

Datació de *Posidonia Oceanica* mitjançant ^{210}Pb

Datacion de *Posidonia Oceanica* mediante ^{210}Pb

Posidonia oceanica dating by ^{210}Pb

Nil Alvarez Segura §

Directors: Jordi Garcia T, Pere Masqué T

§ Llicenciatura de Ciències Ambientals, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Espanya.

T Institut de Ciència i Tecnologia Ambiental, Departament de Física, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Espanya.

Resum

La *Posidonia oceanica* és una fanerògama marina endèmica del Mediterrani. Es tracta d'una espècie molt important a les zones costeres, i en les últimes dècades la seva producció s'ha vist reduïda. En aquest estudi s'ha volgut demostrar la viabilitat d'utilitzar l'espècie *Posidonia oceanica* com a arxiu de contaminants al llarg del temps, alhora que s'han desenvolupat eines per a l'estudi de la dinàmica de les poblacions d'aquesta espècie. Les concentracions de ^{210}Pb observades als rizomes de *Posidonia oceanica* demostren que la datació d'organismes vius d'aquesta espècie mitjançant tècniques de ^{210}Pb no són viables. D'altra banda, s'ha aconseguit crear una cronologia del seu *matte*, la qual ens ha permès distingir entre diferents ritmes de sedimentació de la zona. Estudis paral·lels de la quantitat de carboni orgànic i inorgànic del *matte* han reafirmat els resultats obtinguts de la datació, permetent, al mateix temps, identificar una possible causa de la variació en el ritme de sedimentació de la zona estudiada.

Paraules clau: *Posidonia oceanica*, rizoma, *matte*, ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{40}K .

Resumen

La *Posidonia oceanica* es una fanerógama marina endémica del Mediterráneo. Se trata de una especie muy importante en las zonas costeras, y en las últimas décadas su producción se ha visto reducida. En este estudio se ha querido demostrar la viabilidad de utilizar la especie *Posidonia oceánica* como archivo de contaminantes a lo largo del tiempo, al mismo tiempo que se han desarrollado herramientas para el estudio de la dinámica de poblaciones de esta especie. Las concentraciones de ^{210}Pb observadas en los rizomas de *Posidonia oceánica* demuestran que la datación de organismos vivos de esta especie mediante técnicas de ^{210}Pb es inviable. Por otro lado, se ha conseguido crear una cronología de su

matte, la qual nos ha permetido distinguir entre diferentes ritmos de sedimentación en la zona a lo largo del tiempo. Estudios paralelos de la cantidad de carbono orgánico e inorgánico del *matte* han reafirmado los resultados obtenidos mediante la datación, permitiendo al mismo tiempo identificar una posible causa de la variación en el ritmo de sedimentación de la zona estudiada.

Palabras clave: *Posidonia oceanica*, rizoma, *matte*. ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{40}K .

Abstract

Posidonia oceanica is an endemic Mediterranean seagrass. It is a very important species in coastal areas, and in recent decades its production has been reduced. This study has sought to demonstrate the feasibility of using the species *Posidonia oceanica* as an archive of pollutants over time, as well as tools have been developed to study the population dynamics. ^{210}Pb concentrations observed in rhizomes of *Posidonia oceanica* show that dating living organisms of this species by ^{210}Pb techniques is not viable. On the other hand, we have managed to create a timeline of its *matte*, which allowed us to distinguish between different rates of sedimentation in the area. Parallel determinations of organic and inorganic carbon in the *matte* has reaffirmed the results of the dating, allowing at the same time, to identify a possible cause of the variation in the rate of sedimentation in the studied area.

Key words: *Posidonia oceanica*, rhizomes, *matte*. ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{40}K .

Introducció

Degut a la importància biològica i ecològica de la *Posidonia oceanica* (Howard et al., 1989; Bell and Pollard, 1989; Heck et al., 1995), qualsevol eina que permeti millorar l'estudi de l'ecologia d'aquesta fanerògama marina serà de gran importància.

Està demostrada la capacitat d'emmagatzematge de contaminants metalls als teixits de la *Posidonia oceanica* (Tovar-Sanchez et al., 2010), així doncs, la motivació d'aquest estudi va ser la de crear un arxiu històric de contaminants a partir de la datació d'aquesta espècie. Vistos els resultats obtinguts per Tovar-Sanchet

et al., (2010), els quals van ser capaços de quantificar el Pb present a la *Posidonia oceanica*, semblava clar que es podria datar aquesta espècie a partir de mètodes radiomètrics, i més concretament a partir del ^{210}Pb present en els teixits de la planta. Per tant un primer objectiu que ens vam marcar va ser el de crear un arxiu de contaminants que permetria estudiar l'evolució d'aquests contaminants a la zona d'estudi, ajudant a comprendre l'evolució de la praderia al llarg del temps.

El segon objectiu d'aquest estudi era el de datar, de manera simultània a la datació del rizoma, un testimoni del

matte d'una praderia de *Posidonia oceanica*, del qual es volia treure informació sobre els ritmes de sedimentació, que estan directament relacionats amb el creixement de la praderia.

Altres estudis han datat satisfactòriament testimonis del *matte* de *Posidonia oceanica* mitjançant la tècnica del ^{14}C (Serrano et al., 2011). El fet d'utilitzar el ^{210}Pb com a radionúclid per a establir l'edat de les diferents seccions del nostre testimoni, ens permetrà obtenir una resolució temporal molt més elevada, ja que aquest radionúclid té un temps de vida mitja de 22'3 anys, això implica que podrem datar materials de fins a 150 anys d'edat amb suficient precisió com per establir en quin moment exacte es va donar un canvi en el règim de sedimentació, i associar-lo així a factors externs si és el cas.

De manera paral·lela a la datació del testimoni per ^{210}Pb , s'han analitzat certs radionúclids d'interès a mode de comprovació com són el ^{226}Ra , el ^{137}Cs i el ^{40}K , alhora que s'ha analitzat la relació entre carboni orgànic i inorgànic del testimoni.

Mètodes

Tant els rizomes com el testimoni analitzats provenen de les Illes Balears (Figura 1). Els rizomes 1 i 2 van ser cedits per els autors de Tovar-Sanchet et al. (2010), mentre que el rizoma 3 i el testimoni provenen d'una mateixa praderia de *Posidonia oceanica*, i van ser mostrejats a la

badia de Pollença per els submarinistes de l'equip de la Doctora Núria Marbà al Novembre del 2011.

Per als rizomes 1 i 2 es va treballar a partir de les digestions fetes de cada segment dels rizomes originals, mentre que pel rizoma 3 i pel testimoni (de 20 centímetres de llarg per 4'5 centímetres de diàmetre) va caldre un pretractament de les mostres.

El pretractament de les mostres va consistir en el seccionament en segments d'un centímetre tant del rizoma 3 com del testimoni (es va utilitzar un ganivet de ceràmica per tal de no contaminar la mostra), un posterior assecament a 80°C durant 48-72 hores i una homogeneïtzació amb morter en el cas del testimoni (per a les seccions Poll 3, Poll 6, Poll 8, Poll 11 i Poll 13 es va homogeneïtzar la meitat de la mostra i l'altre meitat es va passar per un tamís per tal de separar la fracció argilosa de la que contenia les sorres i la matèria orgànica).

Determinació del ^{210}Pb

Les activitats de ^{210}Pb es van determinar per espectrometria alfa, mesurant l'activitat del ^{210}Po i assumint que es trobava en equilibri secular amb el seu.

L'anàlisi de ^{210}Po es va dur a terme seguint el mètode descrit per Sanchez-Cabeza et al (1998), el qual consisteix en la dissolució total de la mostra, un precondicionament d'aquesta i finalment la autodeposició del ^{210}Po a

uns discs de plata per tal de ser mesurats.

Aquest mètode garanteix una digestió completa de la mostra, obtenint valors de recuperació química superiors al 90%.

Es va utilitzar una dissolució de ^{209}Po com a traçador en el procés analític, i per a cada anàlisi es va calcular un blanc.

Els isòtops de Po van ser mesurats utilitzant els espectròmetres alfa PIPS (*Passivated Implanted Planar Silicon*) (CANBERRA, model PD-450.18 A.M) i el *Silicon Surface Barrier* (EG&G Ortec, model SSB 450R).

Determinació del ^{226}Ra , ^{137}Cs i ^{40}K

Aquesta determinació només es va dur a terme al testimoni, i d'aquest només es van analitzar des de la secció Poll 5 fins a la Poll 17 (des del quart centímetre fins a 16 centímetres de profunditat), ja que eren les que comprenien els rangs d'edat d'interès. Abans de ser analitzades, les mostres es van segellar i es van deixar a les fosques durant un mínim de 21 dies per tal de que el ^{226}Ra i els seus fills es trobessin en equilibri.

Les activitats de ^{137}Cs , ^{226}Ra i ^{40}K es van determinar per espectrometria gamma directa, amb un detector de cristall de Ge ultra pur (CANBERRA, model GCW3523). Les mostres van ser contades entre 2 i 3 dies, fins a obtenir incerteses menors al 5%, i es va utilitzar una geometria V6.

El ^{226}Ra es va obtenir a partir de les emissions del seu fill ^{214}Pb a 295 i 351 keV, mentre que el ^{137}Cs i el ^{40}K es van mesurar mitjançant la seva pròpia emissió gamma a 662 keV i 1460 keV respectivament.

Determinació del carboni orgànic i inorgànic

Per al testimoni, es va dur a terme també la quantificació de la relació entre $C_{\text{org}}/C_{\text{inorg}}$ per a cada secció. La tècnica utilitzada va ser la de combustió de la mostra a diferents temperatures, i es va dur a terme a l'IMEDEA (Institut Mediterrani d'Estudis Avançats, CSIC-UIB) per l'equip de la Doctora Núria Marbà.

Es va prendre una quantitat coneguda de mostra assecada a 80°C de cada secció i es va cremar a 550°C durant 5 hores; a aquesta temperatura, la matèria orgànica combustionava i ens permet observar quin percentatge en pes representava de la mostra, i com que el 40% de la matèria orgànica està formada per C (Nelson i Sommers, 1996; Soil Survey Laboratory Methods Manual, 1992) sabem quina quantitat de C_{org} hi ha present en cada secció.

Posteriorment, la mostra ja sense matèria orgànica va ser cremada a 1000°C durant 2 hores, temperatura a la qual els carbonats presents combustionen. Així doncs, amb aquesta segona crema podem establir la quantitat de C_{inorg} que hi havia en cada secció.

Resultats i conclusions

Rizomes

Com s'ha comentat, els rizomes 1 i 2 van ser cedits per els autors de Tovar-Sanchez et al., (2010); al dur a terme els anàlisis de ^{210}Pb es va veure que les concentracions obtingudes d'aquest radionúclid eren molt baixes. Els resultats es mostren a la Taula 1.

Les activitats de ^{210}Pb en el rizoma 1 oscil·len entre $16,99 \pm 4,78 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $0,88 \pm 2,94 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, amb una mitjana de concentració de $8,53 \pm 1,17 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Els resultats obtinguts per al rizoma 2 van ser semblants, i els resultats de l'anàlisi del rizoma 3 es mostren a la Taula 2. En ella s'observa que els resultats van ser similars als de les anàlisis dels rizomes 1 i 2. Les activitats de ^{210}Pb en el rizoma 3 són menors, però, que les activitats obtingudes en el rizoma 1, oscil·lant entre $7,64 \pm 1,14 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $1,13 \pm 0,35 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, amb una mitjana de concentració de $2,77 \pm 0,51 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Les activitats obtingudes per al ^{210}Pb en els tres rizomes analitzats no han permès observar cap tendència clara, ja que no hi havia una disminució de l'activitat amb l'edat com caldria esperar.

El fet de que no s'observi una tendència decreixent seguint la llei exponencial de la desintegració en cap dels 3 rizomes de *Posidonia oceanica* indicaria que l'ús d'aquesta planta costanera no permet l'obtenció d'un model d'edat a partir de l'anàlisi de ^{210}Pb de cadascun dels seus anells. Considerant que la *Posidonia oceanica* incorpora a la seva estructura

diversos tipus de metalls, el motiu per el qual el ^{210}Pb no s'incorpora de forma regular a la *Posidonia oceanica* pot ser degut a que la concentració de ^{210}Pb en la columna d'aigua varia sensiblement al llarg del temps, o bé que el rang d'edat del model basat en la disminució de la concentració de ^{210}Pb en la planta és massa llarg considerant el temps de vida de la *Posidonia oceanica* (el qual és d'uns 30 anys), o podria ser degut a que la *Posidonia oceanica* no és capaç de traçar la concentració de metalls que hi ha a la columna d'aigua o que la seva fixació en els rizomes no és permanent.

Testimoni

- Determinació del contingut de ^{210}Pb i ^{226}Ra en la praderia de *Posidonia oceanica*

Un cop analitzada la viabilitat de la datació de rizomes mitjançant la tècnica del ^{210}Pb i observar que els resultats no són satisfactoris per assolir aquest objectiu, es presenten els resultats de l'anàlisi de ^{210}Pb en un testimoni d'una praderia de *Posidonia oceanica* pres a la badia de Pollença.

A la Taula 3 i la Figura 2 es mostren els resultats i la tendència que segueix el ^{210}Pb en funció de la massa seca acumulada ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$). Les activitats mesurades en el testimoni del *matte* de la praderia de *Posidonia oceanica* del Port de Pollença oscil·len entre $234,32 \pm 14,63 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $61,93 \pm 3,05 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Aquests valors permeten observar que hi ha una clara tendència de decreixement de l'activitat en

funció de la profunditat. Les mostres més profundes són les que es van formar fa més temps, i per tant l'activitat del ^{210}Pb ha disminuït segons el seu ritme de desintegració.

En la Figura 2 es pot observar un primer estadi de barreja (*mixing*) degut a moviments verticals provocats per microorganismes o per efectes físics, i posteriorment, a partir del quart centímetre, s'observa una tendència de disminució de l'activitat a mesura que augmenta la profunditat, fins a una profunditat de 16 centímetres, on es pot observar, també, que a les últimes cinc seccions l'activitat és manté "constant"; això ens indica que en aquestes seccions l'activitat detectada provindria únicament del ^{210}Pb de base, que és el que es genera *in situ* per la desintegració del ^{226}Ra , i que és el mateix per a totes les seccions.

Aquesta activitat del ^{210}Pb de base ($73 \pm 7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) és més alta que la observada en aquest tipus de sediments en altres estudis (els valors del ^{210}Pb de base acostumen a ser entre $20\text{-}30 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ depenent força de la situació, de la profunditat a la que es troba i de les característiques de la matriu geològica).

El fet d'haver trobat un ^{210}Pb de base tant elevat requereix de la verificació d'aquesta concentració mitjançant la determinació del ^{226}Ra per espectrometria gamma, la qual és indicadora del ^{210}Pb de base.

La mesura per espectrometria gamma es va dur a terme per a les seccions que van de la secció Poll 5 a la secció

Poll 17. A la Taula 5 es mostren els resultats de la determinació de la concentració de ^{226}Ra , ^{137}Cs i ^{40}K .

El ^{214}Pb , en equilibri secular amb el ^{226}Ra , és indicador de quin és el ^{210}Pb de base dels sediments que s'estan estudiant. L'activitat mitjana obtinguda és de $19,7 \pm 5,2 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, valor significativament menor que el que s'ha observat a partir de l'estabilització del ^{210}Pb ($73 \pm 7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Al quedar descartat que l'estabilització de l'activitat de ^{210}Pb fos deguda al ^{210}Pb de base, el que sembla més provable és que es tracti d'una altre zona de barreja i que degut a les limitacions físiques del testimoni estudiat (20 cm) no s'hagi observat un decreixement de l'activitat del ^{210}Pb en seccions més profundes fins assolir activitats de l'ordre de $19,1 \pm 5,4 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

En la Figura 3 es representa quin hauria sigut l'aspecte del perfil si el testimoni no hagués tingut la limitació física dels 20 centímetres.

De no ser per les mesures de ^{214}Pb s'hauria comés un error significatiu a l'hora d'estudiar les edats de cada secció, ja que per a utilitzar els models de datació es treballa amb el ^{210}Pb en excés ($^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$), el qual s'obté de restar el ^{210}Pb de base al total (Taula 4).

- Determinació del ^{137}Cs

Al ser un radionúclid artificial, les concentracions de ^{137}Cs a l'atmosfera al llarg del temps estan molt documentades; la primera aparició a la natura d'aquest radionúclid va ser a

mitjans del anys 50 amb un pic a l'any 1963, moment en el que es va arribar al màxim de proves d'armament nuclear fetes a l'atmosfera, així doncs, si una secció del testimoni és presumiblement de l'any 1940 i s'hi observa presència de ^{137}Cs sabrem que la datació que s'ha realitzat és incorrecte.

D'altre banda, hauríem de ser capaços de trobar en una de les seccions del testimoni una activitat elevada de ^{137}Cs que correspondria a les fuites que es van donar d'aquest radionúclid a l'accident de Chernobyl, en el que es van dispersar grans quantitats de ^{137}Cs entre d'altres radionúclids per Europa. Aquesta activitat puntualment elevada ens serveix com a traçador, i permet afirmar que la secció en la que es troba és de l'any 1986, any en el que es va produir l'accident.

Malauradament, les activitats de ^{137}Cs ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) que es van observar en les seccions van resultar nul·les en alguns casos i excessivament baixes en altres com per ser tingudes en compte.

El fet de no observar activitats altes de ^{137}Cs en les capes esperades no significa que la datació sigui errònia, sinó que la deposició de ^{137}Cs en aquest tipus de sediment no és tant efectiva com en altres materials.

Les activitats de ^{137}Cs es troben recollides a la Taula 5. En ella podem observar la presència de ^{137}Cs fins a la secció Poll 16 amb valors que oscil·len entre $1,35 \pm 0,8 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $2,9 \pm 0,6 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (els valors que es mostren per a les seccions Poll 8 i Poll 9 són despreciables, ja que l'error que

porten associat és major que l'activitat detectada). Per altre banda, els valors de MDA (de les sigles en anglès de Mínima Activitat Detectable), indiquen que no ens podem fiar dels resultats, però tot i que no podem afirmar la quantitat de ^{137}Cs que hi ha a les diferents seccions, el fet és que se n'ha detectat en algunes, i això pot ser suficient com per reafirmar o posar en dubte la datació que es vol realitzar.

- Determinació del ^{40}K

El ^{40}K és un radionúclid característic de la matriu geològica del sediment que s'estudia. Les variacions significatives d'aquest radionúclid poden indicar la sedimentació d'algun material al·lòcton no característic de la sedimentació dels materials de la zona (p.e. materials abocats per l'home, riuades,...). Les activitats de ^{40}K es troben recollides a la Taula 5.

En ella s'observa que el ^{40}K oscil·la entre $231 \pm 51 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $418 \pm 7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ amb una mitjana de $296 \pm 23 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Aquests valors són relativament baixos comparat amb un sediment argilós que solen oscil·lar entre 600 i 1000 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Aquest confirmaria el baix contingut en argiles dels sediments analitzats i el seu alt contingut en matèria orgànica i sorres.

- Determinació del carboni orgànic i inorgànic

S'ha dut a terme la quantificació de la relació entre carboni orgànic i carboni inorgànic per tal d'establir relacions

entre els ritmes de sedimentació observats amb els mètodes radiomètrics, amb aportacions puntuals de material des del continent (carboni inorgànic) o augments de la producció de biomassa de la praderia (carboni orgànic). Els resultats de la determinació del carboni orgànic i inorgànic es mostren a la Taula 6 i la Figura 4.

Pel que fa a la fracció de carboni orgànic, les concentracions en percentatge varien entre el 10,38 i el 3,82 % del total amb una mitjana del 7,50 % en pes sec, mentre que la proporció de carboni inorgànic varia entre el 33,79 i el 22,97 %, amb una mitjana del 26,06 % del total del pes sec.

La presència de carboni orgànic és molt més petita que la de carboni inorgànic; això fa que les variacions en la concentració de carboni orgànic no es vegin reflectides en variacions al carboni total, de fet, el carboni orgànic representa el 22,4% del carboni total present al testimoni, mentre que el 77,6% és carboni inorgànic.

- Determinació del model d'edat a partir de les determinacions de $^{210}\text{Pb}_{\text{XS}}$.

Hi ha diferents models que ens permeten establir l'edat d'un material a partir del ^{210}Pb present a la mostra; aquests models són el CIC, el CRS, i el CF:CS.

Per a realitzar la cronologia del testimoni amb el que s'ha treballat, s'ha utilitzat el model CF:CS, ja que la

descomposició de la matèria orgànica altera l'activitat específica de ^{210}Pb a les capes superficials i fa que el model CIC sigui inapropiat per a datar testimonis recents (Appleby i Oldfield, 1992; Olid et al., 2008), mentre que la utilització del model CRS implica conèixer tot l'inventari de ^{210}Pb del testimoni, i com hem vist no disposem de les últimes seccions abans d'arribar al ^{210}Pb de base. Així doncs, apliquem el model CF:CS, el qual assumeix que tant el flux de ^{210}Pb com els ritmes d'acumulació del depòsit son constants.

Al representar les concentracions de ^{210}Pb en excés (Taula 4) en front a la massa seca acumulada de cada secció (Figura 5) podem observar que hi ha dos pendents diferenciats, la qual cosa ens indica que hi ha dos ritmes de sedimentació.

Com s'ha comentat anteriorment, les primeres i les últimes seccions del testimoni representen una zona de pertorbacions tant físiques com biològiques. El que s'ha fet, és tractar les seccions centrals i extrapolar els resultats a la totalitat del testimoni.

Pel que fa a aquestes seccions centrals, s'ha vist oportú diferenciar entre una primera zona amb un ritme de sedimentació més elevat i una segona on el ritme és una mica més suau. El fet de tractar per separat les dues parts del gràfic ens permet obtenir una correlació (R^2) molt més elevada de la que s'obté de tractar-lo com a un sol ritme.

Els valors dels ritmes de sedimentació són de $0,232 \pm 0,024 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ per al

primer tram, i de $0,088 \pm 0,006 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ per a les seccions més profundes del testimoni. Això implica un ritme de sedimentació que varia de $0,195 \pm 0,012 \text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$ entre mitjans del segle XIX fins als 90' on s'observa un increment de la taxa de sedimentació de $0,558 \pm 0,058 \text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$, que és la velocitat de creixement actual del *matte*.

Així doncs, al calcular l'edat de cada secció del sediment amb el mètode CF:CS, s'observa que el canvi en el ritme de sedimentació es va donar en els anys 90' (Figura 6).

Tot i que els valors obtinguts en la quantificació del ^{137}Cs no han aportat molta informació, el que sí que s'ha vist és que la última secció amb presència de ^{137}Cs és la Poll 16 (que correspon a la profunditat de 15,5 centímetres), i que s'ha datat de l'any 1959 segons el model CF:CS. Tenint en compte que les primeres deteccions de ^{137}Cs al medi corresponen a mitjans de la dècada dels 50', la presència de ^{137}Cs en la secció Poll 16 ens afirma que la datació realitzada a partir del ^{210}Pb és correcta, ja que a partir d'aquesta profunditat no s'ha detectat més presència de ^{137}Cs .

- Variacions dels ritmes de sedimentació a la badia de Pollença.

Els resultats de la datació del testimoni ens han permès observar que en el procés de formació del *matte* hi ha hagut dos ritmes de sedimentació, el qual va augmentar a la dècada dels 90'.

Per altra banda, l'estudi de la proporció de carboni orgànic i inorgànic en cada secció del testimoni ens va permetre observar si hi havia hagut algun canvi al llarg del temps en aquesta relació, associant-la, si fos el cas, a episodis de construcció accentuada, cimentació, canalització de rieres, etc. de la zona d'on prové el testimoni.

El fet de que la proporció de carboni inorgànic augmenti en una secció en relació a les altres, pot voler dir que durant la època en que s'estava formant hi va haver una aportació extra de materials carbonatats, els quals probablement provinguessin d'una obra, o d'un procés d'urbanització important a la zona.

Segons veiem en la Figura 4, la secció Poll 12 mostra una proporció significativament superior de carboni inorgànic respecte de les altres seccions;

Segons les datacions realitzades, la formació d'aquesta secció es va donar al voltant de l'any 1979. Aquest canvi en la proporció de carboni inorgànic coincideix amb la darrera ampliació del Port de Pollença (comentaris personals del Departament de Medi Ambient de l'Ajuntament de Pollença i Autoritat Portuàries de les Illes Balears).

Sembla clar, doncs, que les obres en el port del Port de Pollença van causar l'augment de carboni inorgànic que s'ha observat, ja que una obra d'aquest tipus augmenta la quantitat de material en suspensió de l'aigua i per tant la sedimentació és major.

La pertorbació causada per les obres al port, van causar no només un augment en la proporció de carboni inorgànic del sediment, sinó també un augment en el ritme de sedimentació, ja que si hi ha més material en suspensió, el ritme de sedimentació, i per tant el ritme de creixement del *matte* que s'està estudiant, es veuen accelerats.

El fet de que el canvi en el ritme de sedimentació s'observi a partir de la secció Poll 10 en comptes de la secció Poll 12, pot ser degut a que no és fins al cap d'uns anys que una obra de la magnitud d'un port canvia la dinàmica de la zona. Molt probablement, l'ampliació del port ha portat associat un canvi en la dinàmica litoral, creant en aquest cas un augment en la acumulació de sediments a la zona Sud d'aquest.

Conclusions

Aquest treball mostra per primer cop l'estudi de l'ús de *Posidonia oceanica* com a arxiu cronològic de la contaminació per metalls d'aigües costaneres.

Al llarg de l'estudi s'ha demostrat la impossibilitat de datar la *Posidonia oceanica* com a organisme a partir de mètodes de ^{210}Pb , ja que aquesta espècie no fixa el ^{210}Pb del medi on es troba.

La impossibilitat de datar els organismes de *Posidonia oceanica* a partir de ^{210}Pb , no implica que aquesta espècie no sigui capaç de fixar altres contaminants, per tant segueix sent un potencial arxiu històric de

contaminants; faltaria trobar la tècnica adequada per a datar els teixits vius de la planta.

Per altre banda, s'ha vist que l'estudi del *matte* d'una praderia de *Posidonia oceanica* en permet estudiar els seus ritmes de creixement. La datació d'aquests *mattes* per tècniques de ^{210}Pb s'ha demostrat factible i fiable, i ens proporciona informació sobre ritmes de creixement i sobre canvis en l'entorn de la praderia al llarg del temps. Al quedar demostrada la possibilitat de datar el *matte* d'una praderia de *Posidonia oceanica*, aquest passa a ser automàticament un potencial arxiu històric de contaminants, el qual proporcionaria informació sobre esdeveniments de fins a 150 anys d'edat.

En aquest estudi s'ha observat també que el ^{137}Cs presenta una baixa afinitat amb els materials que confeccionen el *matte* (principalment matèria orgànica, sorres i argiles).

Per últim, s'ha vist que l'estudi de la relació entre carboni orgànic i inorgànic del *matte* d'una praderia de *Posidonia oceanica* combinat amb la datació d'aquest, permet establir relacions directes entre la època de formació d'una capa de sediment i el seu entorn.

Bibliografia

Appleby, P.G. and Oldfield, F. (1992) Application of lead-210 to sedimentation studies. In: Uranium-series disequilibria: Application to earth, marine and environmental science. Claredon press, Oxford.

Bell J. D. and Pollard D. A. (1989) Ecology of fish assemblages and fisheries associated with seagrasses. In *Biology of seagrasses* (ed. A. W. D. Larkum, A. J. McComb, and S. A. Shepherd), pp. 565-597. Elsevier.

Heck Jr. K. L., Able K. W., Roman C. T., and Fahay M. P. (1995) Composition, abundance, biomass, and production of macrofauna in a New England estuary: comparisons among eelgrass meadows and other nursery habitats. *Estuaries* 18(2), 379-389.

Howard R. K., Edgar G. J., and Hutchings P. A. (1989) Faunal assemblages of seagrass beds. In *Biology of seagrasses* (ed. A. W. D. Larkum, A. J. McComb, and S. A. Shepherd), pp. 536-564. Elsevier.

Olid, C., Garcia-Orellana, J., Martínez-Cortizas, A., Masqué, P., Peiteado, E.,

Sanchez-Cabeza, J.A. (2008) Role of surface vegetation in ^{210}Pb -dating of peat cores. *Environ. Sci. Technol.* **42**, 8858-8864 Sanchez-Cabeza et al (1998)

Serrano o., Mateo M.A., Dueñas-Bohórquez A., Renom P., López-Sáez J.A., Martínez Cortizas A., (2011) The *Posidonia oceanica* marine sedimentary record: A Holocene archive of heavy metal pollution. *Science of the Total Environment*, **409**, 4831-4840

Tovar-Sánchez, A., J. Serón, N. Marbà, J. M. Arrieta, and C. M. Duarte (2010), Long-term records of trace metal content of western Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows: Natural and anthropogenic contributions, *J. Geophys. Res.*, 115, G02006, doi:10.1029/2009JG001076.

Taules

Taula 1: Activitat (Bq·kg⁻¹) de les diferents seccions del rizoma 1, sent Riz 1 la part més propera al substrat i Riz 22 l'extrem aeri de la planta.

Identificació de la mostra	Centre de la secció (cm)	²¹⁰ Pb (Bq·kg ⁻¹)			
Riz 1	0,5	16,97	±	4,78	
Riz 2	1,5	16,99	±	4,40	
Riz 3	2,5	12,17	±	3,05	
Riz 4	3,5	6,41	±	2,41	
Riz 5	4,5	9,28	±	2,81	
Riz 6	5,5	13,29	±	5,64	
Riz 7	6,5	6,38	±	2,62	
Riz 8	7,5	4,00	±	1,47	
Riz 9	8,5	8,14	±	2,87	
Riz 10	9,5	15,58	±	3,42	
Riz 11	10,5	5,81	±	1,53	
Riz 12	11,5	0,88	±	2,94	
Riz 13	12,5	3,48	±	2,35	
Riz 14	13,5	6,04	±	2,52	
Riz 15	14,5	4,62	±	1,94	
Riz 16	15,5	11,33	±	1,85	
Riz 17	16,5	6,46	±	1,17	
Riz 18	17,5	7,38	±	1,27	
Riz 19	18,5	11,28	±	1,68	
Riz 20	19,5	12,31	±	1,72	
Riz 21	20,5	10,44	±	1,56	
Riz 22	21,5	8,91	±	2,08	

Taula 2: Activitat (Bq·kg⁻¹) de les diferents seccions del rizoma físic de Pollença, sent la secció Riz_Poll 1 la més propera al substrat i la Riz_Poll 14 l'extrem aeri de la planta

Identificació de la mostra	Ccentre de la secció (cm)	²¹⁰ Pb (Bq·kg ⁻¹)		
Riz_Poll 1	0,5	3,90	±	0,77
Riz_Poll 2	1,5	1,57	±	0,53
Riz_Poll 3	2,5	1,93	±	0,48
Riz_Poll 4	3,5	3,51	±	0,56
Riz_Poll 5	4,5	1,13	±	0,35
Riz_Poll 6	5,5	1,95	±	0,45
Riz_Poll 7	6,5	1,84	±	0,40
Riz_Poll 8	7,5	2,56	±	0,47
Riz_Poll 9	8,5	1,86	±	0,33
Riz_Poll 10	9,5	6,31	±	0,73
Riz_Poll 11	10,5	3,25	±	0,50
Riz_Poll 12	11,5	2,99	±	0,75
Riz_Poll 13	12,5	3,18	±	0,89
Riz_Poll 14	13,5	7,64	±	1,14

Taula 3: Activitat total ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) de les diferents seccions del testimoni de la praderia de Posidonia oceanica de Pollença. A les seccions 3, 6, 8, 11 i 13 s'ha separat la fracció argilosa de la sorrenca.

Codi	Centre de la secció (cm)	Densitat ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	^{210}Pb Total ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$)		
Poll 1	0,50	2,09	200	±	12
Poll 2	1,50	2,41	196	±	10
Poll 3	2,50	3,88	214	±	10
Poll 3 arg	2,50		211	±	11
Poll 3 sor	2,50		197	±	11
Poll 4	3,50	4,50	234	±	15
Poll 5	4,50	4,52	223	±	14
Poll 6	5,50	4,39	201	±	10
Poll 6 arg	5,50		253	±	13
Poll 6 sor	5,50		160	±	9
Poll 7	6,50	3,95	196	±	10
Poll 8	7,50	3,85	182	±	10
Poll 8 arg	7,50		172	±	9
Poll 8 sor	7,50		148	±	7
Poll 9	8,50	3,75	179	±	7
Poll 10	9,50	4,17	176	±	8
Poll 11	10,50	3,80	160	±	7
Poll 11 arg	10,50		160	±	9
Poll 11 sor	10,50		134	±	8
Poll 12	11,50	4,41	146	±	7
Poll 13	12,50	4,23	124	±	6
Poll 13 arg	12,50		140	±	8
Poll 13 sor	12,50		132	±	6
Poll 14	13,50	4,99	114	±	5
Poll 15	14,50	5,04	89	±	4
Poll 16	15,50	4,78	76	±	4
Poll 17	16,50	4,58	77	±	4
Poll 18	17,50	4,15	78	±	4
Poll 19	18,50	5,06	62	±	3
Poll 20	19,50	4,19	73	±	4

Taula 4: $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ tenint en compte el Pb de base calculat a partir d'espectrometria gamma

Identificació de la mostra	Profunditat del centre de la secció (cm)	Massa seca acumulada ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)	$^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$)		
Poll 1	0,5	0,21	181	±	13
Poll 2	1,5	0,45	176	±	12
Poll 3	2,5	0,84	194	±	12
Poll 4	3,5	1,29	215	±	16
Poll 5	4,5	1,74	204	±	16
Poll 6	5,5	2,18	182	±	12
Poll 7	6,5	2,57	176	±	12
Poll 8	7,5	2,96	162	±	12
Poll 9	8,5	3,33	159	±	10
Poll 10	9,5	3,75	156	±	11
Poll 11	10,5	4,13	140	±	9
Poll 12	11,5	4,57	127	±	9
Poll 13	12,5	5,00	104	±	8
Poll 14	13,5	5,49	94	±	7
Poll 15	14,5	6,00	69	±	7
Poll 16	15,5	6,48	56	±	7
Poll 17	16,5	6,93	57	±	7
Poll 18	17,5	7,35	58	±	7
Poll 19	18,5	7,86	42	±	6
Poll 20	19,5	8,28	53	±	6

Taula 5: Activitat (Bq·kg⁻¹) obtinguda per espectrometria gamma de diversos radionúclids.

Identificació de la mostra	Profunditat del centre de la secció (cm)	²²⁶ Ra (Bq·kg ⁻¹)			¹³⁷ Cs (Bq·kg ⁻¹)			MDA ¹³⁷ Cs (Bq·kg ⁻¹)	⁴⁰ K (Bq·kg ⁻¹)		
Poll 5	4,5	17,1	±	5,8	2,52	±	2,38	3,50	320,6	±	80,3
Poll 6	5,5	29,9	±	4,6	2,90	±	0,60	2,70	324	±	69
Poll 7	6,5	19,2	±	1,9	2,30	±	0,80	2,90	278	±	37
Poll 8	7,5	16,1	±	6,9	0,98	±	1,39	4,70	230,6	±	50,7
Poll 9	8,5	12,3	±	5,4	0,70	±	0,74	2,50	263,9	±	31,8
Poll 10	9,5	13,1	±	1,4					301,99	±	55,2
Poll 11	10,5	23	±	2					313	±	83
Poll 12	11,5	21,7	±	5,2					286	±	33
Poll 13	12,5	19,4	±	1,5	1,35	±	0,80	2,60	290,8	±	59,8
Poll 14	13,5	16	±	1,8					258,9	±	71,5
Poll 15	14,5	27,3	±	4,9					333,1	±	33,3
Poll 16	16,5	18,2	±	1,8	2,40	±	0,60	3,20	417,6	±	7,1
Poll 17	17,5	22,9	±	5,5					341	±	70

Taula 6: Percentatge, en relació al pes sec, de carboni orgànic i inorgànic present en cada secció del testimoni

Identificació de la mostra	Profunditat del centre de la secció	Carboni orgànic (%)	Carboni inorgànic (%)
Poll 1	0,5	10,38	26,88
Poll 2	1,5	7,71	28,60
Poll 3	2,5	7,05	27,32
Poll 4	3,5	7,49	26,13
Poll 5	4,5	7,00	25,98
Poll 6	5,5	6,70	26,81
Poll 7	6,5	9,20	25,95
Poll 8	7,5	8,92	25,20
Poll 9	8,5	9,27	26,15
Poll 10	9,5	8,09	25,80
Poll 11	10,5	7,53	26,73
Poll 12	11,5	3,82	33,79
Poll 13	12,5	7,31	26,23
Poll 14	13,5	7,04	25,60
Poll 15	14,5	6,98	24,41
Poll 16	15,5	7,40	23,81
Poll 17	16,5	7,50	24,00
Poll 18	17,5	6,10	26,77
Poll 19	18,5	8,07	22,97
Poll 20	19,5	7,98	24,04

Figures

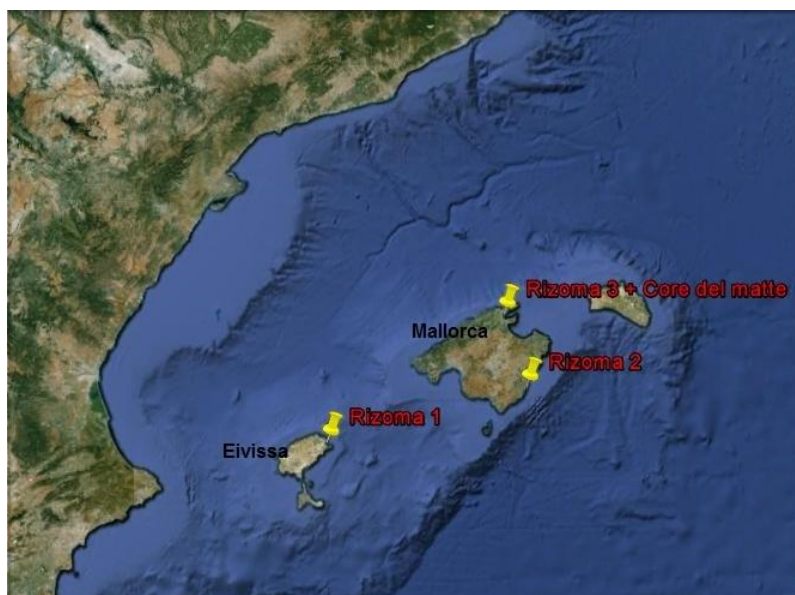


Figura 1: Zona de mostreig de les mostres analitzades en aquest estudi (Google Earth)

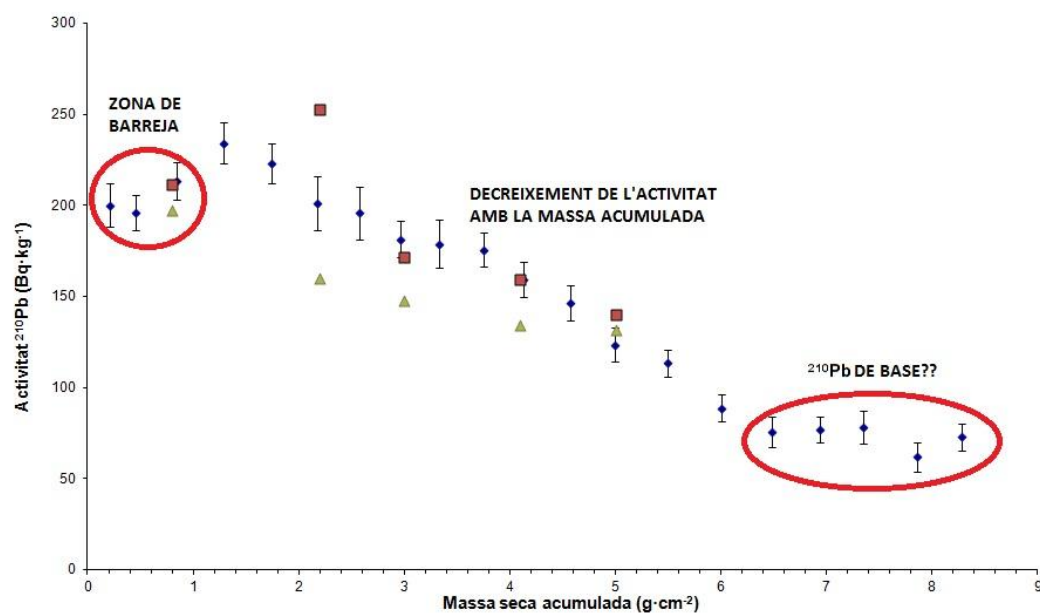


Figura 2: ^{210}Pb (Bq·kg⁻¹) en front a la massa seca acumulada, s'observen les zones de barreja i d'estabilització, així com la tendència de les seccions centrals del testimoni.

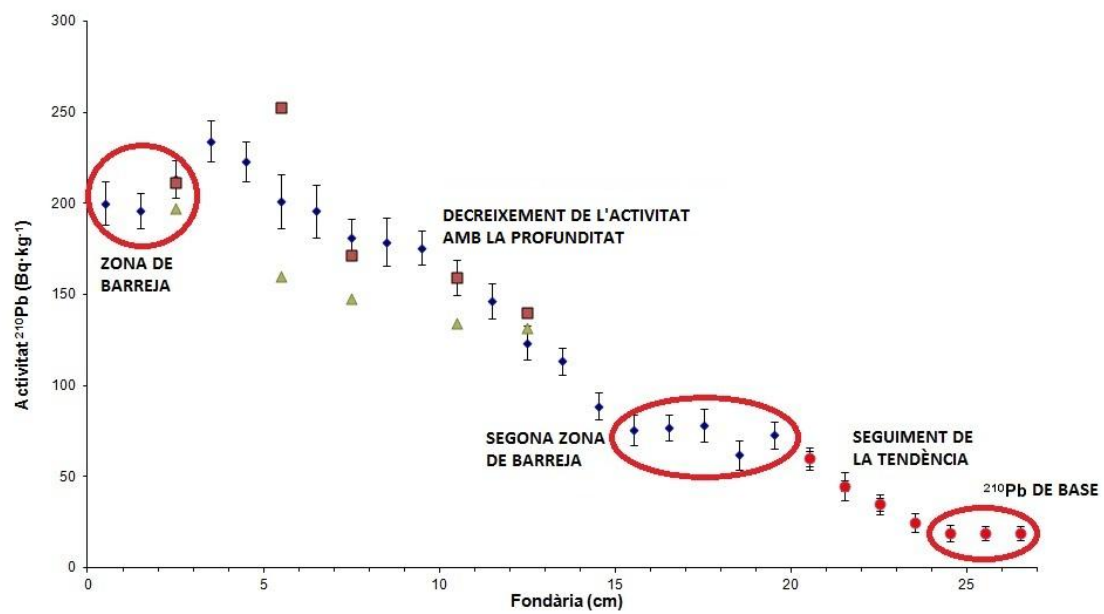


Figura 3: Interpretació de la part més profunda del perfil un cop observat que el ^{210}Pb de base és de 19 Bq·kg⁻¹ i no de 73 Bq·kg⁻¹ com s'havia cregut anteriorment.

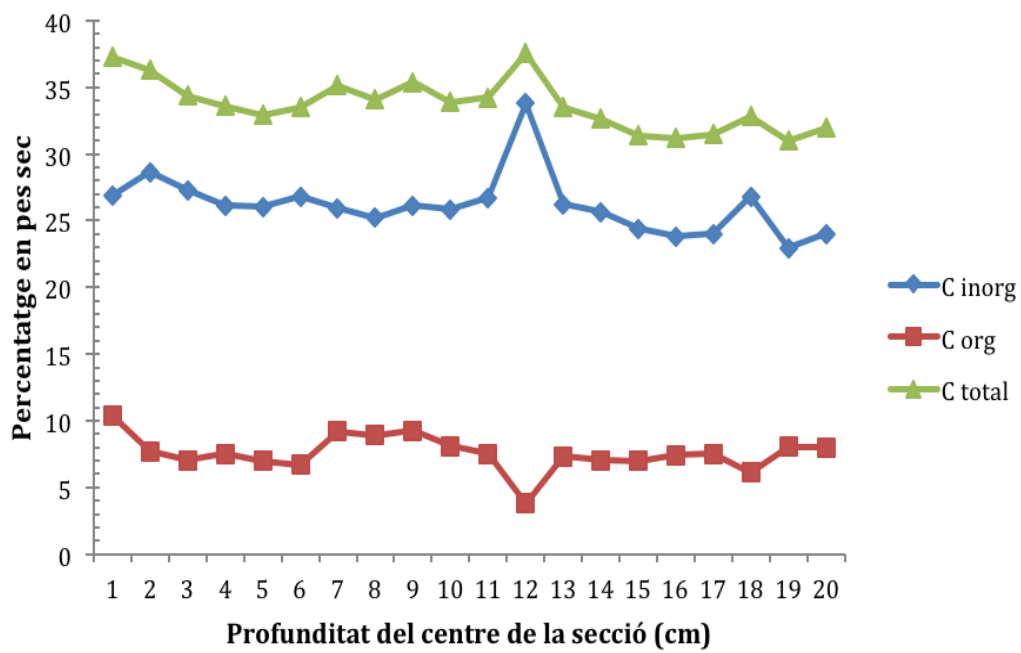


Figura 4: Percentatge, en relació al pes sec, de carboni orgànic i inorgànic per a cada secció.

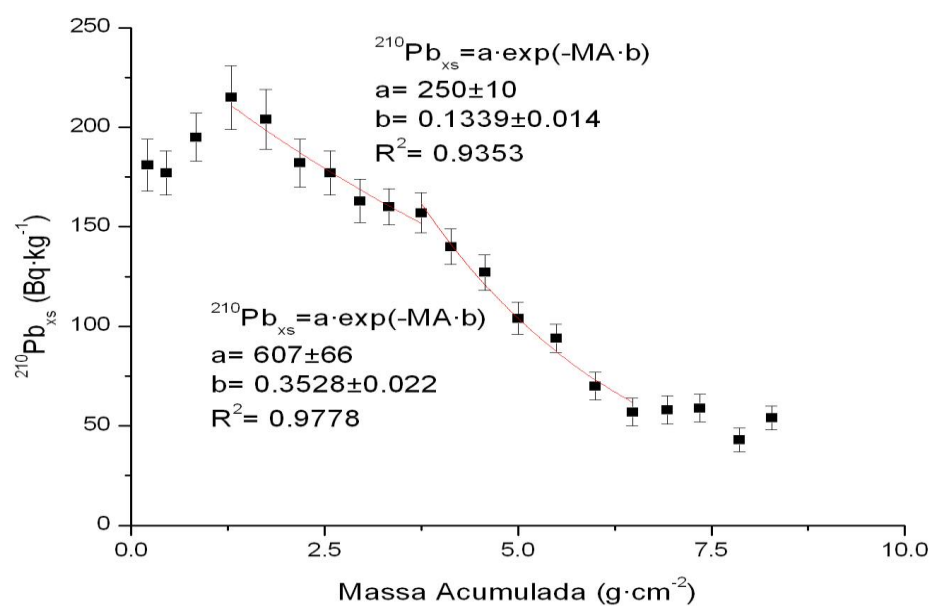


Figura 5: Activitat del ^{210}Pb en excés en funció de la massa seca acumulada de cada secció.

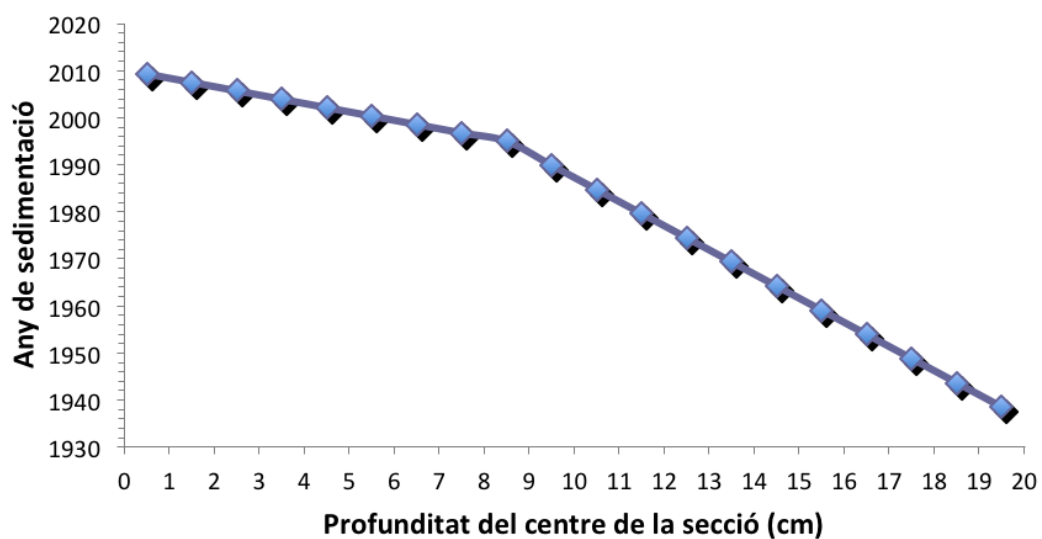


Figura 6: Edat de formació de cada secció segons el model CF:CS.