot oferir informació sobre les condicions climàtiques i ambientals del passat, i la relació entre l'entorn i les poblacions humanes del passat.

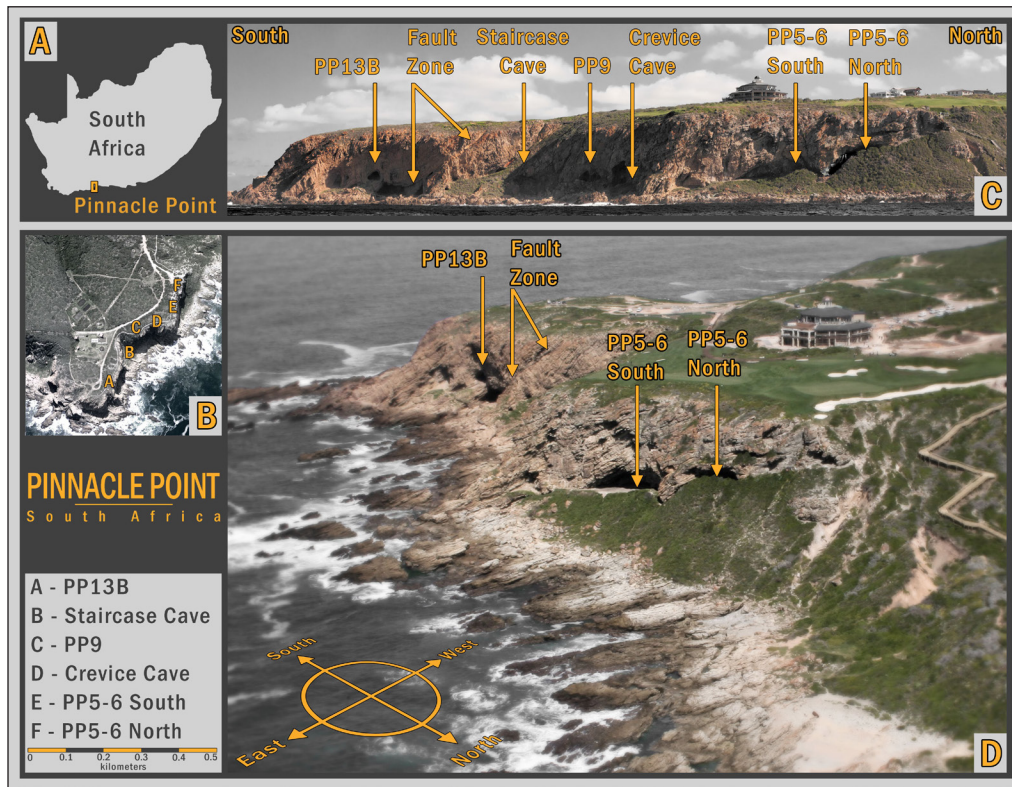
La Middle Stone Age (MSA) és un període de la prehistòria africana relacionat amb els humans anatòmicament moderns. Cronològicament la MSA abasta part del plistocè mitjà i plistocè superior, des de fa uns 300 ka (milers d'anys) fins fa uns 40-30 ka, període comprès entre els estadis isotòpics 8 i 3. Tot i la man-

ca de restes fòssils datades d'aquest període, a Sud-àfrica hi ha prop d'una cinquantena de jaciments arqueològics que daten de finals del plistocè mitjà, en els quals es documenta una cultura material amb clares evidències d'un comportament humà modern (p. ex., Henshilwood i Marean, 2003; Wadley, 2001). Aquestes inclouen l'explotació de recursos marins; el tractament tèrmic de la matèria primera lítica per a la seva talla; l'ús de comptes de petxines marines, eines en os, gravat d'objectes com nòduls d'ocre, restes faunístiques i ous; l'ús de pigments; evidències que mostren una planificació a llarg termini; tecnologia microlaminar que demostra l'elaboració de projectils; recol·lecció de petxines marines per la seva bellesa; construcció d'espais d'habitatge; i un comportament modern en la caça detectat en els patrons de mortalitat, les espècies caçades i l'abundància de restes animals trobats en els jaciments (Wadley, 2015, i referències aquí citades). Una de les localitats on trobem clares evidències d'aquest comportament modern és el complex arqueològic de Pinnacle Point, que és el focus de l'estudi que presentem aquí. Pinnacle Point es localitza a Mossel Bay, a la costa sud de Sud-àfrica, a l'àrea compresa entre el riu Breerivier, situat a l'oest de Still Bay, i Brenton Lake, als voltants de Knysna (figura 1). Es tracta d'una zona en la qual s'ha identificat un gran nombre de coves amb restes paleoantropològiques. L'elecció d'aquesta zona com a objecte del nostre treball de recerca es basa en diversos factors:

- 1) Llarga ocupació humana que comença durant el plistocè mitjà a la cova Pinnacle Point 13B (PP13B) fa uns 170 ka i acaba en el període holocè en el complex Pinnacle Point Shell Midden Complex (PPSMC) fa uns 0,9 ka (Marean [et al.], 2007; McGrath [et al.], 2015).

- 2) Pinnacle Point preserva les evidències més antigues de comportament humà modern com són l'explotació de recursos marins de manera contínua i intensa, així com el treball intencionat de l'ocre (Marean [et al.], 2007; Watts, 2010).

- 3) Com ja s'ha apuntat, els recursos vegetals constitueixen un recurs alimentari essencial per a la supervivència de societats caçadores-recol·lectores que ha estat la base de la dieta de



**Figura 1.** Localització geogràfica del complex arqueològic de Pinnacle Point que mostra les principals coves. A) Mapa de Sud-àfrica que marca la ubicació de Pinnacle Point; b-d) Fotografies panoràmiques de Pinnacle Point i de la localització de les principals coves i abrics rocosos presents a la zona (figura trenta de Karkanas [et al.], 2015).

les últimes poblacions caçadores recol·lectores a Sud-àfrica, els Khoisan (Fox i Norwood Young, 1982; Parsons, 1993).

4) La costa sud de Sud-àfrica se situa a la Gran Regió Floral Capense (GCFR, sigles del terme anglès *Greater Cape Floristic Region*), la qual presenta la flora extratropical de més diversitat en termes de riquesa i endemisme (Colville [et al.], 2014).

5) Existeix una gran varietat de tipus de vegetació present a la nostra àrea d'estudi (Campbell [et al.], 1981), cadascun amb característiques biòtiques diferents, que es produeixen dins del que seria l'àrea d'explotació de recursos de caçadors-recol·lectors (10-15 km; Kelly, 1995; Marlowe, 2005). Això els hauria proporcionat una gran varietat de recursos vegetals entre els quals trobaríem moltes plantes comestibles com fruits i geòfits (Marean [et al.], 2014; De Vynck [et al.], 2015).

6) La costa sud de Sud-àfrica presenta, a més, un ecosistema marí molt ric (Menge i Branch, 2001; De Vynck [et al.], 2015), que els antics caçadors recol·lectors de la MSA coneixien i explotaven (Marean [et al.], 2007; Jerardino i Marean, 2010; Jerardino, 2016).

## ■ L'arqueobotànica i l'estudi de fitòlits

L'arqueobotànica és la disciplina arqueològica que estudia les restes vegetals provinents de contextos arqueològics amb l'objectiu de conèixer les condicions paleoambientals i les interrelacions entre els humans i les plantes en el passat. La identificació de restes vegetals preservades en jaciments arqueològics es du a terme generalment a través de l'estudi de restes vegetals macroscòpiques, aquelles que

es poden veure a ull nu, i microscòpiques, que no són visibles a simple vista i necessiten del suport d'un microscopi, una lupa, etc. Entre les restes macroscòpiques destaquen els estudis de carbons, llavors i restes de plantes fòssils, i entre les restes microscòpiques, els estudis de pol·len, midons, palinomorfs no pol·línics i fitòlits. En aquest treball utilitzem els fitòlits com a eina d'estudi per a la identificació i l'anàlisi de les estratègies de recol·lecció, explotació i ús dels recursos vegetals que van dur a terme les poblacions de caçadors-recol·lectors a la costa sud de Sud-àfrica durant el plistocè superior.

Els fitòlits són restes minerals microscòpiques que reproduïxen l'estructura cel·lular de certes plantes. La producció de fitòlits comença després que la sílice soluble (àcid monosilícic,  $H_4SiO_4$ ), present en sòls, és absorbida per les arrels de les plantes i conduïda fins a les parts aèries d'aquestes, emplena les parets cel·lulars, els interiors de les cèl·lules i els espais intracel·lulars i adopta la forma de l'estructura cel·lular en precipitar el silici en forma d'òpal ( $SiO_2 \cdot nH_2O$ ) (Piperno, 1988, 2006), per la qual cosa constitueix una eina de gran eficàcia per identificar les plantes en registres fòssils (Piperno, 1988, 2006 i referències que s'hi citen). A més, a causa de la seva naturalesa inorgànica, els fitòlits són resistents a diversos processos postdeposicionals que altres restes vegetals no poden superar en contextos arqueològics, i es poden trobar en sediments de diversos milions d'anys (Wolde Gabriel [et al.], 2009; McInerney [et al.], 2011; Strömberg i McInerney, 2011).

Els estudis de fitòlits aplicats a l'arqueologia constitueixen una eina de gran eficàcia per detectar i caracteritzar l'explotació dels recursos vegetals, l'ús de les plantes i la dieta de poblacions humanes del passat. La versatilitat dels fitòlits fa que el seu estudi s'hagi aplicat en contextos arqueològics de diversos períodes cronològics principalment per a l'estudi de poblacions de caçadors-recol·lectors (p. ex., Albert [et al.], 1999, 2000), l'estudi dels inicis de l'agricultura i l'emergència de societats productores neolítiques (p. ex., Piperno [et al.], 2000; Madella, 2003; Portillo [et al.], 2010; Madella

[et al.], 2014; García-Granero [et al.], 2017), així com societats productores des del neolític fins a períodes recents com l'època moderna i fins i tot en contextos urbans (p. ex., Piperno, 1988; Albert [et al.], 2008; Portillo [et al.], 2009; Cabanes [et al.], 2012; Devos [et al.], 2017).

En contextos arqueològics de caçadors-recol·lectors, els fitòlits es poden emprar per a l'estudi de les diverses estratègies de recol·lecció de plantes dutes a terme per aquestes poblacions i la seva relació amb una gran varietat d'activitats de la vida quotidiana, com l'ús de les plantes en relació amb el foc, la dieta, la preparació de llits (*bedding*), l'organització espacial dels jaciments, etc. (p. ex., Albert [et al.], 1999, 2000, 2003; Madella [et al.], 2002; Cabanes [et al.], 2007, 2010; Tsartsidou [et al.], 2015; Esteban [et al.], 2017a; Rodríguez-Cintas i Cabanes, 2017).

A través de la identificació de restes vegetals a partir de l'estudi de fitòlits, el nostre treball té dos objectius principals (objectius generals). El primer és detectar patrons d'estratègies d'explotació de recursos vegetals disponibles per als primers humans moderns que van habitar Pinnacle Point. Alguns aspectes específics que cal tenir en compte en relació amb les estratègies d'explotació de les plantes al jaciment serien:

i) detectar el tipus de combustible per fer focs utilitzats pels primers humans moderns que habiten Pinnacle Point, així com caracteritzar propietats específiques dels fogars, com podrien ser fogars específics per cuinar, etc.

ii) detectar possibles usos que els primers humans moderns van fer de plantes a Pinnacle Point, com podrien ser per al seu consum o altres pràctiques com la creació d'utensilis per transportar aliments, fer llits per dormir, etc.

iii) establir possibles modes d'ocupació de la cova en relació amb l'explotació de plantes.

L'altre objectiu principal és entendre la resposta d'entorns de la GCFR als cicles glacial-interglacial, els canvis en el règim de precipitacions i les seves implicacions amb l'evolució dels primers humans moderns que van habitar la costa sud de Sud-àfrica durant el plistocè final durant els estadis isotòpics marins del 5 al 3.



## Contextualització arqueològica i ambiental

Els treballs arqueològics que s'han dut a terme fins avui dia a Pinnacle Point s'han centrat en diverses coves i abrics rocosos (figura 1), entre els quals destaquen dues localitats, la cova PP13B i l'abric rocós PP5-6. Els treballs de camp a PP13B van començar l'any 2000 i es van estendre fins al 2006, any en què van començar els treballs de camp a PP5-6. L'any 2010 es va publicar una edició especial a la revista *Journal of Human Evolution* (núm. 59, edicions 3-4), que incloïa la major part dels treballs que es van dur a terme a la cova PP13B. L'estudi de fitòlits d'aquesta cova es va publicar a la revista *Geoarchaeology* (Albert i Marean, 2012).

La formació d'aquest conjunt de coves se situa al voltant d'1,1 milions d'anys abans del present a partir de datacions dutes a terme a través d'urani-plom (U-Pb) i de luminescència estimulada òpticament per transformació tèrmica (TT-OSL, per les seves sigles en anglès) en dipòsits sedimentaris marins i eòlics procedents de tres localitats properes a Pinnacle Point (Jacobs [et al.], 2011), així com d'espeleotemes i grans de quars provinents de dipòsits eòlics, dunes fòssils i sediments antropogènics en dues coves situades a Pinnacle Point (PP13G i PPOH) (Pickering [et al.], 2013).

El nostre estudi se centra en el jaciment PP5-6, el qual és un dels diversos abrics rocosos que abasta del plistocè mitjà final fins a la meitat del plistocè superior (Bar-Matthews [et al.], 2010; Brown [et al.], 2009, 2012; Marean, 2010; Marean [et al.], 2004; Matthews [et al.], 2011). El dipòsit principal a PP5-6 es coneix com a Long Section i és on la majoria dels treballs arqueològics s'han dut a terme. Es tracta d'un dipòsit de sediments d'uns 30 m de potència que es van acumular contra la paret de l'abric i parcialment sota el refugi de la coberta de l'abric. Abasta un període cronològic que va de fa ~100 a 50 ka (Marean [et al.], 2014). Els dipòsits antropogènics a PP5-6 són d'una gran riquesa, entre els quals destaca la presència de restes lítiques, faunístiques, ocre, peces d'ou d'estruç, restes de malacofauna i un gran nombre d'estructures de combustió ben

preservades (Brown [et al.], 2009, 2012; Karkanas [et al.], 2015). En canvi, no es preserven restes vegetals com carbons o pol·len.

El clima de Sud-àfrica està influenciat per diversos corrents oceànics i atmosfèrics, ja que es troba situada en la intersecció de regions de clima tropical, intertropical i temperat, així com entre els oceans Índic, Atlàntic i Antàrtic (Tyson i Preston-Whyte, 2000). Les variacions estacionals en la distribució regional de les pluges es produeix com a resposta als moviments de la zona de convergència intertropical (ITCZ, sigles del terme anglès *Intertropical Convergence Zone*). A més, la distribució regional de les pluges és la principal responsable de la vegetació i, en particular, de la distribució de plantes gramínies (Poaceae) amb diferents metabolismes fotosintètics. Les precipitacions a la regió est i nord-est de Sud-àfrica, on dominen les gramínies amb patró fotosintètic de tipus  $C_4$ , tenen lloc principalment durant l'estació estival, "pluges d'estiu" (SRZ, sigles del terme anglès *summer rainfall zone*). La regió oest de Sud-àfrica, on dominen gramínies amb patró fotosintètic de tipus  $C_3$ , està influenciada per "fortes pluges d'hivern" (S-WRZ, sigles del terme anglès *strong winter rainfall zone*) i "pluges d'hivern" (WRZ, sigles del terme anglès *winter rainfall zone*). En canvi, a la costa sud, la nostra àrea d'estudi, les pluges tenen lloc al llarg de l'any, ja que reben la major part de les pluges dels sistemes circumpolars de ponent en veure's també afectada per esdeveniments postfrontals, els quals són una advecció que creua el càlid oceà Índic i és la causa de la humitat en l'aire (Deacon [et al.], 1992; Tyson i Preston-Whyte, 2000; Engelbrecht [et al.], 2014). És per això que aquesta regió es coneix com la regió de "pluges al llarg de l'any" (YRZ, sigles del terme anglès *all year rainfall zone*) (p. ex. Chase i Meadows, 2007) i és on trobem una mescla de gramínies de tipus  $C_3$  i  $C_4$  (Cowling, 1983).

La vegetació de Sud-àfrica s'entén sobre la base del concepte de bioma. Un bioma és l'entitat més elevada en la jerarquia de les unitats de vegetació. Al sud d'Àfrica, Rutherford i Westfall (1986, 1994), i posteriorment Rutherford (1997), van reconèixer set biomes vege-

tals: *desert*, *forest*, *fynbos*, *grasslands*, *savanna*, *nama-karoo* i *succulent karoo*. Posteriorment, Mucina i Rutherford (2006) van reconèixer dos biomes addicionals als plantejats amb anterioritat per Rutherford i Westfall (1986, 1994), i que són *albany thicket* i *indian ocean coastal belt* (figura 2). Tots dos biomes formaven part anteriorment del bioma de *savanna*.

La nostra àrea d'estudi es localitza dins de la GCFR, la qual ocupa les regions de Core Cape Flora, Hantam-Tanqua-Roggeveld i Namaqualand i inclou els biomes *fynbos* i *succulent karoo*. La GCFR constitueix la flora extratropical més diversa en termes de riquesa i endemisme (Colville [et al.], 2014). Presenta 11.423 espècies

vasculars i 1.119 gèneres, dels quals el 79% de les espècies i el 22,2% dels gèneres són endèmics de la regió. La gran diversitat i endemisme de la vegetació (principalment *fynbos*) a la zona oest de la GCFR, en comparació amb la zona est, té l'origen en els moviments successius de les pluges d'estiu que es desplacen d'est a oest, cosa que va resultar amb l'extinció de taxons presents a les regions més a l'est de la GCFR (Cowling [et al.], 1999). Un element definitori de la flora de la GCFR és la seva riquesa en geòfits, els quals constitueixen el 20% del total de la flora, i que pertanyen en la seva majoria al grup de les monocotiledònies i a la família de les iridàcies (Procheş [et al.], 2005, 2006).

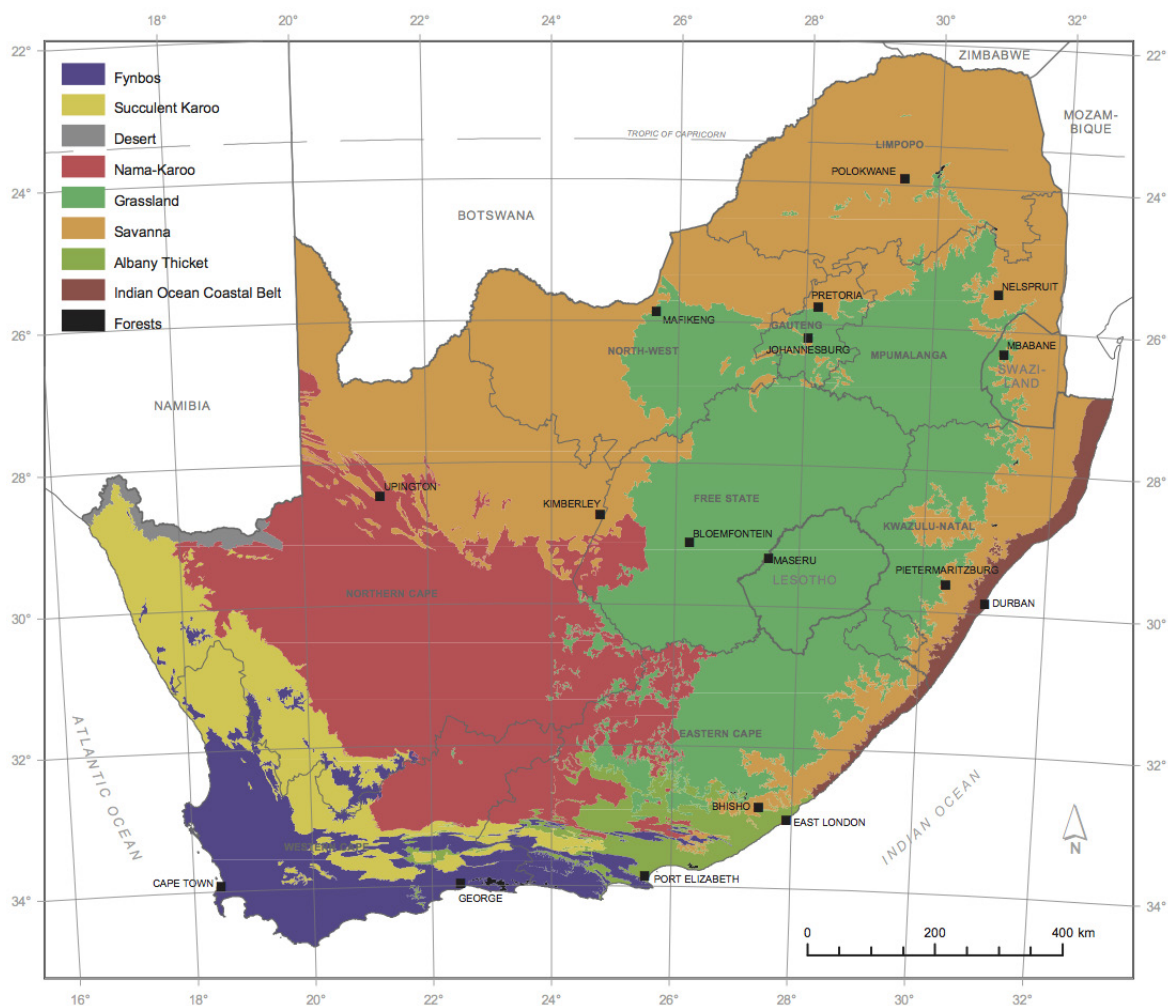


Figura 2. Biomes vegetals de Sud-àfrica (figura treta de Mucina i Rutherford, 2006).

## Materials i mètodes

### Materials

El material analitzat en aquesta investigació es compon d'un total de dues-centes sis mostres de sediment procedents de diversos dipòsits arqueològics de PP5-6 pel seu estudi de fitòlits (Esteban [et al.], 2018). La majoria de les mostres procedeixen de nivells d'ocupació humana, en la majoria dels casos d'estructures de combustió (fogars). A Pinnacle Point, les estructures de combustió es van analitzar, sempre que va ser possible, tenint en compte les diferents capes dels fogars, que es diferenciaven en nivells blanquinosos (probablement provinent de les cendres), nivells negrosos (provinent de la part del fogar on es concentren els carbons, és a dir, la fusta que no ha estat calcinada) i nivells vermellinosos, aquests últims eren la base dels fogars formada per sediments rubefactats. Es van agafar vint-i-tres mostres de nivells geogènics sense ocupació humana i els resultats es van fer servir a manera de control amb l'objectiu d'avaluar la introducció de plantes per agents naturals durant moments de desocupació del jaciment i ser contrastades amb els resultats procedents dels nivells antròpics.

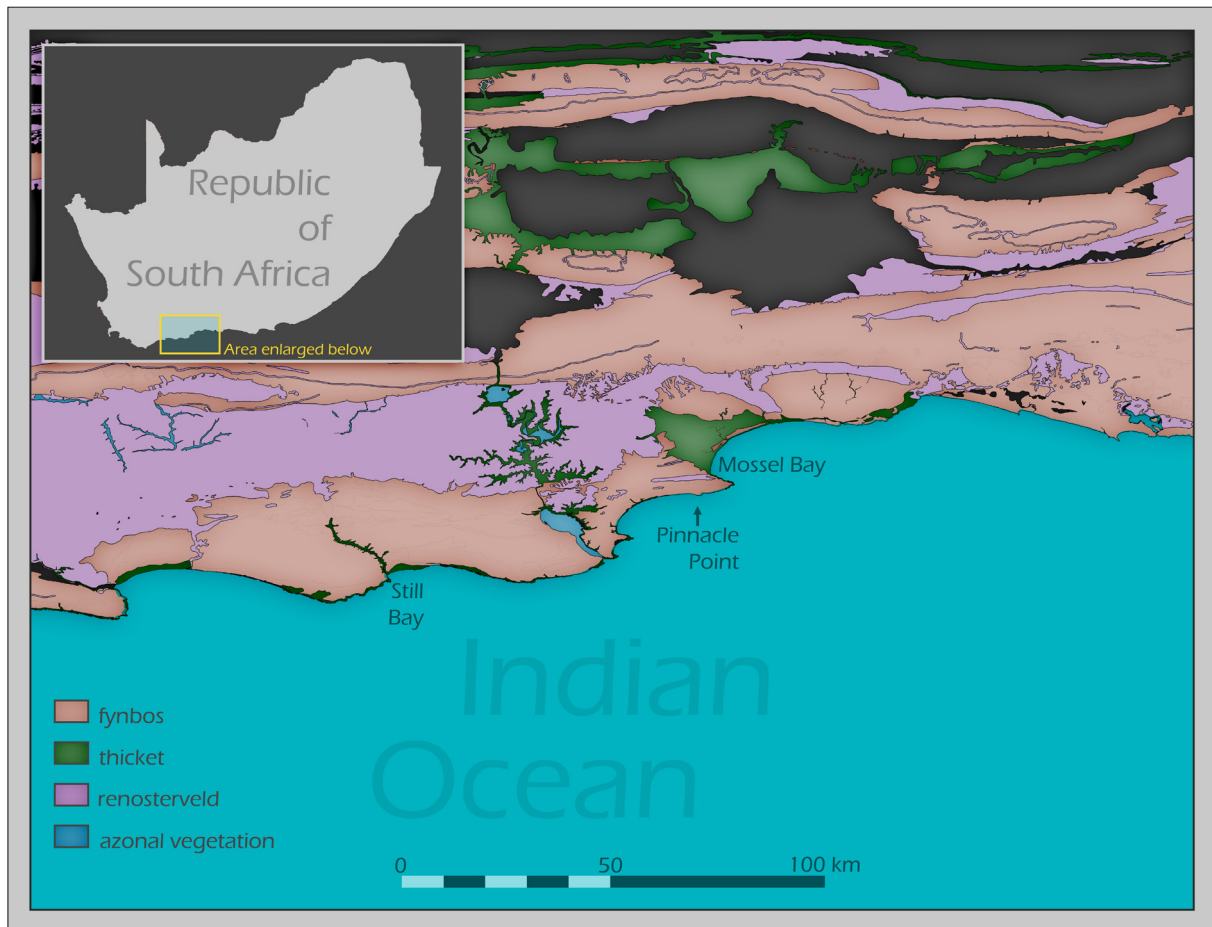
Malgrat que no forma part de l'estudi que es presenta en aquest treball, també vam realitzar un estudi de mostres tant de sòls com de plantes modernes provinents de la nostra àrea d'estudi, per tal de poder identificar la provenença dels fitòlits identificats així com reconstruir el paisatge característic de la zona (Esteban [et al.], 2017b, 2017c). Estudiarem un total de 56 espècies de plantes, pertanyents a 14 famílies diferents, incloent-hi plantes graminoides de les famílies *Restionaceae* i *Poaceae*, geòfits, i arbres i arbustos dicotiledonis (Esteban [et al.], 2017c). Per l'estudi dels sòls moderns, es van estudiar un total de 72 mostres provinents de 12 tipus de vegetació, els quals es poden agrupar en 5 biomes: *limestone fynbos*, *sand fynbos*, *mountain fynbos*, *grassy fynbos* (que formen part del bioma *fynbos*), *renosterveld* (que forma part del bioma *renosterveld*), *strandveld*, *dune cordon*, *subtropical thicket*, *coastal thicket* (que forma

part del bioma *thicket*), *coastal forest* (que forma part del bioma *forest*) i vegetació riberenca i d'aiguamolls (els quals formen part de vegetació azonal) (figura 3) (Esteban [et al.], 2017b).

### Mètodes

**Anàlisi de fitòlits:** per tal de poder extreure els fitòlits dels sediments i poder-los visualitzar al microscopi, és necessari realitzar uns processos químics que permetin eliminar, d'una banda, tot el material no silici (carbonats, fosfats, matèria orgànica, etc.) i, de l'altra, separar els fitòlits d'altres minerals silicis com ara el quars o argiles. L'extracció de fitòlits dels sediments arqueològics es va dur a terme seguint el mètode d'extracció ràpid proposat per Katz *et al.* (2010). Les anàlisis es van realitzar al laboratori d'arqueologia del Departament d'Història i Arqueologia de la Universitat de Barcelona. Es necessita una quantitat de sediment inicial d'entre 25 i 50 mg a la qual s'afegeixen 50 ml d'àcid clorhídric concentrat a sis normals (6 N HCl) per dissoldre els carbonats. Una vegada l'àcid ha completat la reacció química, s'afegeixen 450 ml de politungstè de sodi a una densitat de 2,4 g/ml [ $\text{Na}_6(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40})\cdot\text{H}_2\text{O}$ ] i se centrifuga durant 5 min a 5.000 rpm (MiniSpin plus, Eppendorf) per separar per densitats el material restant. El sobrenedant es transfereix en un nou tub de centrifugació de 0,5 ml. Aquest s'homogeneïtza i s'extreuen 50 µl de la solució, es col·loca en una làmina amb un cobrelàmines de 24 x 24 mm per examinar-ho al microscopi òptic (Olympus BX41). Seguint igualment Katz *et al.* (2010), la quantificació del total de fitòlits es basa en l'examen de 20 camps visuals a 200x. L'anàlisi morfològica es fa a 400x i per a aquest s'identifiquen un mínim de 200 fitòlits per mostra (Albert [et al.], 1999). Quan això no és possible, intentem identificar un mínim de 50 fitòlits amb l'objectiu d'obtenir la màxima informació possible, encara que el marge d'error és proper al 40% (Albert i Weiner, 2001).

La identificació i caracterització del conjunt de fitòlits es va fer a partir de la seva



**Figura 3.** Mapa de la nostra zona d'estudi que mostra els principals biomes vegetals de la Greater Cape Floristic Region [mapa creat pel Dr. Erich Fisher de l'Arizona State University seguint a Mucina i Rutherford (2006)].

comparació amb els resultats de la nostra col·lecció de referència de plantes i sòls moderns (Esteban, 2016; Esteban [et al.], 2017b, 2017c), així com amb estudis previs de la zona de Sud-àfrica (Rossouw, 2009; Cordova i Scott, 2010; Cordova, 2013; Novello [et al.], 2018; Murungi, 2017), altres regions geogràfiques (Albert i Weiner, 2001; Bamford [et al.], 2006; Tsartsidou [et al.], 2007; Mercader [et al.], 2009; Novello [et al.], 2012; Collura i Neumann, 2017; Albert [et al.], 2016 –disponible a [www.phytcore.org](http://www.phytcore.org)) i literatura estàndard (Mulholland i Rapp, 1992; Piperno, 1988, 2006; Twiss [et al.], 1969). La descripció i nomenclatura dels fitòlits identificats es pot consultar a Esteban (2016, [www.tesisenred.net/handle/10803/401426](http://www.tesisenred.net/handle/10803/401426)), i, sempre que va

ser possible, es va dur a terme seguint l'International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) (Madella [et al.], 2005).

**Anàlisi mineralògica:** En paral·lel a l'estudi dels fitòlits, vam realitzar una anàlisi mineralògica dels sediments. Aquestes anàlisis tenen com a objectiu identificar canvis en els diferents tipus de combustibles emprats per als focs, així com identificar diferents modes d'ocupació al jaciment. El component mineralògic de les mostres es va analitzar a través de l'FT-IR (espectròmetre Nicolet Thermo-Fisher iS5) al laboratori d'arqueologia del Departament d'Història i Arqueologia de la Universitat de Barcelona.



## Resultats

La llista de les mostres, amb informació detallada dels resultats de l'estudi de fitòlits i mineralògic, es pot consultar a Esteban (2016) i Esteban [et al.] 2018.

Les mostres provinents dels nivells geogènics sense ocupació humana van resultar estèrils en fitòlits independentment del nivell estudiat. Pel que fa a les estructures de combustió, es van observar diferències entre les diferents capes analitzades de les mateixes estructures de combustió tant amb l'anàlisi mineralògica dels sediments com amb l'estudi de fitòlits.

### Concentració de fitòlits i component mineralògic

Observarem que les capes negres van presentar un nombre superior de fitòlits per gram de sediment (/g sed), seguides per les capes blanquinoses, procedents de cendres de fusta (figura 4) (seguint Regev [et al.], 2010). Les mostres procedents de sediments rubefactats recollits de la base dels fogars, així com les mostres recollides de la part superior i dels límits externs dels fogars d'aquests, van ser les que van presentar el nombre més petit de fitòlits/g sed (figura 4). L'anàlisi mineralògica dels sediments va mostrar que la calcita (procedent de cendres de fusta –Regev [et al.], 2010) i l'argila (en molts casos amb signes d'haver estat cremada a al-

tes temperatures –Berna [et al.], 2007) van ser els components mineralògics més abundants a les capes negres i blanquinoses dels nivells YBSR (~90 ka) i LBSR (~85-74 ka) (Esteban [et al.] 2018, taula 1). Les capes rubefactades (vermelloses) així com les mostres procedents dels límits externs dels fogars van presentar, per contra, una absència o baixes concentracions de calcita, amb el quars com el principal component mineralògic (Esteban [et al.] 2018, taula 1). A través de l'estudi mineralògic dels sediments provinents del nivell SADBS (~70-72ka), vam observar que aquest nivell presenta la concentració més gran de calcita provinent de les cendres de fusta (Regev [et al.], 2010) entre la resta de nivells d'ocupació a PP5-6 (Esteban [et al.] 2018, taula 1). La majoria de les mostres estudiades procedents dels nivells BAS i BBCSR van presentar una concentració de fitòlits elevada (Esteban [et al.] 2018, taula 1). El component mineralògic en aquests nivells és molt diferent al que s'observa en nivells més antics. Aquí, el component mineralògic principal és l'argila i el quars, mentre que la calcita és absent a la majoria de les mostres analitzades.

### L'estudi morfològic de fitòlits

Pel que fa a l'anàlisi morfològica dels fitòlits en relació amb les diferents capes dels fogars del qual procedeixen, principalment dels nivells YBSR i LBSR, es va observar que les capes

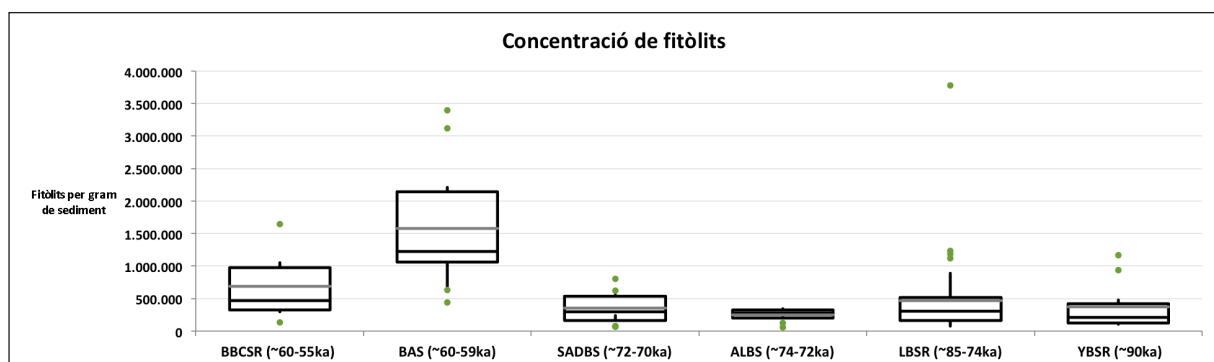
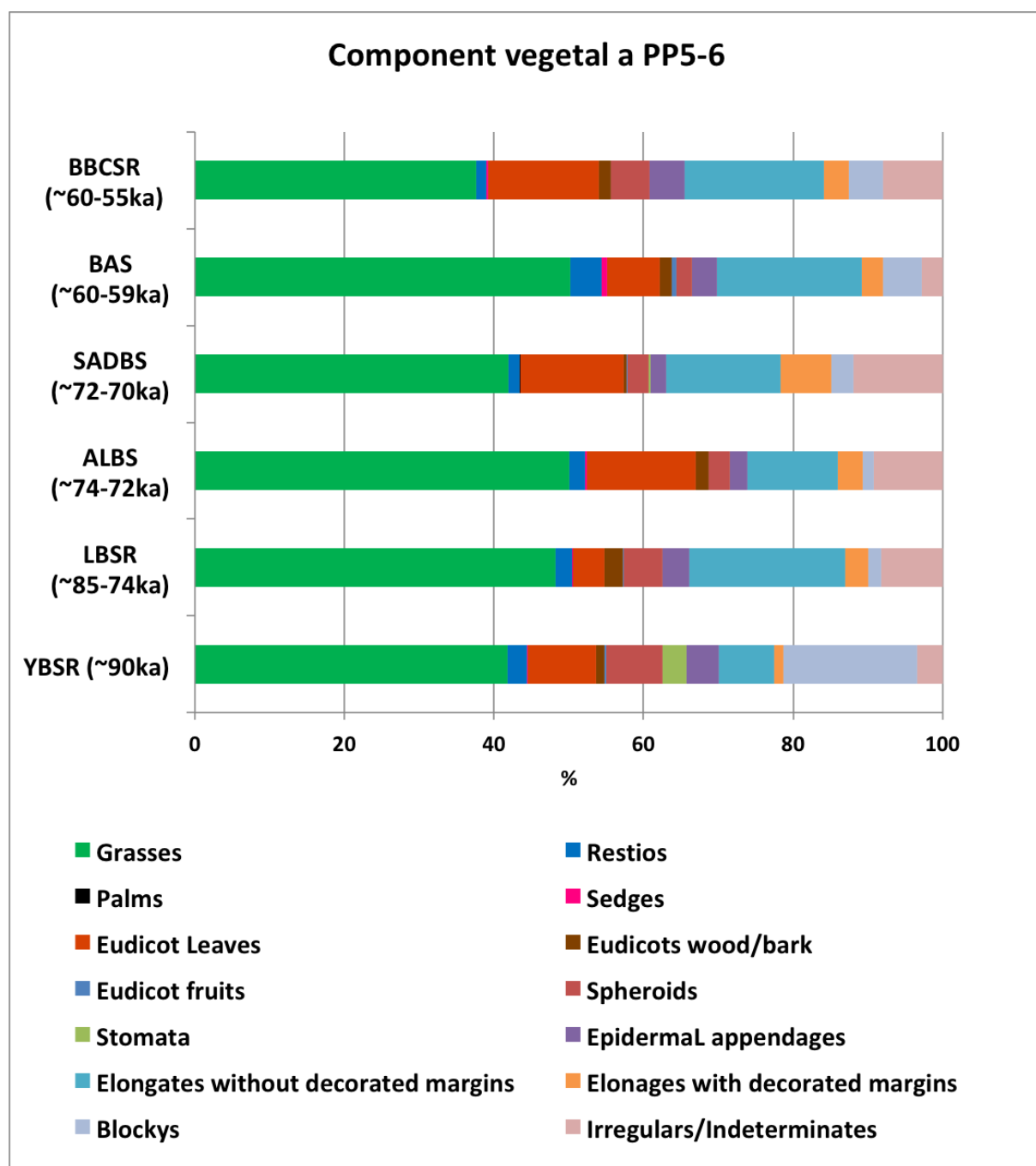


Figura 4. Diagrama de caixa que mostra la concentració de fitòlits per gram de sediment a cadascun dels nivells d'ocupació humana estudiats de PP5-6. La línia mitjana representa els valors de la mitjana; les caixes (caixa i els dos braços) representen l'error estàndard i els "bigotis" representen la desviació estàndard.

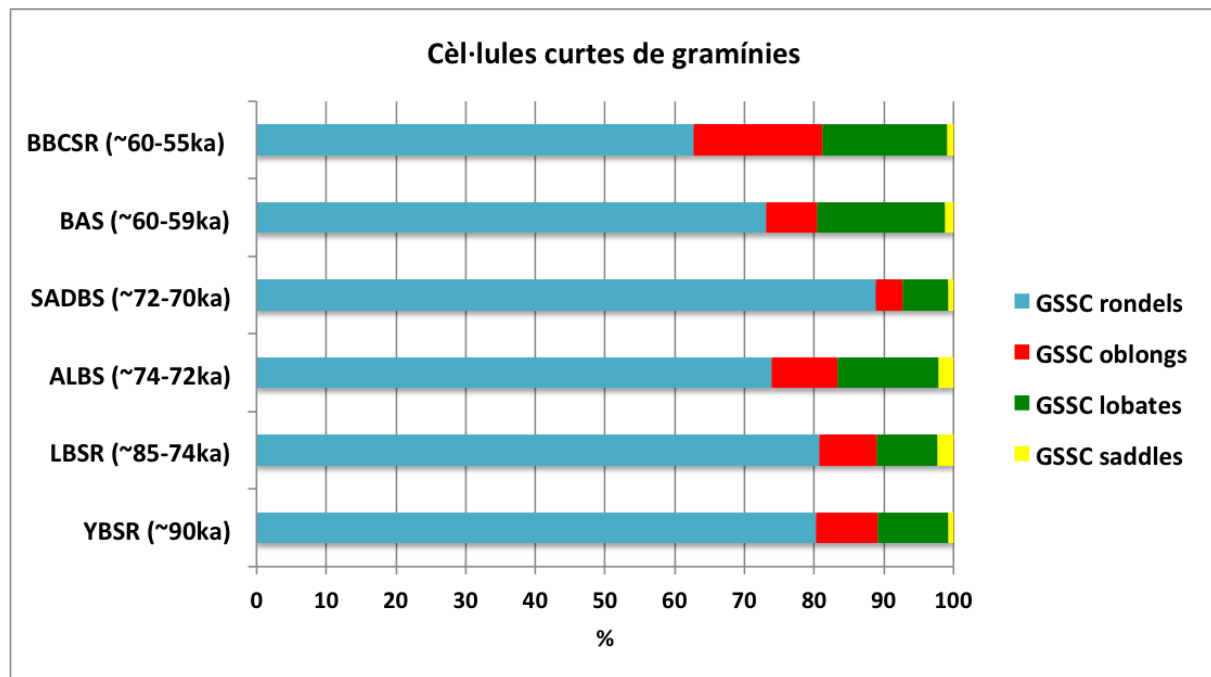


**Figura 5.** *Histograma que mostra la distribució dels fitòlits agrupats per tipus de planta i parts de les plantes per a cadascun dels nivells d'ocupació humana estudiats de PP5-6.*

blanquinoses són les que més difereixen de la resta, presenten una presència més gran de fitòlits irregulars (morfotipus que no es poden descriure geomètricament) i són comuns a la fusta/escorça de plantes dicotiledònies. A més, els nivells blanquinosos van presentar les freqüències més baixes de fitòlits de gramínies.

Per contra, les capes negres van mostrar la presència més gran d'aquests últims.

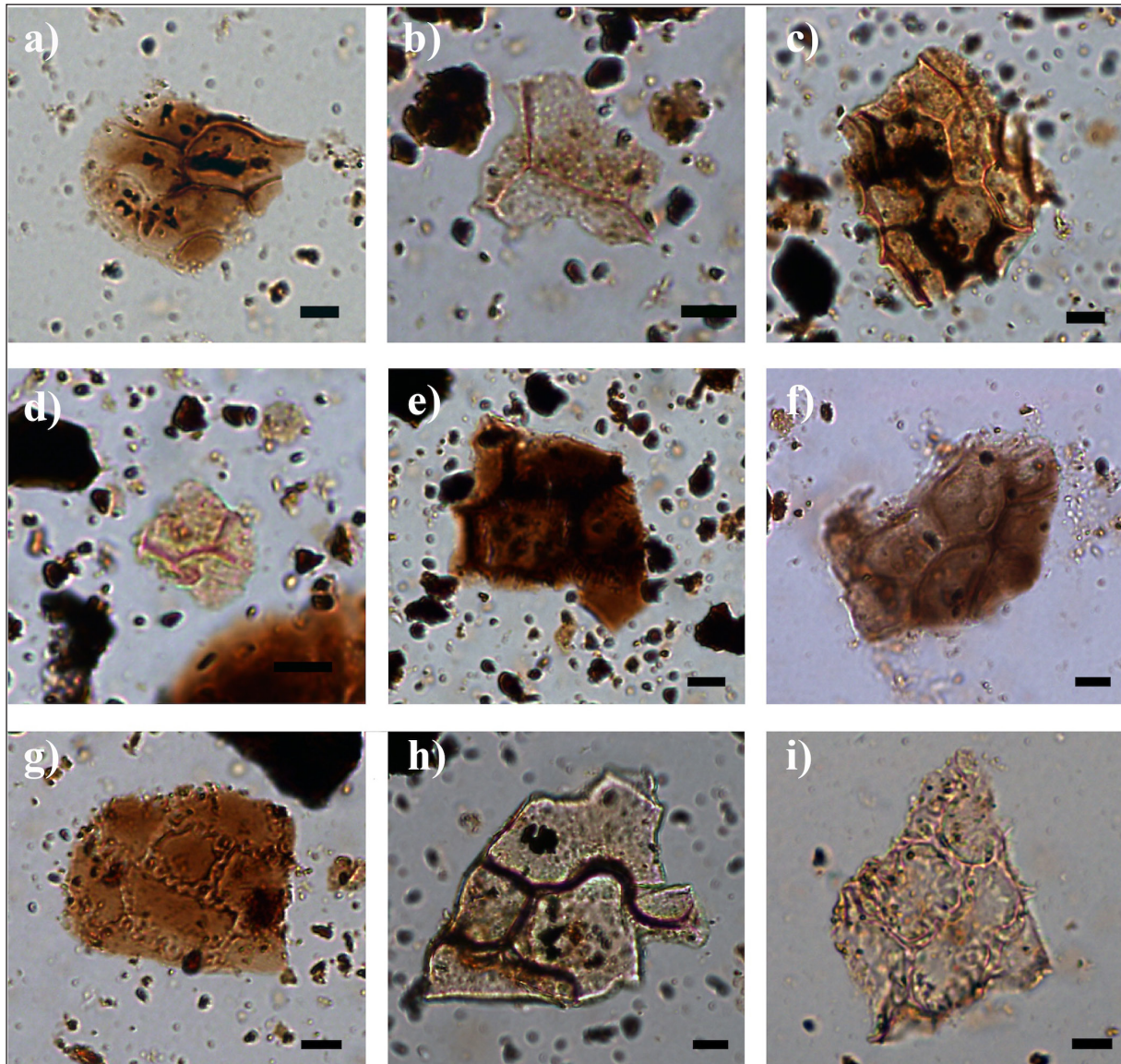
Les diferències morfològiques entre tipus de plantes i parts de les plantes, així com entre diferents cèl·lules curtes de gramínies observades en el conjunt de fitòlits entre diferents nivells, queden reflectides a les figures 5 i 6. Els fitòlits



**Figura 6.** Histograma que mostra la distribució dels fitòlits de cèl·lules curtes de gramínies per a cadascun dels nivells d'ocupació humana estudiats de PP5-6.

de gramínies i les morfologies allargades sense marges decorats, generalment abundants en el grup de monocotiledònies, dominen el registre al llarg de la seqüència. Entre els fitòlits de gramínies destaquen les cèl·lules curtes, que formen part de l'epidermis de plantes gramínies de la família de les poàcies (Poaceae) i que són de gran utilitat per a la reconstrucció de l'ambient i del tipus de vegetació. Això és possible ja que diferents morfologies de cèl·lules curtes són característiques de diferents subfamílies (principalment a Sud-àfrica, Pooideae, Ehrhartoideae, Panicoideae i Chloridoideae) i de diferents patrons fotosintètics (tipus  $C_3$  i  $C_4$ ). Les cèl·lules curtes dominants en el registre de PP5-6 són les del tipus *rondel* i *oblongs*, morfologies comunes en gramínies Pooideae i Ehrhartoideae, tots dues amb patró fotosintètic  $C_3$ . En menys grau es van identificar al llarg de tota la seqüència d'ocupació cèl·lules curtes *bilobulades* i de tipus *saddle*, característiques de gramínies Panicoideae i Chloridoideae, respectivament, amb patró fotosintètic  $C_4$ . Cèl·lules bul·liformes, les quals es corresponen amb les cèl·lules motor que tenen la funció de tancar i obrir les fulles de les plantes monocotiledò-

nies i, en particular, de gramínies, apareixen en percentatges baixos. Cèl·lules llargues (en la seva majoria part de l'epidermis de gramínies i altres tipus de plantes monocotiledònies) amb marges decorats, provinents en la seva majoria de les inflorescències de plantes gramínies, es van identificar al llarg del dipòsit en percentatges similars. El mateix passa amb els fitòlits característics de plantes de la família Restionaceae, els quals són presents al llarg dels diferents períodes d'ocupació de l'abric. Les plantes restionàcies són plantes graminoides, és a dir, pertanyents a l'ordre de les poals, igual que les gramínies i ciperàcies, però presenten característiques morfològiques que les diferencien d'aquestes altres graminoides (Cordova, 2013) (Esteban [et al.], 2017c). Les plantes restionàcies són l'element vegetal definitori i característic de la vegetació tipus *fynbos* a Sud-àfrica (Esteban [et al.], 2017b). Pel que fa als fitòlits de plantes dicotiledònies (arbres i/o arbustos), destaquen aquells que pertanyen a les fulles, com són els esquelets de silici o les estructures multicel·lulars procedents de la silicificació de l'epidermis de les fulles, així com traqueïdes. Trobem una elevada varietat de formes cel-



**Figura 7.** Microfotografies d'esquelets de sílice procedents de l'epidermis de fulles de plantes dicotiledònies. Fotografies preses a 400x: a) marges sense determinar (nivell ALBS, mostra 357374); b) marges sense determinar (nivell LBSR, mostra 357366); c) marges polièdrics (nivell LBSR, mostra 357368); d) marges sense determinar (nivell LBSR, mostra 357368); e) marges polièdrics (nivell LBSR, mostra 356474); f) marges polièdrics (nivell LBSR, mostra 162782); g) marges sinuosos (nivell LBSR, mostra 357365); h) marges sinuosos (nivell LBSR, mostra 162778); i) marges sinuosos (nivell LBSR, mostra 162549). La barra d'escala representa 10  $\mu$ m. Figura trenta d'Esteban (2016).

lulars entre els esquelets silícis (teixit epidèrmic de les fulles de plantes dicotiledònies); les més característiques són les formes polièdriques, les allargades, les de *jigsaw-puzzle* i les sinuoses, sent aquestes primeres les més abundants (figura 7). També es van observar morfologies característiques de la fusta de plantes dicotiledònies, formades per *blockies* i el·lipsoides.

Els morfotipus esferoides també es van identificar en nombres relativament elevats en tots els nivells. Malgrat que aquests s'han associat tradicionalment amb la fusta de plantes dicotiledònies així com gimnospermes (p. ex., Klein i Geiss, 1978; Bozarth, 1992; Albert i Weiner, 2001; Collura i Neumann, 2017; Esteban [et al.], 2017c), i en aquest estudi els agrupem per se-



parat, ja que també són comuns en les plantes restionàcies (Esteban [et al.], 2017b, 2017c).

A continuació resumim breument algunes especificitats característiques dels diferents nivells d'ocupació a PP5-6, des dels nivells més antics als més recents:

- Els nivells d'ocupació més antics YBSR (~90 ka) i LBSR (~85-74 ka), tots dos procedents dels estadis finals de l'estadi isotòpic 5b-a, són els que presenten el nombre més gran de fitòlits de gramínies. Morfologies de tipus *blocky*, així com morfologies allargades sense marges decorats, també es van identificar en percentatges elevats.
- Les mostres provinents del nivell ALBS (~74-72 ka), que representa els primers moments de l'estadi isotòpic 4, registren un domini de les gramínies. A més, cal destacar que, entre aquestes, les de tipus  $C_4$  presenten les concentracions més elevades en comparació amb altres moments d'ocupació a PP5-6.
- La presència més gran de morfologies irregulars i indeterminades la trobem al nivell SADBS (~70-72 ka), que data de l'estadi isotòpic 4. De la mateixa manera, observem menys presència de fitòlits de plantes gramínies, les quals pertanyen en la seva majoria al tipus  $C_3$ .
- El nivell BAS (~60-59 ka) destaca per la presència de fitòlits característiques de plantes restionàcies i de ciperàcies. També es van identificar fitòlits de plantes gramínies en grans percentatges, i observem altre cop un augment de cèl·lules curtes de tipus  $C_4$ .
- El nivell BBCSR (~60-55 ka) constitueix els nivells d'ocupació més recents, i el conjunt de fitòlits es caracteritza per una elevada presència de fitòlits de plantes gramínies i, entre aquestes, la major presència correspon a les del tipus  $C_4$ .

## Interpretació

Abans de portar a terme qualsevol interpretació relativa a l'explotació de recursos vegetals per part de poblacions passades de caçadors-recol·lectors que van habitar PP5-6 durant la

MSA, és de gran rellevància discernir si la procedència dels fitòlits identificats és d'origen antròpic o natural. L'absència de fitòlits a totes les mostres provinents de nivells geogènics sense evidència d'activitats humanes indica la introducció intencionada de plantes per part dels habitants de PP5-6. Així, la gran varietat de morfotipus de fitòlits identificats als diferents nivells arqueològics indica la diversitat de plantes recol·lectades pels habitants de Pinnacle Point. A PP5-6 la identificació en mostres procedents d'estructures de combustió, d'un gran nombre de fitòlits provinents del teixit epidèrmic silicificat procedent de fulles de plantes dicotiledònies (arbres i arbustos), els quals presenten diferents morfologies internes de l'estructura cel·lular, indica la recol·lecció de fusta per a l'elaboració dels focs provinent d'una gran varietat d'arbres i arbustos.

### L'ús de restionàcies

En PP5-6 hem identificat, per primera vegada, a través de l'estudi de fitòlits, la presència de plantes restionàcies en contextos arqueològics a Sud-àfrica. Cordova (2013) va identificar per primera vegada la singularitat de les morfologies d'aquest tipus de planta, i posteriorment Esteban *et al.* (2017c) van portar a terme un estudi més a fons de les característiques dels fitòlits d'aquest tipus de plantes i de la seva procedència anatòmica. La presència de fitòlits procedents d'aquesta família es produeix en tots els nivells estudiats. Les poblacions de caçadors-recol·lectors actuals utilitzen aquest tipus de plantes per a diversos usos com l'elaboració d'estoretes per dormir o la construcció de cabanes i paravents (Van Wyk i Gericke, 2000). Com que totes les mostres interpretades procedeixen d'estructures de combustió, és possible que aquest tipus de plantes s'utilitzessin per a tasques relacionades amb el foc, com pot ser la creació de focs amb propietats tèrmiques específiques o per al seu manteniment. De totes maneres, i tenint en compte les característiques físiques de les plantes restionàcies, és difícil pensar que tan sols s'utilitzessin amb aquest objectiu. A Sibudu Cave, a KwaZulu-

Natal (Sud-àfrica), es van identificar ciperàcies (Cyperaceae) que es van utilitzar per fabricar estoretes per dormir (*bedding*) (Wadley [et al.], 2011). Totes dues plantes presenten característiques morfològiques similars i, per tant, no seria descabellat pensar que els habitants de Pinnacle Point empraven aquest tipus de plantes amb el mateix objectiu. La seva presència en estructures de combustió podria haver-se produït pel fet que les estoretes fabricades amb restionàcies se situessin a prop dels focs i es cremessin en algun moment determinat, per la qual cosa els fitòlits passarien a formar part del component vegetal que s'ha trobat en els fogars.

### Ocupacions curtes i fogars a mida

Durant l'estadi isotòpic marí 5b-a, fa uns 90 ka, les estructures de combustió procedents dels nivells YBSR i LBSR s'han caracteritzat com a estructures individuals amb escassa pertorbació i calcigament (*trampling*), amb excepció de les zones perifèriques (Karkanas [et al.], 2015). És per això que aquests focs es van estudiar tenint en compte les diferents capes (nivells blancs-cendres, negres-carbó i vermellosos-rubefactats). L'estudi de fitòlits i mineralògic dels sediments concorda, així mateix, amb aquests resultats, ja que la majoria de les mostres procedents de les parts externes dels fogars no presenten fitòlits en gran nombre i la presència de calcita és secundària, mentre que la concentració més gran de fitòlits i calcita es concentra a les zones centrals dels fogars. Els sediments procedents de nivells de cendres són els que van presentar la presència més gran de calcita, producte de la combustió de la fusta. Com hem observat a través del component mineralògic dels sediments, l'argila presentava, a més, signes d'haver estat cremada, en alguns casos a altes temperatures. Quant al conjunt de fitòlits, aquests nivells van presentar també les freqüències més elevades de morfologies irregulars i les més baixes de gramínies. L'adscripció d'aquestes morfologies a la fusta (p. ex., Albert i Weiner, 2001; Tsartsidou [et al.], 2007), també va ser observada a la nostra

col·lecció de referència de plantes (Esteban [et al.], 2017c). Per tant, la presència de cendres de fusta, argila cremada i una presència més gran de morfologies irregulars evidencia la crema de fusta en aquests nivells.

Les capes negres dels nivells LBSR (~ 90 ka) es van caracteritzar per una alta concentració de fitòlits i un component vegetal dominat per plantes gramínies. Aquesta correlació d'una elevada presència de fitòlits de gramínies i d'una alta concentració de fitòlits indica, a partir dels resultats de la col·lecció de plantes modernes de la nostra zona d'estudi (Esteban [et al.], 2017c), la introducció intencionada de plantes gramínies a les zones d'hàbitat del jaciment pels seus habitants. Aquestes estructures de combustió també van mostrar una mínima concentració de calcita. Els experiments que van portar a terme Albert i Cabanes (2009) van demostrar que aquells fogars en què s'havia emprat fusta fresca per elaborar els focs van ser els que van presentar menys presència de calcita. Karkanas *et al.* (2015) van interpretar la microestratigrafia del nivell LBSR com indicatiu de nivells d'ocupació baixos, interpretació que es relaciona positivament amb la cultura material poc abundant present en aquest nivell en comparació amb moments d'ocupació posteriors. En aquest context, els habitants de PP5-6 durant l'ocupació del nivell LBSR, fa uns 90 ka i durant una fase interglacial, és a dir, temperada (estadi isotòpic 5), es van caracteritzar per fer ocupacions esporàdiques durant les quals construïen fogars de curta durada elaborats amb gramínies i, en menor quantitat, amb branques fresques recollides d'arbres i arbustos dels voltants de l'abric. Aquests fogars estan sempre associats a la presència de mol·luscs marins i, per tant, es podrien haver emprat amb propòsits culinaris específics, com podria ser l'elaboració dels mol·luscs per al seu consum. Aquesta interpretació és més enllà reforçada per l'estudi etnològic portat a terme amb el grup aborigen australià dels Anbarra, els quals, per cuinar mol·luscs marins, construïen focs de molt curta durada amb petites branques i principalment plantes gramínies (Meehan, 1982).

### Grans grups i vius fogars

Amb el pas de l'estadi isotòpic 5 al 4, fa uns 72 ka (i principalment durant l'ocupació del nivell SADBS), observem un canvi tant en el component vegetal com en el mineralògic. Aquest nivell es caracteritza per una baixa concentració de fitòlits per gram de sediment, una elevada concentració de calcita i una major presència de morfologies irregulars. Tot això apunta a l'ús de fusta en grans quantitats i, per tant, a un ús constant i intens del foc que no s'observa en moments d'ocupació anteriors. Això s'ha explicat com a evidència d'una intensificació de les ocupacions humanes en el jaciment durant aquest període, coincidint, així mateix, amb la interpretació que va dur a terme Karkanas *et al.* (2015) a través de l'estudi micromorfològic dels dipòsits d'aquest nivell. Aquest canvi observat tant en el conjunt de fitòlits com en el component mineralògic dels sediments coincideix amb un canvi en la indústria lítica i una intensificació del tracte tèrmic de la matèria primera lítica utilitzada, el *silcrete* (Brown [et al.], 2009). Albert i Cabanes (2009), sobre la base d'experiments amb focs, van observar que la fusta seca produeix més quantitat de calcita. Així, els resultats de fitòlits i mineralògic obtinguts en aquest estudi ens són indicatius d'un canvi en el comportament humà que van portar a terme els habitants de Pinnacle Point durant l'estadi isotòpic 4. Aquest canvi es caracteritzaria per la recollida de grans quantitats de fusta seca de manera intencionada, ja que és més fàcil de recol·lectar i transportar, i d'una recollida de manera intensiva, per tal de millorar la combustió i crear les condicions apropiades per a la pràctica contínua d'escalfar el *silcrete* (Brown [et al.], 2009); per tant, estariem davant un canvi en les estratègies de recol·lecció del combustible vegetal per part dels habitants de Pinnacle Point. Aquest comportament és vist com a reflexió d'una cognició humana avançada que a Pinnacle Point s'associa a canvis en la tecnologia lítica (Brown [et al.], 2009, 2012), ocupacions humanes intenses (Karkanas [et al.], 2015) i canvis en el clima (Bar-Matthews [et al.], 2010).

### Paleoambients i paleoclimes a Pinnacle Point durant el plistocè final

Malgrat que el conjunt de fitòlits identificats a PP5-6 deu tenir un origen antròpic, que suggereix tant la intencionalitat en la recol·lecció com la introducció de les plantes per part dels habitants del jaciment, en aquest treball hem tingut en compte cinc consideracions que validen la viabilitat d'usar conjunts de fitòlits procedents de registres arqueològics per dur a terme una interpretació del registre en clau paleoambiental. La majoria d'aquestes consideracions s'han treballat sobre la base dels resultats de les nostres col·leccions de referència de sòls i plantes modernes (Esteban [et al.], 2017b, 2017c).

1) Una elevada presència de cèl·lules bulbiformes es pot relacionar amb zones d'aiguamolls i riberencs. Diversos investigadors van observar que les plantes, principalment les gramínies, produeixen un nombre superior de cèl·lules bulbiformes davant estrès hídric o debut en elevades taxes d'evapotranspiració patides per les plantes que creixen sota condicions seques o en àrees locals humides en zones seques (Sangster i Parry, 1969; Bremond [et al.], 2005).

2) Una concentració elevada de fitòlits de plantes gramínies indica una gran presència d'aquest tipus de plantes en el jaciment (Esteban [et al.], 2017c). Hi ha dues interpretacions possibles: d'una banda, podria ser l'indicador d'una preferència per aquest tipus de plantes per part dels habitants de la cova i, de l'altra, ha de ser també vist com un indicador de la gran disponibilitat d'aquest tipus de plantes en l'entorn proper al jaciment.

3) L'estudi de la nostra col·lecció de referència de plantes (Esteban [et al.], 2017c), així com d'altres estudis duts a terme en plantes gramínies a Sud-àfrica (Rossouw, 2009; Cordova, 2013), ratifiquen l'associació dels diferents tipus de cèl·lules curtes amb els patrons fotosintètics de tipus  $C_3$  i  $C_4$ .

4) La presència de fitòlits de plantes restiònies indica la presència de vegetació de tipus *fynbos* en zones properes al jaciment.

5) Basant-nos en els resultats de la col·lecció de referència de sòls moderns (Esteban [et al.],

2017b) és possible que una elevada presència de fitòlits amb morfologies irregulars i cèl·lules curtes de tipus *saddle* (gramínies de tipus  $C_4$  de la subfamília Chloridoideae) sigui un reflex d'una vegetació de tipus *thicket* (Esteban [et al.], 2019), ja que aquests són comuns en aquest tipus de vegetació (Esteban [et al.], 2017b).

### Estadi isotòpic marí 5b-a

Un dels resultats més significatius que s'han observat en el conjunt de fitòlits és el canvi que s'observa respecte als resultats obtinguts a la cova PP13B (Albert i Marean, 2012), la qual va ser ocupada durant els moments finals de l'estadi isotòpic 6 i l'estadi isotòpic 5a, fa entre ~170 ka i 90 ka, cap a un augment de la presència de gramínies amb el pas de l'ocupació d'un nou lloc, l'abric rocós PP5-6, fa uns 90 ka, durant l'estadi isotòpic 5b. La majoria de les gramínies identificades pertanyen al tipus  $C_3$ , sobretot durant l'ocupació del nivell LBSR. El domini de plantes gramínies de tipus  $C_3$ , juntament amb la presència de plantes restionàcies, és indicatiu de l'existència als voltants de Pinnacle Point d'una vegetació caracteritzada per una bona presència de petits arbres i arbustos, amb un component elevat tant de gramínies de tipus  $C_3$  com de plantes restionàcies. Aquest tipus de vegetació podria ser indicatiu de la presència en el passat de vegetació de tipus *fynbos* i *renosterveld* (Esteban [et al.], 2019), els quals dominarien el paisatge i els quals, a més, les poblacions de caçadors-recol·lectors coneixien i explotaven. Per tant, estariem davant d'un hàbitat similar al present, probablement amb menys presència de vegetació de tipus *thicket*. Aquests resultats són consistents amb els resultats obtinguts de l'estudi d'espeleotemes de les coves de Pinnacle Point (Bar-Matthews [et al.], 2010; Braun, 2014).

### Estadi isotòpic marí 4

Amb el pas de l'estadi isotòpic 5 al 4 observem un lleuger augment de la presència de gramínies de tipus  $C_4$  i més presència de morfologies

irregulars i indeterminades; basant-nos en la nostra col·lecció de referència de sòls moderns (Esteban [et al.], 2017b), aquesta associació podria ser representativa de la presència d'una vegetació densa en què petits arbres i arbustos dominen el component vegetal i que podria ser tipificada per vegetació de tipus *thicket* (Esteban [et al.], 2019). De totes maneres, la presència de fitòlits de plantes restionàcies ens indicaria que vegetació de tipus *fynbos* hauria d'estar present en zones properes a Pinnacle Point i, per tant, ens trobaríem davant d'una vegetació de tipus mosaic on serien presents comunitats *thicket* i *fynbos* (Esteban [et al.], 2019).

### Estadi isotòpic marí 3

L'estadi isotòpic 3 és un període relativament inexplorat en comparació amb l'estadi isotòpic 4 (Mitchell, 2008; Wurz, 2013). Els valors isotòpics de l'oxigen i del carboni ( $\delta^{18}O_{cc}$  i  $\delta^{13}C_{cc}$ , respectivament) de l'estudi d'espeleotemes portat a terme a Pinnacle Point, que daten de l'estadi isotòpic 3 (entre uns 66 i 50 ka), suggereixen un augment de la presència de plantes de tipus  $C_4$  i, per tant, ens indicaria un augment de pluges estivals (Bar-Matthews [et al.], 2010). Pel que fa al registre de fitòlits, a Pinnacle Point observem un augment de plantes gramínies de tipus  $C_4$  (possiblement Panicoideae) que podria ser indicatiu de vegetació més boscosa (Esteban [et al.], 2017b). De la mateixa manera, fitòlits característics de vegetació tipus *fynbos* i/o *renosterveld* (com plantes restionàcies i gramínies de tipus  $C_3$ ) estan ben representats en el registre, així com plantes dicotiledònies. Aquests resultats s'interpreten com a indicatius de la presència d'una vegetació de tipus mosaic, en què serien presents vegetació boscosa i *fynbos*, però aquesta última millor representada que durant l'estadi isotòpic 4. La gran presència de gramínies i la bona representació en el registre de les de tipus  $C_3$  és característica de la presència de vegetació *grassy fynbos* i, probablement, de vegetació tipus *renosterveld* (Esteban [et al.], 2019). Aquesta interpretació concorda amb la que dona Bar-Matthews et al. (2010), els quals van



proposar la presència d'una vegetació arbustiva com podria ser *fynbos* a les zones properes a Pinnacle Point, així com la possible presència de vegetació de tipus *thicket*, o d'un mosaic de tots dos.

## Conclusions

Aquest estudi evidencia per primera vegada la recol·lecció i introducció intencionada en zones d'hàbitat de plantes de la família Restionaceae per part de poblacions de caçadors-recol·lectors que van habitar la costa sud de Sud-àfrica fa 90.000 anys, durant la MSA final. Els fitòlits de plantes restionàcies es van identificar en contextos relacionats amb estructures de combustió i, per tant, la seva presència s'ha relacionat en primera instància amb l'ús del foc. Una altra interpretació, basada en estudis etnològics i anàlegs arqueològics, és el possible ús que se'n feia com a estoretes per dormir, les quals podrien haver estat col·locades prop dels focs, cremades en cert moment, cosa que va provocar que es barrejés amb la resta del combustible utilitzat per elaborar els focs. Futures recerques, així com l'estudi de fitòlits en altres jaciments arqueològics sud-africans de la MSA, ens podran oferir noves dades en relació amb l'ús que van donar a les plantes restionàceas les poblacions de caçadors-recol·lectors sud-africans de la MSA.

Un dels aspectes claus del nostre treball és l'evidència de canvis en les estratègies de recol·lecció de plantes en correlació amb canvis en l'utilitat lítica i en la intensitat d'ocupació del jaciment. Observem que durant les últimes fases de l'estadi isotòpic 5, fa uns 90 ka, els habitants de Pinnacle Point van ocupar el jaciment durant períodes curts de temps i van elaborar focs de curta durada fets principalment amb gramínies, així com possiblement amb fusta fresca d'arbres i/o arbustos recollits de les àrees properes al jaciment. Amb el pas a l'estadi isotòpic 4, juntament amb el canvi observat a la tecnologia lítica i en el tractament tèrmic del *silcrete* per a la seva talla, també observem un canvi en les estratègies de recol·lecció que apunta a la recol·lecció intencionada i intensiva de grans quantitats de fusta

seca amb l'objectiu de millorar-ne la combustió i crear les condicions apropiades per al tractament tèrmic del *silcrete*.

Pel que fa a la reconstrucció de la vegetació i els paleoambients a Pinnacle Point, observem un canvi significatiu en la vegetació, on les gramínies van ser escasses durant els estadis isotòpics 6 i 5d, durant l'ocupació de PP13B, mentre que esdevenen abundants amb l'ocupació de PP5-6 durant els estadis isotòpics del 5c al 3. Durant l'interglacial 5 el registre de fitòlits apunta a un mosaic d'hàbitats amb una vegetació *renosterveld* i *fynbos*, mentre que durant l'interglacial 3 ens trobaríem amb una gran varietat de paisatges en els quals la vegetació boscosa (tipificada per l'elevada presència de gramínies de tipus  $C_4$ ) estaria ben representada, però en què la vegetació de tipus *fynbos* i possiblement també *renosterveld* o altre tipus de vegetació amb alt contingut de pastura (com *grassy fynbos*) estaria present al voltant de Pinnacle Point. Durant l'estadi isotòpic 4, el registre de fitòlits de PP5-6 indica un lleuger augment de la presència de pastures  $C_4$  i, per tant, més presència de vegetació *thicket* en comparació amb moments interglacials. En resum, les nostres dades suggereixen un mosaic de vegetació continental continu, en el qual hàbitats com *fynbos*, *thickets* i vegetació herbàcia (com seria el *renosterveld*) van persistir durant els períodes glacial/interglacial.

Els canvis que observem en el registre al llarg dels diferents períodes d'ocupació a Pinnacle Point indiquen canvis en les preferències d'explotació de les plantes, els quals molt probablement estarien lligats a moviments lleus, però constants, de la vegetació. Els nostres resultats i les interpretacions del registre arqueobotànic de Pinnacle Point confirmen una de les premisses que s'argumenten a l'inici d'aquest treball i que té el suport de diversos investigadors, la qual considera que els canvis en el clima i els ambients esdevinguts al llarg del plistocè van ser en part responsables de l'aparició i evolució d'un comportament humà modern a Sud-àfrica, que a Pinnacle Point també es reflecteix en el mode d'explotació i ús de les plantes. De totes maneres, la informació de què es disposa actualment

permet tenir només una visió aproximada de les estratègies de recol·lecció de plantes per part dels primers humans moderns a la costa sud de Sud-àfrica. Futurs estudis en altres jaciments arqueològics a Sud-àfrica podran donar una visió més àmplia de l'evolució en les estratègies d'explotació dels recursos vegetals de les poblacions de caçadors-recol·lectors del passat i de la influència que van tenir els canvis en el clima i la vegetació.

## Referències

- ALBERT, Rosa Maria; WEINER, Steve. "Study of phytoliths in prehistoric ash layers using a quantitative approach" A: MEUNIER, J. D.; COLINE, F. (ed.). *Phytoliths: Applications in Earth Sciences and Human History*. Lisse: A. A. Balkema Publishers, 2001.
- ALBERT, Rosa Maria; CABANES, Dan. "Fire in prehistory: an experimental approach to combustion processes and phytolith remains". *Israel Journal of Earth Science*, vol. 56 (2009), p. 175-189.
- ALBERT, Rosa Maria; MAREAN, Curtis W. "The exploitation of plant resources by early Homo sapiens: the phytolith record from pinnacle point 13B Cave, South Africa". *Geoarchaeology*, vol. 27, núm. 4 (2012), p. 363-384.
- ALBERT, Rosa Maria [et al.]. "Mode of occupation of Tabun Cave, Mt Carmel Israel during the Mousterian period: a study of the sediments and the phytoliths". *Journal of Archaeological Science*, vol. 26 (1999), p. 1249-1260.
- ALBERT, Rosa Maria [et al.]. "Phytoliths in the Middle Palaeolithic deposits of Kebara Cave, Mt Carmel, Israel: study of the plant materials used for fuel and other purposes". *Journal of Archaeological Science*, vol. 27 (2000), p. 931-947.
- ALBERT, Rosa Maria [et al.]. "Phytolith and mineralogical study of hearths from the Middle Palaeolithic levels of Hayonim Cave (Galilee, Israel)". *Journal of Archaeological Science*, vol. 30 (2003), p. 461-480.
- ALBERT, Rosa Maria [et al.]. "Phytolith-rich layers from the Late Bronze and Iron Ages at Tel Dor (Israel): mode of formation and archaeological significance". *Journal of Archaeological Science*, vol. 35, núm.1 (2008), p. 57-75.
- ALBERT, Rosa Maria; RUÍZ, Jose Antonio; SANS, Arnau. "PhytCore ODB: a new tool to improve efficiency in the management and exchange of information on phytoliths". *Journal of Archaeological Science*, vol. 68 (2016), p. 98-105.
- BAMFORD, Marion; ALBERT, Rosa Maria; CABANES, Dan. "Assessment of the lowermost Bed II Plio-Pleistocene vegetation in the eastern palaeolake margin of Olduvai Gorge (Tanzania) and preliminary results from fossil macroplant and phytolith remains". *Quaternary International*, vol. 148 (2006), p. 95-112.
- BAR-MATTHEWS, Myriam [et al.]. "A high resolution and continuous isotopic speleothem record of paleoclimate and paleoenvironment from 90 to 53 ka from Pinnacle point on the south coast of South Africa". *Quaternary Science Review*, vol. 29 (2010), p. 2131-2145.
- BOZARTH, Stephen. "Classification of opal phytoliths formed in selected dicotyledons native to the Great Plains". A: RAPP JR., G.; MULHOLLAND, S. C (ed.). *Phytolith Systematics. Emerging Issues, Advances in Archaeological and Museum Science*. Nova York: Plenum Press, 1992.
- BRAUN, Kerstin. *Influence of the Agulhas Current on the terrestrial climate of South Africa as derived from speleothems*. Hebrew University of Jerusalem, 2014.
- BREMOND, Laurent [et al.]. "Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa". *Journal of Biogeography*, vol. 32, núm. 2 (2005), p. 311-327.

- BROWN, Kyle [et al.]. "Fire as an engineering tool of early modern humans". *Science*, vol. 325 (2009), p. 859-862.
- BROWN, Kyle [et al.]. "An early and enduring advanced technology originating 71000 years ago in South Africa". *Nature*, vol. 491 (2012), p. 590-593.
- CABANES, Dan [et al.]. "Hearth structure and function at level J (50 kyr, BP) from Abric Romani (Capellades, Spain): phytoliths, charcoal, bones and stone-tools". A: MADDALLA, Marco; ZURRO, Debora (ed.). *Plant, people and places—recent studies in phytolith analysis*. Oxford: Oxbow Books, 2007, p. 98-106.
- CABANES, Dan [et al.]. "Phytolith evidence for hearths and beds in the late Mousterian occupations of Esquilieu cave (Cantabria, Spain)". *Journal of Archaeological Science*, vol. 37, núm. 11 (2010), p. 2947-2957.
- CABANES, Dan [et al.]. "Human impact around settlement sites: a phytolith and mineralogical study for assessing site boundaries, phytolith preservation, and implications for spatial reconstructions using plant remains". *Journal of Archaeological Science*, vol. 39, núm. 8 (2012), p. 2697-2705.
- CAMPBELL, B. M [et al.]. "Structural characterization of vegetation in the Fynbos Biome". *South African National Scientific Programmes* [Pretòria: CSIR], núm. 52 (1981).
- CHASE, Brain; MEADOWS, Michael. "Late Quaternary dynamics of southern Africa's winter rainfall zone". *Earth-Science Reviews*, vol. 84, núm. 3 (2007), p. 103-138.
- COLLURA, Lucia Veronica; NEUMANN, Katharina. "Wood and bark phytoliths of West African woody plants". *Quaternary International*, vol. 434 (2017), p. 142-59.
- COLVILLE, J. F. [et al.]. "Floristic and faunal Cape biochoria: do they exist?". A: ALLSOPP, N.; COLVILLE, J. F.; VERBOOM, G. A. (ed.). *Fynbos: Ecology, Evolution, and Conservation of a Megadiverse Region*. Oxford University Press United Kingdom, 2014, p. 73-92.
- COMPTON, John. "Pleistocene sea-level fluctuations and human evolution on the southern coastal plain of South Africa". *Quaternary Science Reviews*, vol. 30, núm. 5 (2011), p. 506-527.
- CORDOVA, Carlos. "C3 Poaceae and Restionaceae phytoliths as potential proxies for reconstructing winter rainfall in South Africa". *Quaternary International*, vol. 287 (2013), p. 121-140.
- CORDOVA, Carlos; SCOTT, Louis. "The Potential of Poaceae, Cyperaceae, and Restionaceae Phytoliths to Reflect Past Environmental Conditions in South Africa". *Palaeoecology of Africa*. Boca Raton, Florida: CRC Press Taylor and Francis Group, 2010, p. 107-133.
- COWLING, Richard. "The occurrence of C3 and C4 grasses in fynbos and allied shrublands in the South Eastern Cape, South Africa". *Oecologia*, vol. 58, núm. 1 (1983), p. 121-127.
- COWLING, Richard [et al.]. "Fossil wood charcoal assemblages from Elands Bay Cave, South Africa: implications for Late Quaternary vegetation and climates in the winter-rainfall fynbos biome". *Journal of Biogeography*, vol. 26, núm. 2 (1999), p. 367-378.
- DE VYNCK, Jan; VAN WYK, Ben Erik; COWLING, Richard. "Indigenous edible plant use by contemporary Khoe-San descendants of South Africa's Cape South Coast". *South African Journal of Botany*, vol. 102 (2015), p. 60-69.
- DEACON, Hilary; JURY, M. R.; ELLIS, F. "Selective regime and time". A: Cowling, Richard (ed.). *The Ecology of Fynbos: Nutrients, Fire and Diversity*. Ciutat del Cap, Sud-àfrica: Oxford University Press, 1992, p. 6-22.
- DEVOS, Yannick [et al.]. "An integrated study of Dark Earth from the alluvial valley of the Senne river (Brussels, Belgium)". *Quaternary International*, vol. 460 (2017), p. 175-197.

- ENGELBRECHT, Christien [et al.]. "A synoptic decomposition of rainfall over the Cape south coast of South Africa". *Climate Dynamics*, vol. 44, núm. 9-10 (2014), p. 2589-2607.
- ESTEBAN, Irene. *Reconstructing past vegetation and modern human foraging strategies on the south coast of South Africa* [tesi doctoral]. Barcelona: Universitat de Barcelona, 2016.
- ESTEBAN, Irene [et al.]. "Neanderthal use of plants and past vegetation reconstruction at the Middle Paleolithic site of Abrigo de la Quebrada (Chelva, Valencia, Spain)". *Archaeological and Anthropological Sciences*, vol. 9 (2017a), p. 265-78,
- ESTEBAN, Irene [et al.]. "Modern soil phytolith assemblages used as proxies for Paleoscape reconstruction on the south coast of South Africa". *Quaternary International*, vol. 434, núm. B (2017b), p. 160-179.
- ESTEBAN, Irene [et al.]. "Phytoliths in plants from the south coast of the Greater Cape Floristic Region (South Africa)". *Review of Palaeobotany Palynology*, vol. 245 (2017c), p. 69-84.
- ESTEBAN, Irene [et al.]. "Phytoliths as an indicator of early modern humans plant gathering strategies, fine fuel and site occupation intensity during the Middle Stone Age at Pinnacle Point 5-6 (south coast, South Africa)". *PLOS ONE* vol. 13, núm. 6, (2018), e0198558.
- ESTEBAN, Irene [et al.]. "Palaeoenvironments and plant availability during MIS 6 to MIS 3 on the edge of the Palaeo-Agulhas Plain (south coast, South Africa)" as indicated by phytolith analysis at Pinnacle Point. *Quaternary Science Reviews*. doi.org/10.1016/j.quascitev.2019.02.022 (2019).
- FOX, F. W.; NORWOOD YOUNG, M. E. *Food from the veld. Edible wild plants of southern Africa*. Johannesburg: Delta Books, 1983.
- GARCÍA-GRANERO, Juan José [et al.]. "Millets and Herders: The Origins of Plant Cultivation in Semiarid North Gujarat (India)". *Current Anthropology*, vol. 57, núm. 2 (2016), p. 149-173.
- HENSHILWOOD, Christopher; MAREAN, Curtis. "The origin of modern human behavior". *Current anthropology*, vol. 44, núm. 5 (2003), p. 627-651.
- JACOBS, Zenobia [et al.]. "Development of the SAR TT-OSL procedure for dating Middle Pleistocene dune and shallow marine deposits along the southern Cape coast of South Africa". *Quaternary Geochronology*, vol. 6, núm. 5 (2011), p. 491-513.
- JERARDINO, Antonieta. "Shell density as proxy for reconstructing prehistoric aquatic resource exploitation, perspectives from southern Africa". *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 6 (2016), p. 637-644.
- JERARDINO, Antonieta; MAREAN, Curtis. "Shellfish gathering, marine palaeoecology and modern human behavior: perspectives from Cave PP13B, Pinnacle point, South Africa". *Journal of Human Evolution*, vol. 59 (2010), p. 412-429.
- KARKANAS, Panagiotis [et al.]. (2015). "Interpreting human behavior from depositional rates and combustion features through the study of sedimentary microfacies at site Pinnacle Point 5-6, South Africa". *Journal of Human Evolution*, vol. 85, p. 1-21.
- KATZ, Ofir [et al.]. "Rapid phytolith extraction for analysis of phytolith concentrations and assemblages during an excavation: an application at Tell es-Safi/Gath, Israel". *Journal of Archaeological Science*, vol. 37, núm. 7 (2010), p. 1557-1563.
- KELLY, R. L. *The Foraging Spectrum: Diversity in Hunter-Gatherer Lifeways*. Washington: The Smithsonian Institution Press, 1995.
- KLEIN, R. L.; GEIS, K. W. "Biogenic silica in the pinaceae". *Soil Science*, vol. 126 (1978), p. 145-156.
- MADELLA, Marco. "Investigating agriculture and environment in South Asia: present and future contributions from opal phytoliths". *Indus Ethnobiology: New Perspectives*



- from the Field. Lanham: Lexington Books 2003, p. 199-249.
- MADDELLA, Marco; ALEXANDRE, Anne; BALL, Terry. "International code for phytolith nomenclature 1.0". *Annals of Botany*, vol. 96 (2005), p. 253-260.
- MADDELLA, Marco [et al.]. "Microbotanical evidence of domestic cereals in Africa 7000 years ago". *PloS one*, vol. 9, núm. 10 (2014), p. e110177.
- MAREAN, Curtis. "Pinnacle point Cave 13B (Western Cape Province, South Africa) in context: the Cape Floral kingdom, shellfish, and modern human origins". *Journal of Human Evolution*, vol. 59, núm. 3-4 (2010), p. 425-443.
- MAREAN, Curtis [et al.]. "Paleoanthropological investigations of Middle Stone Age sites at Pinnacle Point, Mossel Bay (South Africa): archaeology and hominid remains from the 2000 field season". *Paleoanthropology*, vol. 2 (2004), núm. 1.
- MAREAN, Curtis [et al.]. "Early human use of marine resources and pigment in South Africa during the Middle Pleistocene". *Nature*, vol. 449 (2007), p. 905-908.
- MAREAN, Curtis [et al.]. "Stone Age people in a changing South African Greater Cape floristic region". A: ALLSOPP, Nicky; COLVILLE, Jonathan; VERBOOM, Anthony (ed.). *Fynbos: Ecology, Evolution, and Conservation of a Megadiverse Region*. Oxford University Press, 2014, p. 164-199.
- MARLOWE, F. W. "Hunter-gatherers and human evolution". *Evolutionary Anthropology*, vol. 14 (2005), p. 54-67.
- MATTHEWS, Thalassia [et al.]. "Environmental implications of micromammals accumulated close to the MIS 6 to MIS 5 transition at Pinnacle point cave 9 (Mossel Bay, western Cape province, South Africa)". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 302 (2011), p. 213-229.
- MCGRATH, James [et al.]. "The Pinnacle Point shell midden complex: A high resolution Mid- to Late Holocene record of Later Stone Age coastal foraging along the southern Cape coast of South Africa". *South African Archaeological Bulletin*, vol. 70 (2015), p. 209.
- MCINERNEY, Francesca; STRÖMBERG, Caroline; WHITE, J. W. C. "The Neogene transition from C3 to C4 grasslands in North America: stable carbon isotope ratios of fossil phytoliths". *Paleobiology*, vol. 37, núm. 1 (2011), p. 23-49.
- MEEHAN, B. "Shell Bed to Shell Midden". *Australian Institute of Aboriginal Studies*, (1982), p. 211-212.
- MENGE, B. A.; BRANCH, G. M. "Rocky intertidal communities". A: BERTNESS, M. D.; GAINES, S. D.; HAY, M. E. (ed.). *Marine Community Ecology*. Sunderland: Sinauer Associates, 2001, p. 221-251.
- MERCADER, Julio [et al.]. "Phytoliths in woody plants from the miombo woodlands of Mozambique". *Annals of Botany*, vol. 104 (2009), p. 91-113.
- MILTON, K. "Hunter-gatherer diets, a different perspective". *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 71, núm. 3 (2000), p. 665-667.
- MITCHELL, Peter. "Developing the archaeology of Marine Isotope Stage 3". *South African Archaeological Society Goodwin Series*, vol. 10 (2008), p. 52-65.
- MUCINA, Ladislav; RUTHERFORD, Michael. *The Vegetation Map of South Africa, Lesotho and Swaziland*. Pretòria: SANBI, 2006.
- MULHOLLAND, Susan; RAPP, George. "A morphological classification of grass silica-bodies". A: RAPP, George; MULHOLLAND, Susan (ed.). *Phytolith Systematics. Emerging Issues, Advances in Archaeological and Museum Science*. Nova York: Plenum Press, 1992, p. 65-89.
- MURUNGI, May. *Phytoliths at Sibudu (South Africa): implications for vegetation, climate and human occupation during the MSA* [tesi doctoral]. Johannesburg: University of the Witwatersrand, 2017.

- NOVELLO, Alice [et al.]. "Phytolith signal of aquatic plants and soils in Chad, Central Africa". *Review of Palaeobotany and Palynology*, vol. 178 (2012), p. 43-58.
- NOVELLO, Alice [et al.]. "Phytoliths in modern plants and soils from Klasies River, Cape Region (South Africa)". *Quaternary International*, vol. 464, núm. B (2018), p. 440-59.
- PARSONS, N. *A New History of Southern Africa*. Londres: MacMillan, 1993.
- PICKERING, Robin [et al.]. "Paleoanthropologically Significant South African Sea Caves dated to 1.0 Million Years using a combination of U-Pb, TT-OSL and palaeomagnetism". *Quaternary Science Reviews*, vol. 65 (2013), p. 39-52.
- PIPERNO, Dolores. *Phytolith Analysis: an Archaeological and Geological Perspective*. San Diego: Academic Press, 1988.
- PIPERNO, Dolores. *Phytoliths: a Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists*. Lanham, MD: AltaMira Press, 2006.
- PIPERNO, Dolores; ANDRES, T. C.; STOTHERT, Karen. "Phytoliths in Cucurbita and other Neotropical Cucurbitaceae and their occurrence in early archaeological sites from the lowland American tròpics". *Journal of Archaeological Science*, vol. 27, núm. 3 (2000), p. 193-208.
- PORTILLO, Marta; ALBERT, Rosa Maria; HENRY, D. O. "Domestic activities and spatial distribution in Ain Abu ˆ Nukhayla (Wadi Rum, Southern Jordan): the use of phytoliths and spherulites studies". *Quaternary International*, vol. 193, núm. 1 (2009), p. 174-183.
- PORTILLO, Marta [et al.]. "Domestic activities at early Neolithic Tell Seker al-Aheimar (Upper Khabur, Northeastern Syria) through phytoliths and spherulites studies". *Des hommes et des plantes: exploitation du milieu et gestion des ressources végétales de la Préhistoire à nos jours*. Antíbol: Éditions ADPCA, 2010, p. 19-30.
- POTTS, Richard. "Environmental hypotheses of hominin evolution". *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 107, núm. 27 (1998), p. 93-136.
- PROCHEŞ, Şerban; COWLING, Richard; DU PREEZ, Derek. "Patterns of geophyte diversity and storage organ size in the winter rainfall region of southern Africa". *Diversity and Distributions*, vol. 11 (2005), p. 101-9.
- PROCHEŞ, Şerban [et al.]. "An overview of the Cape geophytes". *Biological Journal of the Linnean Society*, vol. 87 (2006), p. 27-43.
- RODRÍGUEZ-CINTAS, Ágata; CABANES, Dan. "Phytolith and FTIR studies applied to combustion structures: The case of the Middle Paleolithic site of El Salt (Alcoy, Alicante)". *Quaternary International*, vol. 431 (2017), p. 16-26.
- ROSSOUW, Lloyd. *The Application of Fossil Grass-phytolith Analysis in the Reconstruction of Late Cainozoic Environments in the South African Interior* [tesi doctoral]. Sudàfrica: University of the Free State, 2009.
- RUTHERFORD, Michael. "Categorization of biomes". A: COWLING, Richard; RICHARDSON, D. M.; PIERCE, Shirley (ed.). *Vegetation of southern Africa*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997, p. 91-98.
- RUTHERFORD, Michael; WESTFALL, R. H. "Biomes of southern Africa- an objective classification". *Memoirs of the Botanical Survey of South Africa*, vol. 54 (1986), p. 1-98.
- RUTHERFORD, Michael; WESTFALL, R. H. "Biomes of southern Africa: an objective characterization". *Memoirs of the Botanical Survey of South Africa*, vol. 63 (1994).
- SANGSTER, A. G.; PARRY, D. W. "Some factors in relation to bulliform cell silicification in the grass leaf". *Annals of Botany*, vol. 33 (1969), p. 315-323.
- STRÖMBERG, Caroline; MCINERNEY, Francesca. "The Neogene transition from C3 to C4 grasslands in North America: assemblage

- analysis of fossil phytoliths”. *Paleobiology*, vol. 37, núm. 1 (2011), p. 50-71.
- TSARTSIDOU, Georgia [et al.]. “The phytolith archaeological record: strengths and weaknesses evaluated based on a quantitative modern reference collection from Greece”. *Journal of Archaeological Science*, vol. 34, núm. 8 (2007), p. 1262-1275.
- TSARTSIDOU, Georgia [et al.]. “Palaeoenvironmental reconstruction and flora exploitation at the Palaeolithic cave of Theopetra, central Greece: the evidence from phytolith analysis”. *Archaeological and Anthropological Sciences*, vol. 7, núm. 2 (2015), p. 169-185.
- TWISS, Page; SUESS, Erwin; SMITH, R. M. “Morphological classification of grass phytoliths”. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 33 (1969), p. 109-115.
- TYSON, P. D.; PRESTON-WHYTE, R. A. *The Weather and Climate of Southern Africa*. Ciutat del Cap: Oxford University Press, 2000.
- VAN WYK, Ben Erik; GERICKE, N. *People's plants: a guide to useful plants of southern Africa*. Johannesburg: Briza Publications, 2000.
- WADLEY, Lyn. “What is cultural modernity? A general view and a South African perspective from Rose Cottage Cave”. *Cambridge Archaeological Journal*, vol. 11 (2001), p. 201-221.
- WADLEY, Lyn. “Those marvellous millennia: the Middle Stone Age of Southern Africa”. *Azania: Archaeological Research in Africa*, vol. 50, núm. 2 (2015), p. 155-226.
- WADLEY, Lyn [et al.]. “Middle Stone Age bedding construction and settlement patterns at Sibudu, South Africa”. *Science*, vol. 334, núm. 6061 (2011), p. 1388-1391.
- WATTS, Ian. “The pigments from Pinnacle point cave 13B, western Cape, South Africa”. *Journal of Human Evolution*, vol. 59, núm. 3 (2010), p. 392-411.
- WATTS, Ian. “Red ochre, body-painting, and language: interpreting the Blombos ochre”. A: BOTHA, R.; KNIGHT, C. (ed.). *The Cradle of Language*. Vol. 2. Oxford: Oxford University Press, 2009, p. 93-129.
- WEINER, Steve. *Microarchaeology. Beyond the Visible Archaeological Record*. Nova York: Cambridge University Press, 2010.
- WOLDE GABRIEL, Giday [et al.]. “The geological, isotopic, botanical, invertebrate and lower vertebrate surroundings of *Ardipithecus ramidus*”. *Science*, vol. 326, núm. 5949 (2009), p. 65e1-65e5.
- WURZ, Sarah. “Technological trends in the Middle Stone Age of South Africa between MIS 7 and MIS 3”. *Current Anthropology*, vol. 54, núm. S8 (2013), p. 305-319.
- ZIEGLER, Martin [et al.]. “Development of Middle Stone Age innovation linked to rapid climate change”. *Nature Communications*, vol. 4 (2013), p. 1905.