

1.INTRODUCCIÓ

1. INTRODUCCIÓ

Al començament no tenia gens clar quin tema volia tractar en el meu treball de recerca. Els temes que més m'apassionaven eren els relacionats amb la medicina interna, la medicina legal, la cirurgia o la genètica però són temes massa extensos i generals i molt difícils de treballar a l'institut. A més a més, volia que el meu treball contingués una part experimental important, que fos eminentment pràctic. Llavors la Lídia Carrera, la meva professora de ciències de la Terra i que llavors va resultar ser també la meva tutora del treball de recerca, em va proposar un tema relacionat amb la contaminació per metalls pesant i els efectes que poden causar aquests sobre la germinació i el creixement de les plantes. Em va semblar un tema interessant per tractar ja que la contaminació per metalls pesants està molt present en tots els sectors industrial, i Catalunya és un dels focus industrials més importants d'Espanya. A més, aquesta contaminació que sòl acumular-se als sòls i a les aigües superficials, acaba incorporant-se a la cadena alimentària fins a causar danys directes o indirectes a les persones. Així que finalment vaig decidir fer "la contaminació dels sòls per metalls pesant i els efectes causats a la germinació i el creixement de les plantes".

L'objectiu principal del treball és observar els efectes que tenen els metalls pesants sobre la germinació i el creixement de les plantes. Per fer-ho, m'informaré primer sobre les característiques principals dels metalls pesants que utilitzaré, que seran el plom, el coure, el níquel i el zinc. Seguidament faré un estudi de quines són les principals fonts de contaminació per metalls pesants i com es poden recuperar els sòls un cop contaminats. M'informaré de com absorbeixen les plantes el metall pesant i quins perills pot provocar la bioacumulació d'aquests a la xarxa i finalment, faré un estudi experimental dels efectes que causen els metalls pesants a la germinació i el creixement de les llavors de blat i de colza.

Utilitzaré el plom, el coure, el níquel i el zinc com a contaminants perquè presenten diferents característiques entre ells (s'acumulen a diferents parts de la planta, alguns són molt tòxics i altres són elements essencials, etc.). Les espècies vegetals que utilitzaré seran el blat i el colza, que van ser molt plantades l'any 2009 a la comarca d'Osona i presenten arrels diferents (el bat té arrel fasciculada i el colza axonomorfa).

Les hipòtesis de la pràctica seran descobrir:

- Els efectes dels metalls a la germinació i el creixement de les plantes.
- Quin metall pesant és més tòxic per les plantes.

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

- Si les plantes poden assimilar nivells extraordinaris de coure.
- Quina planta és més tolerant als metalls pesants.
- A partir de quina concentració el metall pesants causa efectes sobre la germinació i el creixement de les plantes.
- Si hi ha algun metall pesants que resulti beneficiós per la germinació i el creixement de les plantes.
- Si en presència de níquel observem efectes més significatius a es fulles que a les arrels de les plantes.
- si el tipus d'arrel (fasciculada o axonomorfa) influeix en la germinació i el creixement de les plantes.

2.ELS METALLS PESANTS I LA CONTAMINACIÓ DELS SÒLS I ELS ECOSISTEMES

2.1. PRINCIPALS CARACTERÍSTIQUES DELS METALLS PESANTS

2.1.1 Què són?

Els metalls pesants són un grup d'elements químics que presenten una densitat relativament alta i determinada toxicitat per als éssers humans. Hi ha metalls, però, que en baixa concentració no són especialment tòxics i fins i tot alguns són essencials per a les plantes com el Mn, Fe, Zn o el Cu, ja que són components estructurals i/o catalítics de proteïnes i enzims. També n'hi ha que són beneficiosos per als éssers humans com el Cr, V, Ti, Co i el Se. Se solen considerar metalls pesants tots els elements metàl·lics a partir del quart període de la taula periòdica dels elements. En serien un exemple el Pb, Hg, Cd, Ti, Cr, Fe, Ni, Cu, As, Ag, Sn, Pt, Au i U.

Alcalinos	Alcalinotérreos	Lantánidos	Actínidos	Metales de transición
Metales del bloque p	Metaloides	No metales	Halógenos	Gases nobles

Group →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↓ Period																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
			Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
			Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Il·lustració 1. Taula periòdica

METALLS	NO METALLS
Punt de fusió elevat	Punt de fusió baix
Condueixen l'electricitat	No condueixen l'electricitat

Condueixen la calor	No condueixen la calor
Lluentor metàl·lica i estructura cristal·lina	Aspecte mat
Opacs	Transparents
Dúctils i mal·leables	Fràgils

Taula 1. Diferències en les propietats dels metalls i no-metalls

2.1.2 Característiques, procés d'obtenció i aplicacions d'alguns metalls pesants

PLOM

CARACTERÍSTIQUES

El plom, de símbol Pb i nombre atòmic 82, és un metall pesant de color gris argentat, molt tou, de densitat elevada, baixa conductivitat elèctrica i tèrmica i mal·leable. És flexible, inelàstic, es fon amb facilitat a 327,4°C i bull a 1725°C. És relativament resistent a la corrosió provocada pels àcids forts, com el sulfúric, el clorhídric o el nítric.

Industrialment, els seus compostos més importants són els òxids de plom i el tetraetil de plom. El plom forma aliatges amb molts metalls i, en general, s'utilitza en aquesta forma en la majoria de les seves aplicacions. Tots els aliatges formats amb estany, coure, arsènic, antimoni, bismut, cadmi i sodi tenen importància industrial.

Els compostos de plom són altament tòxics i han provocat saturnisme a treballadors degut al seu ús inadequat i per una exposició excessiva. En canvi, en l'actualitat existeix un control moderat i el major perill prové de la inhalació de vapor o de pols. En el cas dels compostos organoplúmbics, l'absorció a través de la pell pot arribar a ser significativa.

PROCÉS D'OBTENCIÓ

El plom rares vegades es troba en el seu estat natiu i és relativament escàs (ocupa el lloc 36 en abundància entre els elements de l'escorça terrestre). És normalment localitzat en dipòsits extensos, la qual cosa facilita notablement la seva explotació. La seva mena més important és la Galena (sulfur de plom),

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

altres menys importants són el sulfat anglesita (PbSO_4), el carbonat cerussita (PbCO_3) i el mini (Pb_3O_4). També es pot trobar en diversos minerals d'urani i tori, ja que prové directament de la desintegració radioactiva. L'extracció del plom de la galena es pot dur a terme de varies maneres:

- Per la calcinació de la mena en un forn de retorta fins que part del sulfur de plom es transforma en òxid de plom i sulfat de plom. Després s'elimina l'aire del forn i s'eleva la temperatura, de manera que el sulfur de plom original reacciona amb el sulfat i l'òxid de plom donant com a resultat el plom:



Com que aquesta reacció és incompleta i no tot el PbS ha reaccionat, el producte sobrant reacciona amb els productes de l'anterior equació de la següent manera:



- Un altre dels mètodes, que s'aplica quan el mineral conté molt silici consisteix en fondre la mena en presència de ferro en un alt forn, de manera que el plom queda alliberat:



Però no tot el plom que s'utilitza és de primer ús, una de les fonts més importants d'obtenció d'aquest mineral és a partir dels materials de rebuig industrials, que es recuperen i es fonen.

Un cop obtingut, el refinatge del metall és efectuat mitjançant un procés electrolític.

APLICACIONS

A causa de les seves propietats mecàniques pobres, el plom no té gairebé cap aplicació estructural. Però això no vol dir que no l'industria no en faci un ampli ús. El plom té, avui en dia, moltes aplicacions, des de bateries, fins a barreres acústiques, passant per recobriments de cables... Del plom utilitzat a la indústria, el 40% s'usa en forma metàl·lica, el 25% en aliatges i el 35% restant en compostos químics.

En forma metàl·lica ha estat usat, sobretot, en la fabricació de tubs de conducció de l'aigua; malgrat que es consideri un metall pesant tòxic, causant del saturnisme. Això és degut al fet de què en contacte amb aigües calcàries es cobreix d'una capa de calç que impedeix que l'aigua potable entri en contacte amb el plom. No obstant això, el risc d'intoxicació segueix existint i és per això

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

que actualment només s'utilitza per allò indispensable. Ja no es construeixen tubs de plom per l'aigua potable, cada cop s'utilitza menys com a component de la gasolina (per tal de rebaixar l'índex d'octanatge) i gairebé ja no es fan pigments amb plom. La normativa pel que fa al plom també és molt estricta i en gran part dels països del món el seu ús està molt regulat.

Avui en dia, el plom és emprat principalment en:

- La fabricació d'acumuladors i bateries de plom, degut a les seves propietats electroquímiques.
- Municions; a causa de la seva tenacitat i el seu pes.
- Recobriments per a cables
- Blindatge
- Barreres impermeables i barreres acústiques
- De membrana antiradiació en reactors nuclears i aparells de raigs X, degut a que l'isòtop més corrent del plom absorbeix neutrons i transmuta en un isòtop radioactiu de vida molt llarga, i per tant poc perillós

Aliat amb altres materials el plom també té un gran ús. Mesclat amb l'estany, que li rebaixa notablement el punt de fusió, és emprat com a metall de soldadura, i amb l'antimoni que li ofereix duresa i el fa resistent a la corrosió, s'utilitza en la construcció, en particular en la indústria química. És resistent a l'atac de molts àcids, perquè forma el seu propi revestiment protector d'òxid, per això s'usa molt en la fabricació i maneig de l'àcid sulfúric (cambres de plom, indispensables en el procés de fabricació d'àcid sulfúric, metall d'impremta i en aliatges antifricció).

Els compostos químics del plom es poden dividir en diversos grups, que tenen cada un diferents aplicacions. Els més importants són:

- Compostos inorgànics del plom:

- Òxids:
 - litargiri (monòxid de plom); usat sobretot per tal de millorar les propietats magnètiques dels imants de ceràmica, de ferrita de bari, etc.
 - diòxid de plom; emprat com a oxidant, com a reactiu analític i com a accelerador de polimeritzacions.

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

- mini (tetròxid de plom); emprat en la producció de pintures anticorrosives.
- Sals:
 - sulfur, clorur, iodur i acetat; emprat com a mordent en tinció de cotó, com a impermeabilitzant, en la medicina i com a reactiu analític.
 - cromat, sulfat, carbonat i arseniat; usat com a insecticida.
 - silicat i nitrat de plom; utilitzat en la preparació d'altres sals, com a mordent, en la preparació d'explosius i com a pigment.
- Compostos orgànics:
 - Sals del plom; s'usen com a lubricants i com a assecants per pintures i vernissos. En serien un exemple l'oleat, lactat, naftenat, aftalat i estearat.
 - Compostos alquilats de plom; usats en gran part com a antidetonants per a gasolines. En serien un exemple el plom tetrametil i el tetraetilplom.

Avui dia, pel seu caràcter verinós i contaminant està sent substituït com a additiu per a la gasolina i com a pigment per a tintes i pintures.

COURE

CARACTERÍSTIQUES

El coure (del llatí *cuprum*), de símbol Cu, és un element químic de nombre atòmic 29, i és un dels metalls més importants i el tercer més utilitzat al món, per darrere de l'acer i l'alumini. Es tracta d'un metall de transició de coloració rogenca i brillantor metàl·lica que, juntament amb la plata i l'or, forma part de l'anomenat grup 11 de la taula periòdica, caracteritzat perquè són els millors conductors elèctrics i tèrmics. Gràcies a la seva alta conductivitat elèctrica, ductilitat i mal·leabilitat, s'ha convertit en el material més utilitzat per a fabricar cables elèctrics i altres components elèctrics i electrònics.

El coure forma part d'una quantitat molt elevada d'aliatges que generalment presenten millors propietats mecàniques, tot i que tenen una conductivitat elèctrica menor. El coure i els seus aliatges eren emprats per fer objectes tan diversos com monedes, campanes i canons. A partir del segle XIX, quan es va inventar el generador elèctric, el coure es va convertir de nou en un metall

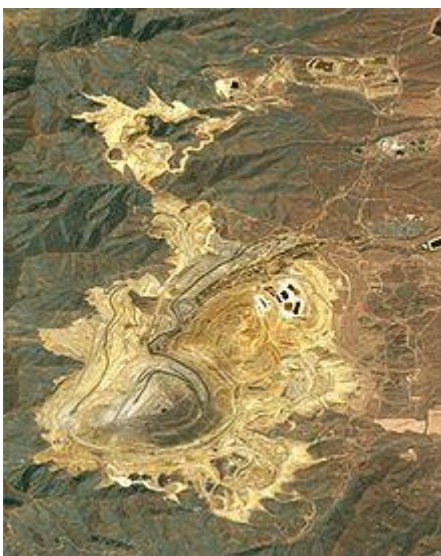
estratègic, essent la matèria primera principal de cables i instal·lacions elèctriques. D'altra banda, el coure és un metall durador perquè es pot reciclar un nombre gairebé il·limitat de vegades sense que perdi les seves propietats mecàniques.

En la majoria dels seus compostos presenta estats d'oxidació baixos; el més comú és el +2, encara que també n'hi ha alguns amb estat d'oxidació +1.

El coure té un important paper biològic en el procés de fotosíntesi de les plantes, encara que no forma part de la composició de la clorofil·la. El coure contribueix a la formació de glòbuls vermells i al manteniment dels vasos sanguinis, nervis, sistema immunològic i ossos i per tant és un oligoelement essencial per a la vida humana.

PROCÉS D'OBTENCIÓ

Es tracta d'un dels metalls més antics emprats per l'ésser humà al llarg de la història. En la natura, El coure natiu sol acompanyar als seus minerals en bosses que afloren a la superfície i que s'exploten en mines a cel obert. Generalment a la capa superior es troben els minerals oxidats (cuprita) en petites quantitats, per sota del nivell freàtic es troben les pirites (sulfurs), calcosina (S_2Cu) i covel·lina (SCu) i finalment es troba la calcopirita (S_2FeCu), l'explotació de la qual és més rendible que les anteriors. Acompanyant a aquests minerals es troben altres com la bornita (Cu_5FeS_4), els coures grisos i els carbonats azurita, malaquita i auricalcita que solen formar masses importants en les mines de coure per ser la forma en què usualment s'alteren els sulfurs. De vegades, el coure també es pot trobar en estat gairebé pur en forma de coure natiu.



Il·lustració 2. Mina de coure a cel obert (Bingham, Utah)

El coure és un dels metalls menys abundants a l'escorça terrestre donada la pobresa dels minerals en coure, però quan aquest és descobert resulta de fàcil obtenció. S'utilitzen dues tècniques d'obtenció de coure: la via humida i la via seca.

La via humida s'empra quan el contingut en coure es baix. Consisteix a dissoldre el material amb àcid sulfúric i recuperar després el coure mitjançant l'electròlisi.

La tècnica més habitual d'obtenció de coure brut és l'anomenada via seca, encara que tan sols es pot emprar si la riquesa del mineral supera el 10%. Consisteix en triturar el mineral i separar el coure de la resta de metalls. Llavors aquest se sotmet a un procés de torrada, calcinació i reducció.

Els tipus de coure usualment obtinguts són els següents:

- Coure tenaç: amb contingut d'oxigen controlat i que es destina a aplicacions elèctriques ja que és coure d'alta conductivitat.
- Coure desoxidat: normalment no són d'alta conductivitat i s'empren en aplicacions on aquest no és tant important, com la caldereria.
- Coure exempt d'oxigen: és el de major qualitat, el més car i el menys utilitzat. És d'alta conductivitat.

APLICACIONS

La seva elevada conductivitat elèctrica i la seva ductilitat el fan especialment indicat per a la fabricació de cables elèctrics i bobinatges. Altres usos són:

- Tubs de condensadors i llanterneria
- Electroimants
- Motors elèctrics
- Interruptors, tubs de buit, magnetró de forns i microones
- Ús del coure en circuits integrats en substitució de l'alumini, de menor conductivitat
- Encunyació de moneda (aliat amb níquel), escultura, construcció de campanes i altres usos ornamentals en aliatges amb zinc (llautó), estany (bronzes) i plata per joieria.
- Lents de cristall de coure emprades en radiologia per a la detecció de tumors

Tanmateix, el coure és poc resistent als agents atmosfèrics. A la intempèrie, es recobreix d'una capa adherent i impermeable de carbonat, de color verdós

anomenada verdet, que el protegeix de l'oxidació posterior. Quan s'empraven cassoles de coure per a la cocció d'aliments, eren relativament freqüents les intoxicacions. El motiu és que, si els aliments es deixaven refredar en la mateixa cassola, l'acció dels àcids presents en el menjar oxidaven les parets dels recipients de coure, formant òxids que contaminaven els aliments.

NÍQUEL

CARACTERÍSTIQUES

El níquel és un element químic de nombre atòmic 28 i símbol Ni, situat en el grup 10 de la taula periòdica dels elements.

És un metall de transició de color blanc platejat, conductor de l'electricitat i de la calor, i és dúctil i mal-leable pel que es pot laminar, polir i forjar fàcilment, i presenta cert ferromagnetisme

És molt resistent a la corrosió, tant dels agents atmosfèrics com dels àcids i les substàncies alcalines i se sol utilitzar com a recobriments, per mitjà de l'electrodeposició. El coure i algun dels seus aliatges, s'utilitzen per a manejar el fluor i alguns fluorurs pel fet que reacciona amb dificultat amb aquests productes.

El seu estat d'oxidació més normal és +2. Pot presentar-ne altres, s'han observat estats d'oxidació 0, +1 i +3 en complexos, però són molt poc característics.

PROCÉS D'OBTENCIÓ

El níquel és un element bastant abundant, constitueix prop del 0,008% de l'escorça terrestre i el 0,01% de les roques ígnies. En alguns meteorits hi ha quantitats apreciables de níquel, i es pensa que existeixen grans quantitats d'aquest metall al nucli terrestre.

Dos minerals importants són els sulfats de ferro i níquel, pentlandita i pirrotita. El mineral garnierita $(Ni, Mg)SiO_3 \cdot nH_2O$ també és important en el comerç. El níquel es presenta en petites quantitats en plantes i animals. També està present en baixes concentracions a l'aigua del mar, el petroli i en la major part del carbó.

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

Per a obtenir níquel primer es tritura i es mol el mineral i així se separen. Després es torra la mescla i posteriorment es redueix amb carboni. Finalment s'afina.

Les mines de Nova Caledònia (Austràlia) i Canadà produeixen avui en dia el 70% del níquel consumit. Altres productors són Cuba, Puerto Rico, Rússia i Xina.

APLICACIONS

Te una gran resistència a la corrosió i per això és més freqüent trobar-lo formant aliatges amb el coure, el ferro, el crom, el tungstè i el manganès, als quals confereix un caràcter inoxidable.

Aproximadament el 65% del níquel consumit s'empra en la fabricació d'acer inoxidable austenític i un altre 12% en superaliatges de níquel. El restant 23% es reparteix entre altres aliatges, bateries recarregables, catàlisi, encunyació de moneda, recobriments metàl·lics i fosa:

- AlNiCo, aliatge per a imants.
- El mu-metall s'utilitza per a apantallar camps magnètics per la seva elevada permeabilitat magnètica.
- Els aliatges níquel-coure (monel) són molt resistents a la corrosió, i s'utilitzen en motors marins i en la indústria química.
- L'aliatge níquel-titani (nitinol-55) presenta el fenomen de memòria de forma i s'usa en robòtica, també hi ha aliatges que presenten superplasticitat.
- Cresols de laboratoris químics.
- Catàlisi de la hidrogenació de olis vegetals.

ZINC

CARACTERÍSTIQUES

El zinc, també conegut com a zenc quan es presenta en làmines, és un element químic metàl·lic amb el símbol Zn i el nombre atòmic 30. És un metall de transició de la primera fila, al grup 12 de la taula periòdica. És un metall diamagnètic llustrós de color blanc blavós, tot i que la majoria de tipus comercials del metall tenen un acabat mat. És una mica menys dens que el ferro i té una estructura cristal·lina hexagonal. El zinc és químicament similar al magnesi, el seu ió té una mida similar i el seu únic estat d'oxidació comú és +2. El zinc és el 24è element més abundant de l'escorça terrestre i té cinc isòtops estables.

És un metall dur i fràgil a la majoria de temperatures però esdevé mal-leable entre 100 i 150 °C. Per sobre de 210 °C, el metall torna a esdevenir fràgil i pot ser polvoritzat per impacte. El zinc és un conductor elèctric mitjanament bo. Per ser un metall, els punts de fusió (420 °C) i d'ebullició (900 °C) del zinc són relativament baixos. El seu punt de fusió és el més baix de tots els metalls de transició tret del mercuri i el cadmi.

És un mineral essencial d'excepcional importància biològica i per la salut pública. La deficiència de zinc afecta uns 2.000 milions de persones als països en desenvolupament, i està associada amb moltes malalties.

PROCÉS D'OBTENCIÓ

Les menes més riques contenen prop d'un 10% de ferro i entre el 40 i 50% de zinc. Els minerals dels quals s'extreu zinc són l'esfalerita i la blenda (sulfurs), l'smithsonita (carbonat), l'hemimorfita (silicat), la franklinita (òxid), la wurtzita (sulfur) i la hidrozinca (carbonat). Amb excepció de la wurtzita, tots aquests altres minerals es van formar com a resultat de l'acció de processos d'erosió sobre els sulfurs de zinc primordials.

La producció del zinc comença amb l'extracció del mineral que pot realitzar-se tant a cel obert com en jaciments subterranis. Els minerals extrets es trituren amb posterioritat i se sotmeten a un procés de flotació per a obtenir el concentrat.

També està associada en l'anomenada via seca. Se sotmet a una fase de torrada, després es redueix l'òxid en un forn de retorta i el metall obtingut es pot afinar posteriorment.

La via humida consisteix a tractar el mineral triturat amb una solució d'àcid sulfúric.

APLICACIONS

La principal aplicació del zinc, prop del 50% del consum anual, és el galvanitzat de l'acer per a protegir-lo de la corrosió, protecció efectiva inclús quan es clavilla el recobriment ja que el zinc actua com a ànode de sacrifici. S'utilitzen habitualment una sèrie de compostos de zinc, com ara el clorur de zinc (en desodorants) i el metilzinc o el dietilzinc al laboratori orgànic.

Altres usos inclouen:

- Bateria de Zn-AgO utilitzades en la indústria aeroespacial per a míssils i càpsules espacials, degut al seu òptim rendiment per unitat de pes i bateries zinc-aire per a ordinadors portàtils.

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

- Peces de fosa injectada en la indústria d'automoció.
- Metal·lúrgia de metalls preciosos i eliminació de la plata del plom.
- En síntesi orgànica, una de les principals aplicacions del zinc és la creació d'enllaços C-C mitjançant la formació de compostos organometàl·lics d'aquest metall

Per mitjà de la galvanització electrolítica s'aconsegueix recobrir les peces amb una prima capa de zinc.

La galvanització en calent consisteix a submergir les peces que es desitja en un bany de zinc fos durant un curt període de temps.

2.2. CONTAMINACIÓ DELS SÒLS PER METALLS PESANTS

L'interès inicial de que els sòls continguessin metalls pesants va ser degut al paper que aquests tenien com a micronutrients per a les plantes. Tots els sòls contenen metalls pesants però aquests es presenten en concentracions molt baixes i no superen els nivells en que es consideren contaminants. El problema bé quan afegim adobs i fertilitzants per augmentar aquesta concentració o diverses fonts naturals o antropogèniques contribueixen a augmentar-ne els nivells. Llavors la perillositat dels metalls pesants és més gran, ja que no són químicament ni biològicament degradables i qualsevol planta se'n pot veure afectada. A més a més, la seva concentració en els éssers vius augmenta a mesura que pugem a la piràmide tròfica, de manera que si els metalls pesants recorren la cadena alimentària cada cop va augmentant la perillositat de patir intoxicació.

2.2.1. Fonts de contaminació

NATURALS

Abans que el medi ambient fos contaminat per les activitats humanes, el contingut metàl·lic dels sòls era el resultat del desgast geològic en la seva pràctica totalitat. A part del desgast geològic, les altres fonts naturals dels metalls en els sòls són d'origen atmosfèric. Aquestes inclouen activitats volcàniques, combustió de turba i incendis forestals.

ANTROPOGÈNIQUES

Les activitats humanes han exercit un efecte considerable en la concentració de metalls en els sòls.

Principals fonts de contaminació:

Productes químics agrícoles

- Els pesticides poden ser una font important de metalls en els sòls. En un principi la base química d'alguns dels pesticides utilitzats en la producció de fruites, eren arsenats de plom i sulfats de coure. Això va produir una

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

contaminació considerable amb arsènic, plom i coure a alguns dels sòls agrícoles.

- Molts dels fungicides nous contenen metil mercuri i diversos quelats de manganès, zinc, coure i mercuri.
- L'ús de fertilitzants també ha donat lloc a la contaminació dels sòls agrícoles.

Activitats de mineria i fosa

Les activitats de mineria i fosa són una de les principals fonts de contaminació per metalls en els sòls i ecosistemes terrestres.

- La pols originada en les activitats de mineria, per exemple, en la trituració dels minerals, pot ser dipositada en sòls a més de 50 Km de distància.
- La fosa de minerals pot produir una deposició atmosfèrica de metalls en sòls localitzats fins a centenars de kilòmetres.

Generació d'electricitat i altres activitats industrials

- L'ús de combustibles fòssils per la generació d'electricitat també pot produir la deposició de metalls en els sòls.

- La combustió de carbó és una de les principals fonts d'aquesta deposició, incloent-hi el mercuri.

- Les centrals tèrmiques de combustió de petroli poden ser fonts de contaminació per plom, níquel i vanadi en els sòls.

- La fabricació d'automòbils pot ser font de contaminació per metalls pesants. Els automòbils han sigut la font més important d'emissió atmosfèrica de plom degut a l'ús de gasolina d'aquest metall.

- Els additius per pintures són contaminants ja que contenen pigments de diòxid de titani (TiO_2), silicat de zinc (ZnSiO_3), fosfat de zinc [$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$], òxid d'antimoni (Sb_2O_3) i metalls pesants com són el zinc, coure, crom, alumini i plom entre d'altres. Els additius de les gasolines també contenen metalls pesants. El més abundant és el pom.

- Les fàbriques de bateries, poden emetre quantitats considerables de plom en els sòls pròxims.

- Els metalls associats amb àrees altament industrialitzades, inclouen arsènic, cadmi, cobalt, crom, ferro, níquel, plom, zinc i mercuri i gran part és expulsada per les xemeneies de les fàbriques.

Residus urbans

Els residus municipals, incloent el paper, vidre, alumini, plàstic i metalls, estan augmentant a un ritme molt elevat i això contribueix a l'augment de contaminants i, en particular, de metalls pesants.

- Deposició de residus urbans.
- Gasos contaminants urbans
- Ús de municions militars

2.2.2. Sòls sensibles

La fitotoxicitat per metalls tòxics es manifesta particularment en sòls àcids. S'anomenen així perquè el seu pH es inferior a 7. En aquests tipus de sòls apareixen de forma escassa els nutrients següents: P, Ca, Mg, Mo i B. Pel contrari, abunden el Fe, Mn, Al i el Zn, i inclús poden produir toxicitat per excés. Solen ser sòls superposats a roques granítiques o sòls arenosos molt erosionats. El grau de sensibilitat pot variar molt àmpliament de unes zones a unes altres depenent, principalment, de l'espessor, de la capa de humus, de la consistència del substrat i del tipus de roques i sòl. Per esbrinar quins sòls són sensibles a aquesta toxicitat, cal analitzar els factors que poden influir en la resposta del sòl als agents contaminants, com són: la vulnerabilitat, el poder d'amortització, la biodisponibilitat, la mobilitat, la persistència i la carrega crítica.

- **Vulnerabilitat.** Representa el grau de sensibilitat del sòl enfront a l'agressió dels agents contaminants. Aquest concepte està relacionat amb la capacitat d'amortització. A major capacitat d'amortització, menor vulnerabilitat. El grau de vulnerabilitat de un sòl enfront a la contaminació depèn de la intensitat d'afectació, del temps que ha de transcórrer perquè els efectes indesitjables es manifestin en les propietats físiques y químiques de un sòl y de la velocitat amb que es produeixen els canvis seqüencials en les propietats dels sòls en resposta a l'impacte dels contaminants. En moltes ocasions, resulta difícil obtenir els graus de sensibilitat dels sòls enfront a un determinat tipus d'impacte degut a la forta heterogeneïtat dels sòls.
- **Poder d'amortització.** El conjunt de les propietats físiques, químiques i biològiques del sòl el fan un sistema clau, especialment important en els cicles biogeoquímics superficials, en els quals actua com un reactor complex, capaç de realitzar funcions de filtració, descomposició, neutralització, inactivació, emmagatzematge, etc. Per tot això el sòl actua com a barrera protectora d'altres mitjans més sensibles, com els hidrològics i els biològics. La majoria dels sòls presenten una elevada capacitat de depuració. Aquesta capacitat de depuració té un límit diferent per a cada situació i per a cada sòl. Quan s'arriba aquest límit el sòl deixa de ser eficaç i fins i tot pot

funcionar com una "font" de substàncies perilloses per als organismes que hi viuen o d'altres mitjans relacionats. Un sòl contaminat és aquell que ha superat la seva capacitat d'amortització per a una o diverses substàncies, i com a conseqüència, passa d'actuar com un sistema protector a ser causa de problemes per l'aigua, l'atmosfera, i els organismes. Al mateix temps es modifiquen els equilibris biogeoquímics i apareixen quantitats anòmales de determinats components que originen modificacions importants en les propietats físiques, químiques i biològiques del sòl.

- **Biodisponibilitat.** S'entén l'assimilació del contaminant pels organismes, i en conseqüència la possibilitat de causar algun efecte, negatiu o positiu.
- **Mobilitat.** Regularà la distribució del contaminant i per tant el seu possible transport a altres sistemes.
- **Persistència.** Regularà el període d'activitat de la substància i per tant és una altra mesura de la seva perillositat.
- **Càrrega crítica.** Representa la quantitat màxima d'un determinat component que pot ser aportat a un sòl sense que es produeixin efectes nocius.

2.2.3. Procés de gestió de sòls contaminats a Catalunya

Quan se sospita una contaminació del sòl, és necessari determinar fins a quin punt aquest es pot convertir en un agent contaminant per a altres organismes. Per això, és necessari portar a terme un procés de gestió per conèixer amb precisió l'abast i la gravetat de la contaminació. Així doncs, cal iniciar un seguit d'actuacions d'investigació que permetin caracteritzar i determinar aquesta contaminació i definir l'abast i les tasques de recuperació necessàries.

Aquest procés parteix d'una fase inicial on es disposa de poca informació i va augmentant al llarg de les fases del procés fins a aconseguir major coneixement de la problemàtica de la contaminació. Cada fase ve associada a un tipus d'estudi determinat on s'avalua la informació obtinguda i es decideix si cal passar a les següents fases del procés. Aquest procés de gestió està emmarcat en quatre etapes(podeu trobar els esquemes als annexos indicats):

1. Fase de reconeixement preliminar ([annex A](#))
2. Fase d'avaluació preliminar ([annex B](#))

3. Fase d'avaluació detallada (annex C)

4. Fase de recuperació (annex D)

1. FASE DE RECONeixEMENT PRELIMINAR

La primera fase del procés consisteix en la recopilació de la informació que permeti valorar la possibilitat que s'hagin produït o es produeixin contaminacions significatives en el sòl sobre el qual s'ha desenvolupat una activitat.

En aquesta fase s'identifiquen dos orígens d'emplaçaments diferents:

- Aquells emplaçaments en què es desenvolupa o s'ha desenvolupat una activitat potencialment contaminant del sòl (APC).
- Aquells altres emplaçaments relacionats amb denúncies d'abocaments incontrolats, accidents on es vegin involucrades substàncies perilloses, canvis d'ús del sòl, etc.

La informació associada a aquesta fase difereix depenent de l'origen de l'emplaçament descrit:

- En el cas de les APC, la documentació correspon a l'informe preliminar de situació (IPS).
- Per a la resta d'emplaçaments, la documentació correspon a la informació explicativa dels fets ocorreguts, que permeti avaluar la sospita de l'existència d'indicis de contaminació.

La documentació presentada en aquesta fase i l'avaluació del contingut informatiu per part de l'Administració ha de permetre determinar si hi ha indicis de contaminació del sòl o de les aigües. Si efectivament hi ha indicis de contaminació, s'haurà d'ampliar la informació disponible i, per tant, desenvolupar la fase d'avaluació preliminar.

2. FASE D'AVAlUACió PRELIMINAR

Aquesta fase correspon a la realització de l'informe d'avaluació preliminar. S'ha de disposar d'una primera aproximació real a la magnitud de la problemàtica, definir l'objecte de protecció, els usos del sòl, els organismes que es poden veure afectats, els contaminants implicats i definir si calen actuacions d'emergència.

Aquesta fase comporta la realització de mostreig de sòls, sediments, residus i/o aigües. Els resultats s'hauran d'avaluar i interpretar atenent l'objecte de protecció i l'ús del sòl o els organismes que cal protegir.

En aquesta fase, els resultats analítics de les mostres de sòls han de permetre la comparació directa d'aquests amb els nivells genèrics de referència (NGR) que podeu trobar a [l'annex E](#).

En aquesta fase també caldrà determinar, en cas que l'objecte de protecció sigui la salut humana, si la concentració en TPH (hidrocarburs totals del petroli) supera els 50 mg/kg i en cas que l'objecte de protecció sigui l'ecosistema, si existeix toxicitat d'acord amb els bioassaigs.

Els resultats d'aquesta comparació ens poden portar a:

- Si no se superen els NGR esmentats, el sòl estudiat no presenta cap alteració de la seva qualitat química que indiqui la necessitat de portar a terme noves fases d'investigació, per tant, estariem davant d'un sòl no contaminat.

Si aquest fet depèn de l'ús del sòl, caldrà establir mesures de control en cas de canvi d'ús.

- Si se superen els NGR esmentats, el sòl estudiat presenta alteració de la seva qualitat química i, per tant, caldrà dur a terme una nova fase d'estudi, la fase d'avaluació detallada.

3. FASE D'AVALUACIÓ DETALLADA

La fase d'avaluació detallada consisteix en la realització de l' informe d'avaluació detallada que ha de permetre caracteritzar amb precisió el/els focus de contaminació, delimitar l'abast de la contaminació, determinar si el risc és acceptable o inacceptable i, en aquest segons cas, obtenir la informació suficient per passar a la següent fase d'estudi. En aquesta fase el resultat de l'anàlisi de risc determinarà si:

- El risc és acceptable i llavors el sòl és considerat com a no contaminat.

Si aquest fet depèn de l'ús del sòl, caldrà establir les mesures de control en cas de canvi d'ús.

- El risc és inacceptable i, per tant, el sòl és considerat com a contaminat.

4. FASE DE RECUPERACIÓ

La consideració d'un sòl com a contaminat comporta l'obligació de desenvolupar les actuacions de recuperació ambiental de l'emplaçament. La fase de recuperació d'un emplaçament comprèn bàsicament tres etapes:

- La redacció d'un projecte de recuperació, a partir d'una anàlisi de les alternatives de recuperació segons criteris tècnics, econòmics i mediambientals.
- L'execució d'aquest un cop aprovat el projecte. Comporta la necessitat de realitzar un seguiment i control de l'evolució del medi i, en determinats casos, la realització d'una anàlisi de risc residual.
- La comprovació final de l'efectivitat de les actuacions dutes a terme mitjançant, si escau, la realització d'un monitoratge a mitjà o llarg termini. En cas que els resultats no s'ajustin als valors establerts caldria implementar propostes addicionals.

Vegeu l'annex F que conté el mapa de sòls contaminats a Catalunya pels metalls que són objecte del nostre estudi Cu, Pb i Ni i Zn. En els mapes es poden distingir tres orígens de contaminació: natural, urbà o industrial.

2.2.4. Recuperació dels sòls contaminats

Actualment existeix una gran varietat de mètodes per tractar sòls contaminats. La fito-remediació és una de les tècniques més eficaces utilitzades fins ara per recuperar sòls contaminats per metalls pesants però existeixen altres tècniques que seguidament esmentem.

FITO-REMEIACIÓ

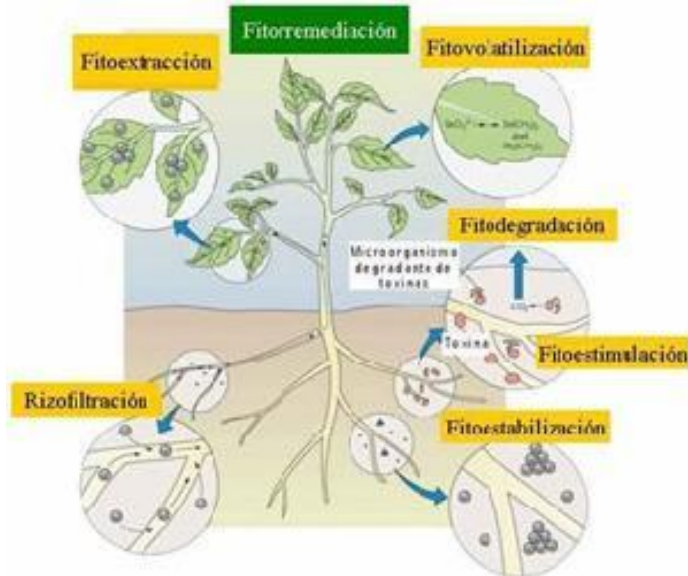
Una de les solucions alternatives que es plantegen per a la neteja de sòls contaminats per metalls pesants és la fito-remediació, l'ús de plantes que absorbeixin i acumulin aquests contaminants.

Les plantes toleren els metalls pesants de forma natural fins un cert límit. El que es va plantejar però, va ser augmentar el nivell de tolerància de forma que les plantes fossin més resistent a certs metalls. Van descobrir que la biosíntesi de cisteïna, un aminoàcid implicat en el metabolisme de les plantes, està regulada per metalls pesants. Quan la planta absorbeix metalls pesants, aquests desencadenen la biosíntesi de cisteïna, que al seu torn genera la producció de fitoquelatines, les quals s'uneixen els metalls pesants i els desintoxiquen.

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

A partir d'aquesta correlació directa, els investigadors han modificat plantes d'arabidopsis per a que sintetitzin major quantitat de cisteïna mitjançant la sobreexpressió d'un dels gens implicats en el procés, el que augmentaria la seva capacitat per desintoxicar més quantitat de metalls pesants. El resultat són plantes transgèniques que toleren, alhora, cadmi, arsènic i mercuri.

A la vista de les diferents aplicacions que pot dur a terme la fito-remediació aquesta es pot dividir en les següents àrees:



Il·lustració 3. Tipus de fito-remediació, els quals s'indica la part de la planta on té lloc.

- **Fito-extracció:** utilitza la biomassa vegetal-extractiva per recuperar sòls contaminats per metalls pesants i alguns compostos radioactius.
- **Rizo-filtració:** utilització de les arrels de les plantes per extreure els diferents metalls tòxics o olis que es puguin trobar en aigües contaminades ja siguin superficials o profundes. S'ha vist que aquesta tècnica pot ser millorada inserint microorganismes simbiòtics específics en la rizosfera de la planta.
- **Fito-estabilizació:** les plantes s'utilitzen per eliminar la biodisponibilitat dels metalls tòxics del sòl perquè així no puguin ser utilitzats per un altre tipus de plantes a les quals pot resultar perjudicials.
- **Fito-degradació:** les plantes i microorganismes associats es poden utilitzar per degradar els agents contaminants del sòl.
- **Fito-volatilizació:** els agents contaminants absorbits per les plantes són convertits en les seves fases volàtils (gasos) i alliberats a l'atmosfera pels estomes.

- **Fito-estimulació:** les arrels de les plantes són capaces d'estimular microorganismes els quals degradaran els agents contaminants de la rizosfera.

De les diferents branques de les quals s'ocupa la fito-remediació, la fito-extracció i la rizo-filtració són les més importants ja que s'ocupen de la descontaminació de sòls que posseeixen metalls pesants.

Aquesta tècnica aporta nombrosos beneficis però també s'han de tenir en compte els inconvenients.

Avantatges

És una tecnologia d'aplicació "in situ" és a dir en el mateix lloc on s'ha produït la contaminació, que inclou un baix cost, menor pertorbació en el lloc contaminat i emissió aèria mínima.

Amb aquest sistema es fa servir l'energia solar disponible i els processos biològics, químics i físics de la planta com és la filtració, descomposició, neutralització, inactivació i emmagatzematge per aconseguir la recuperació del lloc afectat pels agents contaminants.

El seu impacte en relació amb les persones i animals de l'àrea implicada en el procés de descontaminació és molt més acceptada que els mètodes clàssics perquè se la considera una tecnologia potencialment estètica i elegant ja que el seu impacte visual i acústic és menor o nul.

Aquesta tècnica s'utilitza per descontaminar llocs afectats per diferents elements com són metalls pesants i materials orgànics o radioactius gràcies a la gran varietat d'espècies i àrees en què pot actuar la fito-remediació. Es pot considerar la fito-remediació com una solució permanent per a la descontaminació d'un determinat lloc a causa del seu desenvolupament de la seva acció al llarg del termini.

Un altre avantatge que s'ha de tenir en compte respecte al seu ús és que pot emprar conjuntament amb altres mètodes de descontaminació clàssics.

Inconvenients

La fito-remediació té limitada la profunditat d'extracció a causa de la limitada extensió de terreny a la que arriben a les arrels de les plantes utilitzades, ja que només es descontaminen aquells llocs on arriben les arrels d'aquestes.

El procés d'absorció de metalls pesants és bastant lent, per la qual cosa no seria útil per a una recuperació ràpida del problema.

La planta es pot saturar dels metalls que aquesta absorbeixi per tant s'hauran d'anar renovant perquè aquestes no es saturin i pugui donar-se lloc la descontaminació del sòl.

Un punt important que s'ha de tenir en compte és que fer amb les plantes un cop han acumulat el metall pesant, ja que aquests metalls poden recórrer la

xarxa tròfica i ser molt perjudicials per a qualsevol organisme viu, per tant, s'haurien de realitzar mètodes de control per evitar aquest perill.

Els sòls contaminats contenen més d'un metall pesant i normalment una planta és prepara per combatre'n un de sol, per tant, serien necessàries moltes espècies de plantes per descontaminar el terreny.

INFILTRACIÓ REDUCTORA

Una altra tècnica actual utilitzada per la recuperació de sòls contaminats és la anomenada infiltració reductora.

Aquest mètode consisteix en la injecció en el terreny, d'un fang format per partícules de Fe amb valència zero (100% ferro d'alta puresa) les quals són entre 10 i 1000 vegades més petites a la majoria de bacteris presents a terra, i que presenten una alta reactivitat química.

Aquest fang es dispersarà per difusió generant dos tipus d'accions:

- En primer lloc es generarà un procés físic on es produirà l'adsorció dels contaminants sobre la superfície de les partícules de ferro. Cal tenir en compte que la reduïda mida d'aquestes partícules genera una gran superfície reactiva.
- En segon lloc, i a causa de la puresa de les partícules de ferro i la seva alta reactivitat, es produiran reaccions oxidació-reducció en què part dels components de les molècules orgàniques dels contaminants, passen a formar part dels òxids de ferro, descomponent-se en compostos del carboni més simples i molt menys tòxics.

El seu poder de neteja resideix en el simple fet que el ferro s'oxida. El ferro en oxidació reduirà tals metalls convertint-los en una forma insoluble que tendeix a quedar tancada a terra, en comptes d'estendre's a través de la cadena alimentària.

Avantatges

- Alta efectivitat. Els assaigs de laboratori han observat disminucions de fins al 99% en determinats contaminants.
- Curt període de descontaminació, entre 6-8 setmanes.
- Alt espectre d'aplicació (incloent organoclorats, metalls pesants, amines, sulfurs, fenols, tiosulfats, hidroquinona, formaldehid, cloroform, biocides, antisèptics).
- El procés no es veu afectat per les condicions de temperatura, pH o per la concentració de nutrients o matèria orgànica.

- Baix cost.

OXIDACIÓ QUÍMICA IN SITU. REACCIÓ FENTON

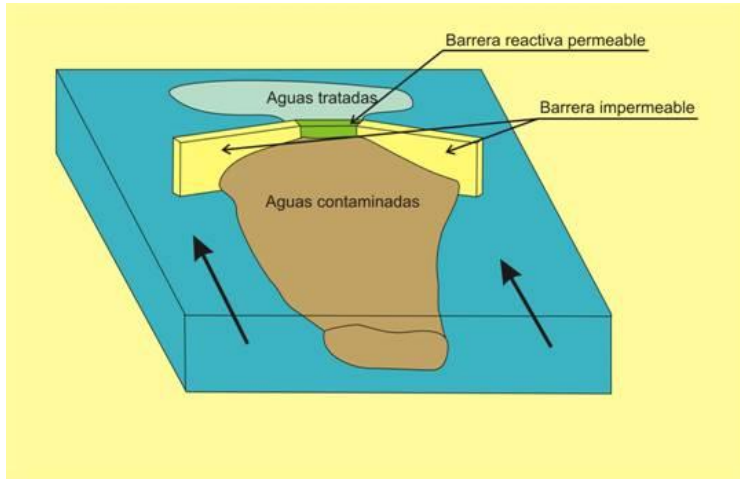
Aquesta tècnica utilitza el mateix mètode que la infiltració reductora. La utilització d'aquest fang format per partícules de Fe amb valència zero, dona lloc a l'oxidació química que emprava compostos oxidants per destruir la contaminació en els sòls i aigües subterrànies, transformant les substàncies nocives en aigua i diòxid de carboni. La reacció es produeix en catalitzar el peròxid d'hidrogen amb ferro, donant com a resultat la generació de radicals altament reactius d'hidroxil (OH). L'oxidació química és capaç de destruir molts tipus de substàncies químiques, com ara combustibles, dissolvents i plaguicides.

Avantatges

- El reactiu utilitzat (H_2O_2) és econòmic, fàcilment disponible, i els productes de descomposició són Oxigen i Aigua.
- La química del procés (reactiu de Fenton) es coneix des de fa 50 anys i la seva aplicació a una varietat àmplia de contaminants està ben documentada.
- El procés s'aplica i es controla fàcilment.
- El procés és ràpid, des d'algunes hores a algunes setmanes.
- No produeix residus.

BARRERES REACTIVES

Aquesta tècnica està destinada a la descontaminació d'aigües subterrànies. El sistema de barrera permeable, consisteix en col·locar al llarg del terreny contaminat una zona de material radioactiu. També es pot compondre d'una paret de gran longitud, que pot ser recta o obliqua, com si es tractes d'un embut. Aquest material radioactiu es col·loca al centre de la paret i és aquí on conflueix el flux contaminant. La funció de la paret és recollir tot el contaminant i concentrar-lo a l'embut de manera que el contaminant que es troba en aigües subterrànies entra en contacte amb el medi reactiu i aquest degrada el contaminant a compostos no tòxics.



Il·lustració 4. Representació esquemàtica d'una barrera reactiva

Com a reactius es poden utilitzar una àmplia varietat de materials com metalls elementals, matèria orgànica, zeolites o compostos carbonatats. La barreja dels mateixos és útil per destruir ràpidament, tant compostos orgànics halogenats volàtils (VOC) com metalls pesants que es trobin en aigües subterrànies.

Avantatges

- Mecànicament simple.
- Econòmic.
- Tractament a llarg termini.
- Destruïx els contaminants.
- Productes finals no tòxics.
- No es requereix consum d'energia.
- No existeixen costos de bombeig.
- No es requereixen estructures addicionals a la superfície.
- Costos mínims d'operació i manteniment.
- Es pot combinar amb altres tecnologies emergents.

Aquestes tres últimes tècniques tenen com a principal inconvenient un gran impacte paisatgístic ja que suposen una esterilització del sòl, eliminant la vegetació.

2.2.5. Exemples de sòls contaminats

A CATALUNYA

Catalunya posseeix el major pol industrial de l'Estat, situat a Tarragona. Aquí es concentra la majoria de la indústria química.

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

Part dels residus generats per aquestes empreses són abocats al mar mitjançant canonades submarines (emissaris) que permeten fer desaparèixer els contaminants tòxics amb escàs control.

Als voltants de Barcelona existeixen també importants centres productius del sector químic (Martorell, Manresa ...) i de la metal·lúrgia (Castellbisbal).

A Tarragona s'ha produït un dels casos de contaminació industrial més greus d'Espanya, causats per Ercros a Flix. L'extracció de les 700.000 tones de residus tòxics i perillosos abocats a l'Ebre es pagaran amb fons públics (200 milions d'euros). Estudis científics, han evidenciat a la zona l'alta taxa de malalties relacionades amb l'exposició de diversos contaminants procedents d'Ercros. A Flix hi ha una major taxa de naixements prematurs i un índex elevat de desenvolupament infantil deficient.

El sector de la incineració està molt implantat a la comunitat. Catalunya compta amb el major nombre d'incineradores (cinc) que cremen residus sòlids urbans i amb l'única planta d'Espanya que crema residus tòxics i perillosos, a Constantí. Igualment, en almenys dues cimenteres, s'incineren residus. Totes aquestes pràctiques generen una contaminació atmosfèrica important amb l'emissió de dioxines i furans (substàncies persistents) a la qual s'afegeix l'important problema de les cendres i escòries que es produeixen en les incineradores. Cal recordar que no hi ha nivells segurs d'emissió per a aquestes substàncies persistents (triguen anys o dècades a degradar) i són bioacumulables (s'acumulen en tots els organismes de la cadena alimentària, augmentant la seva concentració en les últimes baules).

Catalunya compta amb dues importants refineries a Tarragona i té les úniques tres plataformes d'extracció de cru del país, davant del Delta de l'Ebre.

La taxa de mortalitat per càncer d'encèfal i mieloma són superiors a la mitjana nacional, segons diversos atles epidemiològics, el que posa en evidència com les zones industrials disparen els tumors.

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes



Il·lustració 5. Zones industrials a Catalunya

1. Pol Químic de Tarragona
2. Solvay (Martorell, Barcelona)
3. Grup Aragoneses-Aiscondel S.A. (Vila-Seca, Tarragona)
4. Ercros (Flix, Tarragona)
5. Aragoneses (Vila-Seca, Tarragona)
6. Refineria Repsol (Tarragona)
7. Refineria ASES (Tarragona)
8. Plataforma extracció petroli Casablanca (Tarragona)
9. Plataforma extracció petroli Seitó (Tarragona)
10. Plataforma extracció petroli Turbot (Tarragona)
11. Incineradora de Girona (Girona)
13. Incineradora de Sant Adrià del Besòs (Barcelona)
14. Incineradora de Mataró (Barcelona)
15. Incineradora de Tarragona (Tarragona)
16. Incineradora de residus industrials a Constantí (Tarragona)
17. Uniland Cementera (Sitges, Barcelona)
18. Cementera CEMEX (Alcanar, Tarragona)
19. Cementera CELSA (Castellbisbal, Barcelona)

A LA CONCA CATALANA DEL RIU EBRE

L'Ebre, al seu pas per els 928 km de longitud, va rebent abocaments tant d'origen urbà com industrial i agrícola. Aquests són transportats pel riu i alguns arriben fins al Delta de l'Ebre. Això suposa una gran amenaça per la salut i l'ecosistema ja que s'han trobat altes concentracions de diversos metalls pesants (Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Tl,

V i Zn) en 20 punts del tram català del riu Ebre i en 10 punts de la comarca del Priorat (rius Siurana, Montsant i Cortiella). La contaminació ha afectat a diverses matrius del sistema fluvial (aigua superficial, aigua filtrada, sediments superficials de ribera, biota fluvial i sòls superficials de la zona de ribera) i la població s'ha vist afectada per la ingesta i absorció dèrmica de metalls de l'aigua i inhalació dels metalls de les partícules del sòl. Els ànecs, per exemple, també s'han vist afectats per saturnisme, ja que ingereixen el plom procedent dels balins que s'utilitzen per caçar.

Entre el Pantà de Flix i la desembocadura, s'ha observat un alt contingut de Hg, Cd, Cu i Pb en l'aigua fluvial, els sediments i la biota fluvial de l'Ebre. Això indica que existeix un cert escapament de Hg procedent de Flix, a causa de les activitats de la planta de fosat bicàlcic.

Al Priorat existeixen altes concentracions de Fe, Mn i Pb en sediments i biota del sistema fluvial, però es donen de forma puntual i natural, degut principalment a l'erosió i arrossegament dels sòls de ribera.

Les concentracions detectades suposarien un cert risc toxicològic per l'ecosistema fluvial del riu Ebre. En general, s'ha observat que el risc ambiental potencial per a la població, associat als metalls amb efectes no cancerígens, és similar en els diferents trams del riu Ebre, tant per a nens com per a adults. Així mateix, l'excés d'As, Fe i Pb podria produir una intoxicació crònica amb conseqüències diverses per la salut, depenent del metall contaminant (Vegeu l'apartat perills per la salut en el que tractem els metalls objecte del nostre estudi) en la població resident a la conca, i la contaminació natural o antropogènica d'As i Cr de les poblacions del tram fluvial del riu Ebre, i de Cd en el cas del Priorat, podria augmentar el nombre de càncers en la població resident.

AL RIU TINTO, HUELVA

L'accident d'Acerinox va ser un incident de contaminació radioactiva a Cadis (Espanya). A maig de 1998, una font de cesi-137 va aconseguir passar a través de l'equip de monitorització d'una planta de processament de ferralla d'Acerinox a Los Barrios, Espanya. Quan la ferralla es va fondre, el cesi es va cremar i va causar un núvol radioactiu. Els detectors de la xemeneia de la planta d'Acerinox van fallar, però va ser detectada a França, Itàlia, Suïssa, Alemanya i Àustria. Els nivells de radioactivitat que es van mesurar eren 1.000 vegades superiors als normals.

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

Després d'aquest accident, es van enterrar de forma incontrolada més de 7.000 tones de material contaminat radioactivament en el Centre de Recuperació d'Inerts, situat a les afores de Mendanya, una ciutat de Huelva.

Els responsables d'aquest accident van ser el Consell General de Seguretat Nuclear (CSN), l'Empresa Nacional de Residus Radioactius (ENRESA) que depèn del Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç i la Junta d'Andalusia. Van ocultar el fet a l'opinió pública durant dues setmanes i després de veure que el núvol de cesi-137 radioactiu estava recorrent mitja Europa es van veure obligats a reconèixer que la contaminació s'havia produït perquè es va fondre accidentalment una font de cesi-137 radioactiu a les immediacions d'Acerinox. Aquesta va contaminar a gran part del material que es trobava a la fundició, van acordar no considerar radioactiu el material que es va veure afectat i, per tant, el van abocar en un dipòsit incontrolat.

El 2001 Acerinox va haver de pagar 3 milions d'euros a EGMASA (empresa pública dependent de la Junta d'Andalusia) ja que aquesta va haver de posar en marxa un pla de vigilància per controlar, amb la supervisió del CSN, l'evolució d'aquesta contaminació i evitar la seva intrusió al medi ambient durant al menys 30 anys. Però la mala gestió de l'empresa EGMASA i la suposada supervisió del CSN va fracassar i ara es busquen mesures legals per evitar que aquesta tragèdia es pugui tornar a repetir.

A l'any 2007, greenpeace va alertar de la via d'escapament en aquest dipòsit incontrolat per on sortien els isòtops radioactius de cesi-137 al medi ambient, i es van adonar de que a través de les filtracions del terreny, el cesi s'estava incorporant a les aigües d'un afluent de la Rivera de Nicoba, que desemboca al riu Tinto.

El cesi (Cs) és un metall pesant radioactiu altament perillós, inclús en quantitats molt petites. La decisió d'enterrar aquell material de forma descontrolada ha portat a una situació crítica per la salut pública i el medi ambient. El nombre d'enfermetats cancerígenes a Huelva supera a la resta d'Espanya.

2.3. ABSORCIÓ DEL METALL PESANTS A LA PLANTA

Les plantes han desenvolupat mecanismes altament específics per absorbir i acumular nutrients, en canvi, alguns metalls no essencials pels vegetals són absorbits i acumulats a la planta degut a que presenten un comportament electroquímic similar als elements nutritius requerits.

L'absorció de metalls pesants per les plantes és generalment el primer pas de la seva entrada a la cadena alimentària. L'absorció i posterior acumulació depenen del moviment dels metalls des de la solució del sòl a l'arrel de la planta, el transport del metall de l'arrel a la tija, i la possible mobilització dels metalls des de les fulles fins als teixits d'emmagatzematge utilitzats com aliment pel floema (llavors, tuberculs i fruits) (**Il·lustració 6 i 7**). Després de

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

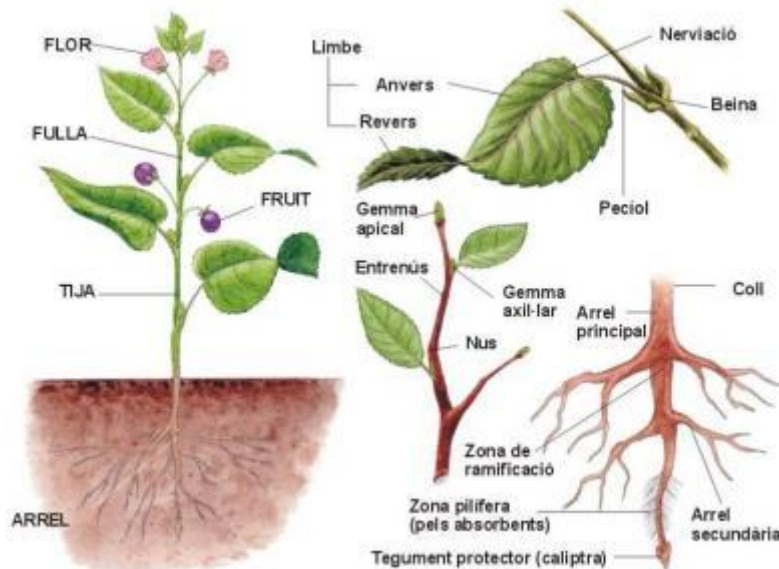
l'absorció pels vegetals, els metalls estan disponibles per la resta d'éssers vius de manera directa o a través de la cadena alimentària.

Un altre mecanisme d'ingrés de substàncies potencialment tòxiques a les plantes, com els metalls pesants, és mitjançant l'absorció foliar.

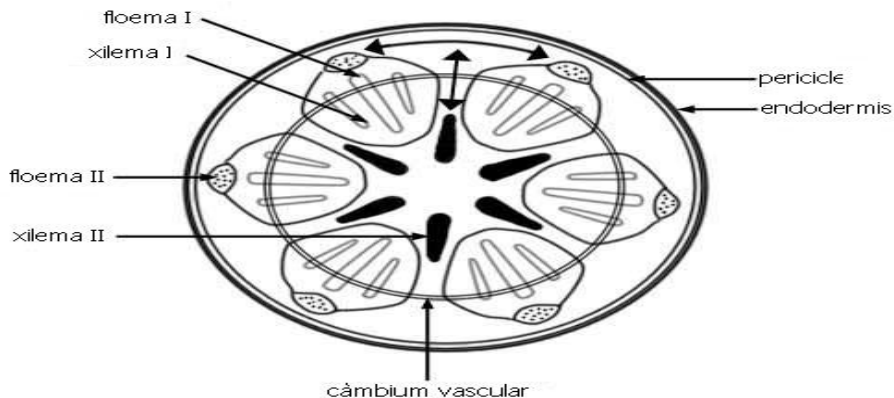
Les espècies vegetals, incloent alguns cultius, tenen la capacitat d'acumular metalls als seus teixits. Les plantes capaces d'absorbir i acumular metalls per sobre del que es considera normal per a altres espècies en els mateixos sòls, es diuen hiperacumuladores i es troben principalment en sòls rics en metalls pesants per condicions geoquímiques o contaminació antropogènica. Les plantes hiperacumuladores generalment tenen poca biomassa degut a que utilitzen més energia en els mecanismes necessaris per adaptar-se a les altes concentracions de metall als seus teixits.

Fins ara, s'ha descobert que algunes molècules faciliten el transport de metalls pesants a l'interior de la planta a través de les arrels. Les substàncies orgàniques quelants, que són capaces de formar ions complexos amb el metall, faciliten en gran mesura l'absorció. Aquestes substàncies poden ser produïdes per la pròpia planta i alliberades al sòl a través de les arrels, o poden ser afegides directament per l'home al sòl contaminat.

La capacitat de les plantes per bioacumular metalls pesants i altres contaminants varia segons l'espècie vegetal i la naturalesa dels contaminants. El comportament de la planta enfront als metalls pesants depèn de cada metall.



Il·lustració 6. Parts de la planta



Il·lustració 7. Estructura interna de l'arrel

2.3.1. Distribució del metall pesant a l'arrel

DISTRIBUCIÓ DEL PLOM (Pb)

Els sòls poden arribar a contenir 70 mg kg^{-1} de plom a la seva superfície. Contra més àcid és el sòl més soluble és el plom, tot i que la seva mobilització generalment és més lenta que la seva acumulació a la capa de humus. La localització característica del Pb^{2+} prop de la superfície del sòl, es relaciona principalment amb l'acumulació superficial de matèria orgànica.

En sòls contaminats amb plom, aquest es troba normalment associat amb Cd i Zn (Hettiarachchi i Pierzynski, 2002). L'absorció i translocació del Pb^{2+} a les fulles de les plantes per fonts aèries, pot arribar a ser un 73 - 93% del contingut total de plom en les plantes amb fulles i cereals (Kabata – Pendias, 2000).

A la superfície de l'arrel, el plom s'uneix als grups carboxílics de l'àcid urònic del mucíl·lag. El mucíl·lag és una glicoproteïna que es troba en diversos òrgans de la majoria de les plantes i té la funció d'emmagatzemar aigua per afavorir la germinació de les llavors, però també actua com espessidor de la membrana cel·lular, i per tant, estableix una barrera important protegint el sistema radicular del metall entrant.

Seguidament, el plom s'uneix amb els ions de la paret cel·lular i forma carbonat de plom (PbCO_3). D'aquesta manera queda retingut a l'arrel.

Per què el plom pugui arribar a l'interior de la cèl·lula, ha de travessar la membrana plasmàtica. Una possible via de transport del plom a través de la membrana és mitjançant els canals catiónics d'aquesta, com per exemple els

canals de calci. El Pb^{2+} inhibeix els canals de Ca^{2+} degut al bloqueig d'aquests pel metall o degut al transport competitiu de plom a través d'ells. Aquests bloquejadors poden inhibir la proliferació cel·lular i en conseqüència provocar apoptosi o mort cel·lular.

Per altra banda, el calci bloqueja el transport de plom dins l'arrel i, en conseqüència, disminueix la toxicitat per Pb^{2+} sobre el creixement de la planta.

En les plantes, el plom s'emmagatzema principalment a les arrels, essent mínima la seva presència a les estructures reproductives (Kabata – Pendias 2000).

DISTRIBUCIÓ DEL COURE (Cu)

El factor més important per determinar la biodisponibilitat del Cu és la matèria orgànica del sòl ja que el metall es concentra majoritàriament a les capes més superficials (del Castilho *et al.*, 2003). El valor de pH de major disponibilitat de Cu al sòl varia entre 4, 5 i 7 (pH àcid - neutre).

Els mecanismes d'absorció de Cu per les plantes encara no estan del tot clars, ja que s'ha observat una probable absorció passiva de Cu quan la concentració del metall en el sòl és excessivament tòxic, a més d'una absorció activa (Kabata – Pendias, 2000).

Als teixits de l'arrel, el coure es troba en formes molt complexes, en canvi, és molt probable que el metall ingressi a les cèl·lules de l'arrel en formes dissociades i a taxes diferents segons la naturalesa del metall. Els teixits de l'arrel tenen una alta capacitat per emmagatzemar Cu tant en condicions de deficiència com d'excés del metall al medi. A la saba xilemàtica de les plantes, el Cu es troba gairebé un 100% lligat a aminoàcids, fins i tot en condicions de suplement excessiu de Cu (Liao *et al.*, 2000a; Liao *et al.*, 2000b). Això suggereix que encara sota condicions de toxicitat de Cu, les plantes l'assimilen, minimitzant el dany potencial d'altres concentracions d'ions lliures de Cu (Welch, 1995).

El Cu té una mobilitat relativament baixa respecte a altres elements en les plantes, ja que roman als teixits de l'arrel i de les fulles fins el seu envelliment. La mobilitat del Cu dins dels teixits de les plantes depèn directament del nivell de Cu al substrat. L'acumulació de Cu als òrgans reproductius també varia àmpliament segons l'espècie. En blat, l'excés de Cu redueix el transport de Zn pel floema degut a que competeixen pels mateixos llocs de transport.

DISTRIBUCIÓ DEL ZINC (Zn)

El zinc és un element essencial per les plantes, participa en diversos processos metabòlics i és component de diversos enzims. La mobilització i lixiviació del Zn és major en sòls lleugerament àcids, ja que augmenta la competència amb altres cations pels llocs d'intercanvi. La solubilitat i disponibilitat del Zn es correlaciona negativament amb la saturació de Ca i compostos fosforats presents al sòl.

El mecanisme d'absorció del Zn per l'arrel no ha estat definit amb precisió, però se sap que l'ingrés predominant d'aquest element és dona en forma de Zn hidratat i Zn^{2+} .

El Zn se sol acumular molt més a l'arrel de la planta que a la part aèria. En condicions d'excés, el Zn es pot acumular a la capa superior de les fulles (Terry *et al.*, 2000).

DISTRIBUCIÓ DEL NÍQUEL (Ni)

El níquel és un element essencial pel metabolisme de les plantes (Mahler, 2003) i presenta afinitat amb el ferro (Fe) i el sofre (S), però també amb carbonats, fosfats, silicats, òxids de ferro i manganès (Mn). A la superfície del sòl, el Ni es troba lligat a formes orgàniques, les quals poden trobar-se en quelats fàcilment solubles. En canvi, la fracció més soluble a les plantes és l'associada als òxids de Fe i Mn. La solubilitat també varia depenent del pH del sòl. El Ni és un element mòbil a la planta i s'acumula preferentment a les fulles i llavors (Halstead *et a.*, 1969).

En general, es pot establir que els metalls més tòxics per les plantes són el Hg, Cu, Pb, Co, Cd i possiblement també Ag, Be i Sn.

2.3.2. Transport

ARREL

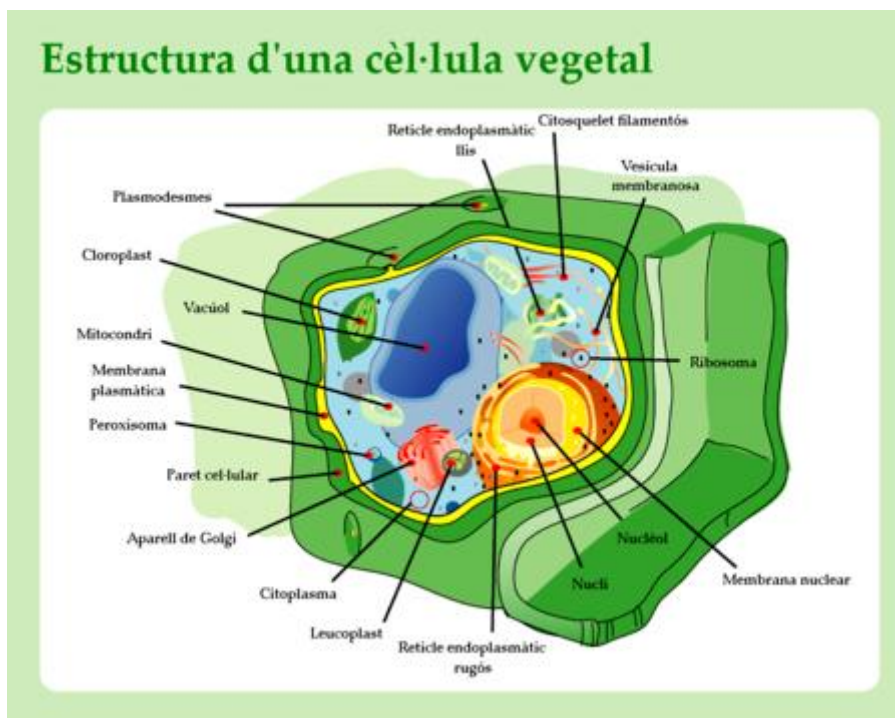
Els metalls es mouen predominantment dins de l'apoplast de l'arrel i s'acumula prop de l'endodermis (**Il·lustració 7**). L'endodermis actua com una barrera parcial entre l'arrel i la part aèria i és per això que els metalls se solen acumular a l'arrel sense arribar a infectar la part aèria de la planta. En canvi, aquests metalls si que es mouen a través de l'arrel. Es poden resumir tres vies

anatòmicament diferents a través de les quals es podrien moure els metalls si seguissin el recorregut de l'aigua, ja que la major part dels metalls s'extreuen de les aigües subterrànies del sòl:

La primer via seria la ruta externa del citoplasma i la membrana cel·lular, és a dir, la paret cel·lular. Aquesta via es denomina l'apoplast. Aquesta part representa el 10% del volum total de l'arrel equivalent a l'espai lliure. (**Il·lustració 8**).

En segon lloc, existeix la possibilitat de que els metalls travessin la paret cel·lular pels plasmodesmes, uns petits porus de la paret, i aconseguixin entrar al citoplasma (**il·lustració 8**). Tot seguit es mourien al llarg del continu citoplasmàtic a través del citosol, que és el medi líquid del citoplasma. Aquesta ruta és denomina via del simplast.

Finalment, existeix la possibilitat de que els metalls travessin el tonoplast, que és l'estrat del citoplasma que limita els vacúols, i arribin a formar part de les substàncies d'emmagatzematge d'aquests orgànuls (**Il·lustració 8**).



Il·lustració 8. Estructura d'una cèl·lula eucariota vegetal.

La distribució del metall pesant per l'arrel depèn considerablement de la concentració en que es troba, essent major la penetració a les cèl·lules vegetals quan la concentració del metall pesant augmenta. En general, la major concentració de metalls pesants es troba en les parets cel·lulars de l'arrel, ja que la concentració a les parts aèries de la planta és menor a mesura que augmenta la distància des de l'arrel. No hem de oblidar, però, que el transport i

l'acumulació del metall pesant a la planta depèn també del tipus de metall i de l'espècie de la planta ja que, com hem pogut veure anteriorment, hi ha alguns metalls pesants que tendeixen a acumular-se en major quantitat en les parts aèries, com el Níquel, i que segons l'espècie de la planta els metalls s'acumulen o es transporten amb més facilitat que altres.

FULLES

En les fulles, el contingut de metall pesant que poden acumular depèn de l'edat d'aquestes. El màxim contingut de metalls pesants es troba en fulles velles mentre que el mínim se sol trobar a les fulles joves.

LLAVORS

En les llavors, la testa, la coberta d'algunes llavors, prevé l'entrada de qualsevol metall pesant als teixits interns fins que aquesta s'acaba trencant gràcies al desenvolupament de la seva radícula, l'arrel de l'embrió. Als cotilèdons, el metall pesant es mou a través dels teixits vasculars i tendeix a acumular-se en zones discretes en les parts distals.

El contingut de metalls pesants en diversos òrgans de la planta tendeix a decréixer en el següent ordre: arrels > fulles > tija > llavor.

2.3.3. Mecanismes de tolerància

Una de les primeres barreres amb les que es troben els metalls pesants abans d'entrar en contacte amb la planta, són uns fongs que estan en associació simbiòtica amb les arrels. Aquests fongs es solen trobar a la majoria de les plantes i s'anomenen micorrizes. L'associació física es produeix perquè les arrels de les plantes s'uneixen amb les hifes de determinats fongs (**Il·lustració 9**). La simbiosi proporciona nutrients minerals i aigua a la planta i substrats energètics i glúcids al fong.



Il·lustració 9. Detall de la morfologia de les arrels colonitzades per micorrizes.

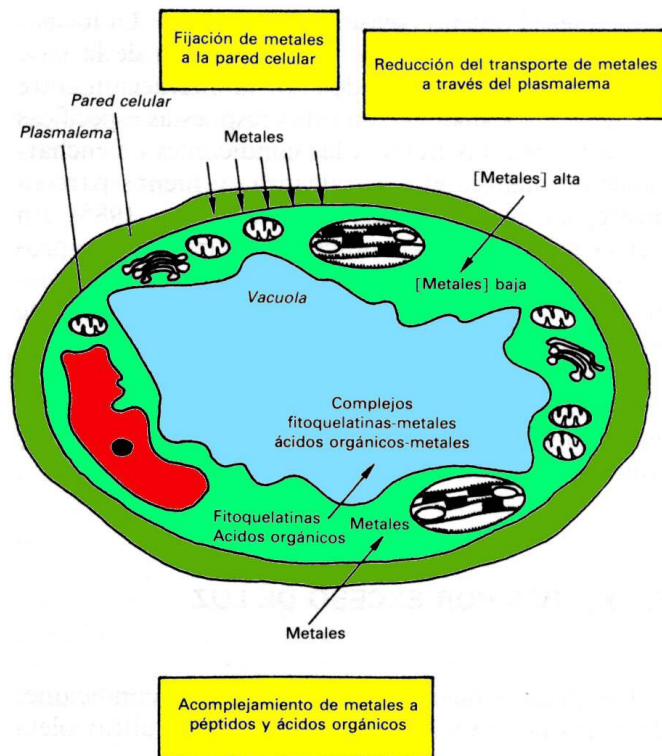
Les plantes micoritzades presenten una major tolerància als metalls pesants gràcies a la capacitat per immobilitzar els metalls a l'arrel, impedit que aquests passin a la part aèria de la planta. La paret cel·lular del fong, té una gran capacitat per absorbir cations per sobre de la seva superfície i a més, restringeix el moviment del metall per les arrels de les plantes. En canvi, també s'ha observat una intensa activitat de translocació i absorció de metalls pesants en algunes espècies degut a aquests fongs, evidenciant que funcionen en ambdós sentits, impedit l'entrada de metalls pesants i afavorint la seva acumulació .

Una vegada han entrat els metalls a les cèl·lules de les arrels, comencen a funcionar els mecanismes de tolerància de la planta que permeten suportar altes concentracions de metall i faciliten l'emmagatzematge dels ions tòxics a llocs no perjudicials per les cèl·lules. Aquests mecanismes són:

- Desintoxicació (complexos amb àcids orgànics).
- Compartimentació (acumulació als vacúols).
- Activitat d'enzims tolerants.

Els metalls absorbits per la cèl·lula poden ser eliminats del citoplasma per unió a àcids orgànics que també estan presents a la paret, o mitjançant enllaços amb fitoquelatines (pèptids de baix pes molecular rics en l'aminoàcid cisteïna) (Il·lustració 10).

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes



Il·lustració 10. Mecanismes de tolerància dels metalls pesants per les cèl·lules vegetals

Tal i com hem comentat anteriorment en l'apartat de recuperació de sòls contaminats, la biosíntesi de cisteïna, un aminoàcid implicat en el metabolisme de les plantes, està regulada per metalls pesants. Quan la planta absorbeix metalls pesants aquests desencadenen la biosíntesi de cisteïna, que al seu torn genera la producció de fitoquelatines, les quals s'uneixen als metalls pesants i els desintoxica. Aquest és un dels mecanismes d'assimilació i tolerància dels metalls per part de les plantes.

Però no tots els metalls pesants tenen la mateixa capacitat per unir-se a la biosíntesi de cisteïna, els metalls s'uneixen a aquests compostos segons la progressió $Hg > Cd > As > Ag > Cu > Ni > Pb > Zn$. L'estímul de la síntesi de fitoquelatines és una resposta a la presència d'elevades concentracions internes d'ions metàl·lics tòxics, de manera que més que un símptoma de tolerància, sembla ser un marcador bioquímic de la tensió soferta per la planta.

A partir d'aquesta correlació directa, els investigadors han modificat plantes d'arabidopsis per a que sintetitzin major quantitat de cisteïna mitjançant la sobreexpressió d'un dels gens implicats en el procés, el que augmentaria la seva capacitat per desintoxicar més quantitat de metalls pesants. El resultat són plantes transgèniques més tolerants a metalls pesants, que poden servir de gran ajuda per la recuperació de sòls contaminants ja que la utilització d'aquestes plantes en el procés de fito-remediació permetrà descontaminar els sòls d'una forma més ràpida i eficaç.

Per altra banda, l'anàlisi de l'activitat enzimàtica en medis amb concentracions creixents de metalls pesants, per regla general, mostra que no hi ha diferències entre plantes tolerants i no tolerants en la sensibilitat dels enzims citoplasmàtics, però sí que s'han observat diferències en l'activitat d'enzims extracel·lulars.

No obstant això, fins ara tenim poques dades per determinar una clara relació amb les activitats enzimàtiques i les diferències genètiques en la tolerància.

2.3.4. Efectes fisiològics

Els efectes fisiològics que poden causar els metalls pesants a les plantes depenen sempre del tipus de metall contaminant i de la concentració en que es troba (**Il·lustració 11**).

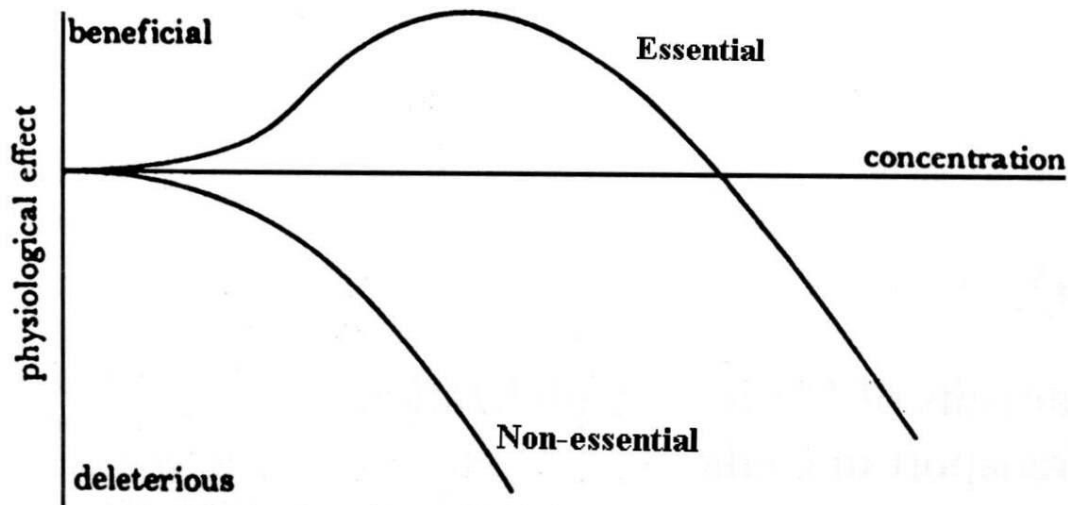
Generalment, la fitotoxicitat per metalls pesants pot ocasionar desordres en les activitats fisiològiques normals de la planta fins arribar a matar eventualment les cèl·lules a altes concentracions. Els principals processos fisiològics afectats són: l'activitat enzimàtica, la nutrició mineral, el potencial hídric, l'estat hormonal, l'estructura de la membrana i el transport d'electrons.

Els símptomes de toxicitat per metalls pesants es poden dividir en símptomes específics i no específics:

Els símptomes visuals no específics consisteixen en una inhibició ràpida del creixement radicular, reducció de l'ària foliar, clorosis, necrosis foliar i aparició de taques marró-vermelloses a les tiges, pecíols i fulles. Per una altra part, la toxicitat per metalls pesants inhibeix la germinació de les llavors i retarda el creixement de les plantes.

Els símptomes específics consisteixen en una disminució del percentatge i índex de germinació, de la proporció de la longitud radicular, de l'índex de tolerància a metalls pesants i del pes sec de les arrels i de la part aèria.

També poden causar efectes fisiològics ultraestructurals si el metall arriba a entrar en contacte amb el nucli de la cèl·lula, afectant la divisió cel·lular, la morfologia cromosòmica i els nuclèols de les cèl·lules.



Il·lustració 11. Relació entre la concentració dels metalls pesants essencials i no essencials i els seus efectes fisiològics a la planta

2.4. BIOACUMULACIÓ DELS METALLS PESANTS A LA XARXA

2.4.1. Perills per la salut i els ecosistemes

Estudis molt recents, han evidenciat la repercussió negativa que tenen els metalls pesants en l'ecosistema i la salut de l'ésser humà. A mesura que augmenta l'activitat industrial i minera, entre altres fonts de contaminació, augmenta també l'exposició dels metalls tòxics a l'ambient i suposen una

amenança per la salut pública i per la majoria de formes de vida. És tal l'augment d'aquests elements tòxics, que avui en dia tenim de 400 a 1.000 vegades més plom en els ossos que fa 400 anys. Això té greus efectes en el cervell i en l'evolució mental dels nens, especialment en la formació de la intel·ligència.

L'exposició de metalls pesants a l'ambient pot causar problemes de salut com intoxicacions, malalties infeccioses i cròniques, retards en el desenvolupament, diversos tipus de càncer, danys al ronyó i, fins i tot, casos de mort. També causa alteracions en l'ecosistema com ara erosió, acumulació de compostos nocius persistents i, fins i tot, pot arribar a causar la pròpia destrucció.

La relació amb nivells elevats de mercuri, or i plom ha estat associada al desenvolupament de l'autoimmunitat (el sistema immunològic ataca les seves pròpies cèl·lules prenent-les per invasores). L'autoimmunitat pot derivar en el desenvolupament de malalties a les articulacions i el ronyó, com ara l'artritis reumàtica, i en malalties dels sistemes circulatori o nerviós central.

La ingesta d'aliments contaminats, sobretot de peix, representa el major risc d'intoxicació degut a la seva biotransformació i magnificació biològica a través de la cadena alimentària. La intoxicació per metalls pesants no es detecta en un simple anàlisi de sang, és conseqüència de diversos tipus de símptomes com ara cansament, trastorns nerviosos, depressió, reuma, ansietat, autisme, fibromiàlgia, insomni, etc. L'anàlisi de cabell permet controlar la intoxicació per metalls pesants en el cos, proporcionant també un estudi mineral que determina els nivells de minerals i de metalls tòxics, el tipus metabòlic (ràpid - lent) i el funcionament del sistema hormonal, de manera que es pugui adaptar una dieta que s'ajusti als resultats de l'anàlisi i així reduir l'excés de metalls pesants en el cos.

Però no tots els metalls pesants són igualment tòxics per la salut i el medi. D'entre ells cal destacar el mercuri (Hg), el plom (Pb), el cadmi (Cd), l'arsènic (As), el coure (Cu), el níquel (Ni) i el zinc (Zn).

EFFECTES DEL PLOM SOBRE LA SALUT

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

El plom és un dels metalls que tenen major efecte nociu sobre la salut humana. Pot entrar al cos humà a través de l'aliment (65%), l'aigua (20%) i/o l'aire (15%).

Els aliments com fruita, vegetals, carn, marisc, refrescs i vi poden contenir quantitats significatives de plom. El fum del tabac també conté petites quantitats de plom, i també pot entrar a l'aigua potable a través de la corrosió de les canonades.

El plom pot causar diversos efectes no desitjats, com són:

- Anèmia
- Increment de la pressió sanguínia
- Danys als ronyó
- Problemes en el desenvolupament
- Danys als teixits reproductius
- Avortaments i avortaments subtils
- Pertorbació del sistema nerviós
- Alteracions neurològiques
- Nefrotoxicitat
- Disminució del coeficient intel·lectual infantil
- Pertorbació en el comportament dels nens, com agressió, comportament impulsiu i hipersensibilitat.

L'anèmia és el primer símptoma d'enverinament per plom en els mamífers, donat que interfereix en la biosíntesi d'hemoglobina. Això queda reflectit en símptomes com nàusees, vòmits i dolors abdominals.

Durant l'embaràs, el plom pot entrar al fetus a través de la placenta de la mare i causar seriosos danys al sistema nerviós i al cervell dels nadons.

En general, el plom és tòxic per els sistemes endocrí, cardiovascular, respiratori, immunològic, neurològic i gastrointestinal, a més de la possibilitat d'afectar la pell i els ronyons.

EFFECTES DEL PLOM A L'ECOSISTEMA

El plom es troba al medi de forma natural però la producció humana causa molta més contaminació a l'ambient. Un exemple en serien la combustió del petroli, els processos industrials, la combustió de residus sòlids i la gasolina amb plom. Degut a l'aplicació del plom en les gasolines, aquest entra en contacte amb l'ambient a través dels tubs d'escapament dels cotxes i precipita als sòls i a les aigües, mentre que algunes partícules queden en suspensió a l'aire. Això ha causat contaminació per plom en àmbit mundial.

El plom s'acumula als cossos dels organismes aquàtics i organismes del sòl. Aquests poden experimentar efectes en la salut degut a l'enverinament per plom (saturnisme). Els efectes sobre la salut dels crustacis pot tenir lloc fins i tot quan només hi ha petites concentracions de plom present.

Les funcions en el fitoplàncton poden ser pertorbades quan aquest interfereix amb el plom. El fitoplàncton és una font important de producció d'oxigen en mars i molts animals marins s'alimenten d'ell. Les funcions del sòl són pertorbades per la intervenció del plom, especialment prop de les autopistes i terres de cultius, on hi poden haver concentracions extremes. Els organismes del sòl també pateixen enverinament per plom.

El plom és un element químic particularment perillós, i es pot acumular en organismes individuals, però també entrar en les cadenes alimentàries.

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes



Il·lustració 12. Bioacumulació dels metalls pesants a la cadena alimentària

EFFECTES DEL COURE SOBRE LA SALUT

La producció de coure ha augmentat durant les últimes dècades i això ha contribuït a la contaminació de l'ambient per aquest metall.

Com la resta de metalls, el coure pot entrar al cos humà a través de l'aliment, l'aigua i l'aire, tot i que la última via d'absorció és poc usual ja que la concentració de coure a l'atmosfera és relativament baixa.

El coure és un element essencial no només per les plantes sinó també pels humans. Podem acumular grans quantitats de coure al nostre cos tot i que una excessiva concentració pot arribar a causar danys a la salut.

Els compostos solubles de coure són els que representen una major amenaça per la salut humana. La majoria dels compostos de coure es dipositen als sediments de l'aigua i a les partícules del sòl, tot i que una part dels compostos que es troben solubles a l'aigua són alliberats a l'ambient després d'aplicacions en agricultura.

La gent que habita a cases on encara hi ha canonades de coure estan exposades a majors nivells d'aquest metall, ja que el coure és alliberat a l'aigua a través de la corrosió de les canonades.

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

També podem estar exposats al coure en la nostra àrea de treball i patir la grip coneguda com la febre del metall. Aquesta febre té una durada de dos dies i és causada per una hipersensibilitat del nostre cos.

L'exposició a llarg període de coure pot causar:

- Irritabilitat al nas, boca i ulls
- Mals de cap
- Mals d'estómac
- Mareigs
- Vòmits
- Diarrees.

Altes concentracions de coure al nostre cos poden causar:

- Danys al fetge
- Danys als ronyons
- Disminució de la intel·ligència en adolescents
- La mort

El que encara no ha estat demostrat però, és que sigui cancerigen.

EFFECTES DEL COURE A L'ECOSISTEMA

La producció mundial de coure encara està en creixement, això vol dir que més i més coure acaba al medi ambient en forma de contaminació. Els rius queden contaminats degut a les aigües residuals que s'aboquen i aquests dipositen fang a les costes de forma que el sòl acaba absorbint aquests metalls.

El coure entra en contacte amb l'aire a través de l'alliberació durant la combustió del fuel, però aquest metall roman a l'aire durant un curt període de temps ja que amb la pluja precipita novament als sòls. Per això, els sòls solen contenir majors concentracions de coure a la seva superfície.

El coure és alliberat al medi ambient tant per processos naturals com per activitats antropogèniques. Exemples de fonts naturals serien les tempestes de pols, descomposició de la vegetació, incendis forestals i aerosols marins. Com exemples d'activitats antropogèniques que contribueixen a l'alliberament de coure serien la mineria, la producció de metall, la producció de fusta i la producció de fertilitzants fosfatats. El coure se sol trobar prop de mines, assentaments industrials, abocadors i llocs de residus.

Quan el coure és abocat als sòls, aquest és lliga amb matèria orgànica i minerals i roman a la superfície. Per això és habitual trobar-lo a les aigües superficials i, en canvi, és difícil que arribi a entrar en contacte amb aigües subterrànies. El coure s'acumula amb facilitat en plantes i animals i pot resultar molt perjudicial per la salut. En sòls rics en coure, només un nombre reduït de plantes poden sobreviure, per això no hi ha diversitat de plantes prop de les fàbriques de coure, degut a l'efecte negatiu sobre aquestes. El coure pot influir en els processos agrícoles, depenent de l'acidesa del terreny i la presència de matèria orgànica. Tot i així, els fems amb coure són encara molt utilitzats.

El coure té una influència negativa en l'activitat de microorganismes i cucs de terra. Per això pot interrompre l'activitat dels sòls i disminuir la descomposició de la matèria orgànica.

Quan el terreny de les granges està contaminat per coure, els animals poden absorbir concentracions perjudicials per la seva salut. Un exemple serien les ovelles que pateixen enverinament per coure quan aquest es manifesta a baixes concentracions.

EFFECTES DEL ZINC SOBRE LA SALUT

El zinc es troba al medi ambient de forma natural. Molts aliments contenen certes concentracions de zinc i l'aigua potable també. Quan l'aigua s'emmagatzema en tanques de metall és molt probable que la quantitat de metall augmenti. També les fonts industrials o els emplaçaments per residus tòxics poden ser la causa de majors nivells de zinc a l'aigua potable arribant a causar problemes en la salut.

El zinc és un element traça essencial per la salut humana. Quan els nivells de zinc són escassos es pot experimentar:

- Una pèrdua de la gana
- Disminució de la sensibilitat, del gust i de l'olfacte
- Petites nafres
- Erupcions cutànies.

Però l'excés d'aquest metall també causa problemes de salut eminents, com ara:

- Úlcera d'estómac

- Irritació de la pell
- Vòmits
- Nàusees
- Anèmia.
- Defectes en el naixement
- Danys al pàncrees
- Alteracions en el metabolisme de les proteïnes
- Arteriosclerosis
- Desordres respiratoris en contacte amb clorat de zinc

En ambient laboral el contacte amb zinc també pot causar la febre del metall. El zinc pot perjudicar al fetus i als nens recent nascuts a través de la sang o la llet materna quan aquesta ha absorbit grans quantitats de metall.

EFFECTES DEL ZINC A L'ECOSISTEMA

El zinc es troba de forma natural a l'aire, aigua i sòls tot i que les concentracions han augmentat degut a la producció antropogènica. Les principals fonts de contaminació són les activitats industrials, la mineria, la combustió del carbó i residus i el processat d'acer.

L'aigua és contaminada per zinc degut a les aigües residuals que les plantes industrials aboquen al mar. Aquestes aigües no són depurades satisfactòriament i a més, part d'aquests metalls acaben als sòls degut al fang que els rius dipositen a les costes.

Alguns peixos poden acumular grans quantitats de zinc als seus cossos quan es troben en aigües contaminades per aquest metall. Quan el zinc ha estat acumulat, aquest és capaç de biomagnificar-se a través de la cadena alimentària perjudicant la nostra salut.

Les majors quantitats de zinc solen trobar-se als sòls. A les granges, el zinc és absorbit pels animals causant greus danys a la seva salut, però no és només una amenaça pel bestiar sinó que les plantes també pateixen enverinament per aquest metall.

EFFECTES DEL NÍQUEL SOBRE LA SALUT

El níquel es troba a l'ambient en baixes concentracions. La producció humana és la principal causa de contaminació per níquel. El níquel és molt utilitzat com ingredient de l'acer i altres productes metàl·lics presents en les joieries. També forma part de la composició de les monedes d'1 i 2 euros que contenen níquel, coure i llautó. Quan l'euro es va posar en funcionament molta gent presentava símptomes al·lèrgics com picors, vermellors i molèsties cutànies a les mans, causades per el níquel



Il·lustració 13. El níquel forma part de la composició de les monedes d'1 i 2 euros.

Aquests metall entra en contacte amb el nostre cos a través dels vegetals procedents del sòl ja que solen acumular grans quantitats de níquel. No és molt habitual trobar altes concentracions de níquel als aliments però, per exemple, la xocolata i els greixos contenen grans quantitats. El tabac també conté níquel i els fumadors estan exposats a patir malalties de pulmó. Finalment, el níquel es pot trobar als detergents.

Els humans estem exposats al níquel a través de l'aire que respirem, l'aigua, el menjar i el tabac. El contacte de la pell amb el sòl contaminat per níquel també pot resultar perjudicial.

En baixes concentracions el níquel és essencial pel nostre cos però quan la concentració augmenta pot causar els següents efectes:

- Probabilitat de patir càncer de pulmó, nas, laringe i pròstata
- Malalties i mareigs després de l'exposició al níquel gasós
- Embòlia de pulmó
- Problemes respiratoris
- Defectes al naixement

- Asma i bronquitis crònica
- Reaccions al·lèrgiques com són erupcions cutànies degut a les joies
- Desordres del cor

EFFECTES DEL NÍQUEL A L'ECOSISTEMA

La major part dels compostos de níquel que són alliberats a l'ambient són absorbits posteriorment per les partícules del sòl fins que s'arriben a immobilitzar. En sòls àcids, el níquel pot arribar a ser més mòbil fins a unir-se a aigües subterrànies.

Altes concentracions de níquel en sòls arenosos poden arribar a danyar les plantes i si es troben a les aigües superficials poden disminuir el creixement de les algues.

Els microorganismes també poden patir una disminució del creixement degut a la presència de níquel, tot i que solen desenvolupar resistència a aquest metall.

Per als animals, el níquel és un element essencial en petites quantitats però quan excedeix la màxima quantitat tolerable, també pot resultar perillós. Pot arribar a causar diversos tipus de càncer a diferents parts del cos, sobretot en aquells que viuen prop de refineries. El níquel no se sol acumular en plantes o animals i, per tant, no biomagnifica a la cadena alimentària.

2.4.2. Malalties derivades d'aquesta acumulació

Avui en dia podríem dir que gairebé tot el que ens envolta conté metalls pesants i tot tipus de contaminants. Els estris que utilitzem en el dia a dia per neteja, higiene, aliment, transport, oci, etc, contenen la majoria algun tipus de metall com l'alumini del desodorant, el mercuri dels empastaments dentals, els fungicides dels vegetals, els productes químics del maquillatge, els gasos dels productes de neteja, de les indústries, dels vehicles, dels perfums, de les laques, dels plàstics i de qualsevol altra cosa que tingui a veure amb la química.



Il·lustració 14. Empastaments dentals amb amalgama que mostren la quantitat de mercuri que el cos pot ingerir a través de la saliva.

En molts llocs de treball també estem envoltats de contaminants com és el cas dels joiers, perruquers, pintors, miners, ferreters o mecànics. L'aigua potable també és una font de contaminació per metalls pesants pels humans ja que està exposada al platí, urani, plom, níquel, mercuri, cadmi, bismut, arsènic i qualsevol altre metall. Tots aquests metalls poden ser realment perjudicials per la salut afectant a moltes parts del cos com el pit, el cervell, els ronyons, el fetge, les artèries, els pulmons, la pell i el cor.

Els metalls pesants són la causa del 82% de les malalties degeneratives cròniques. Exemples d'aquestes malalties serien la pèrdua de memòria, la depressió, l'ansietat, el càncer, l'Alzheimer i malalties cardiovasculars.

La majoria dels éssers vius estan intoxicats per metalls pesants degut al contacte directe que es té amb aquests contaminants. Això passa perquè l'organisme elimina menys metalls pesants dels que ingereix a diari causant efectes constants com gripes, fatiga, irritabilitat, etc.

Fa 50 anys, de 250.000 persones només una tenia Alzheimer, avui és una de 25. El mateix passa amb l'autisme. Abans de 100.000 persones només una presentava autisme, ara és una de 500. Les malalties degeneratives, els dolors articulars, el síndrome de fatiga crònica, els mareigs, els mals de cap i totes les malalties cardiovasculars en general, s'han vist incrementades per aquests metalls.

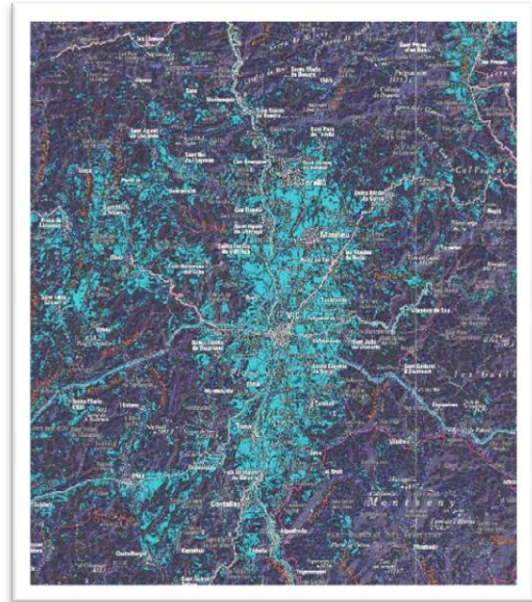
La ingesta d'alguns nutrients, com els minerals seleni i zinc, els aminoàcids taurina i glutamina i la vitamina C, ajuda a l'organisme en el procés de quelació. Aquests nutrients recullen i atrapen els metalls, convertint-los en noves molècules que el cos sí que pot eliminar.

3. TREBALL EXPERIMENTAL: COM AFECTA LA CONTAMINACIÓ PER METALLS PESANTS A LA GERMINACIÓ I EL CREIXEMENT DE LES LLAVORS?

3.1. INTRODUCCIÓ

3.1.1. Conreus de la comarca d'Osona

La major part de les terres de conreu de la comarca d'Osona corresponen a prats i pastures. La resta es dediquen principalment a cultius de cereals de gra (blat i ordi de secà, blat de moro, civada...) i a cultius farratgers anuals, a més de patates. A la Plana de Vic hi ha més de 25.000 ha de sòl agrícola destinat majoritàriament al conreu de cereals de secà, sobretot cereals d'hivern, alternats amb algun conreu d'estiu-tardor. Al Lluçanès més de 7500 ha estan destinades al conreu de cereals i de farratges. Al Montseny la major part del terreny agrícola és forestal i a Les Guilleries s'hi cultiva mestall, ordi, patates i alguna part de vinya.



Il·lustració 15. Distribució actual dels espais agrícoles a la nostra comarca. El color blau ens indica la superfície dels espais amb usos agrícoles, tant de conreus com de pastures. Al centre trobem la Plana de Vic, a dalt a l'esquerra el Lluçanès, a baix a la dreta el Montseny i al centre a la dreta les Guilleries

3.1.2. Mostra biològica

BLAT

El blat (*Triticum*) és un cereal de la família de les gramínies (monocotiledònies), una família a la qual pertanyen altres cereals importants com l'arròs, el blat de moro, la civada, etc.

El blat és una planta anual herbàcia de fins a 1,2 m d'alçada. Té una **arrel fasciculada**, és a dir, amb nombroses ramificacions les quals assoleixen en la seva majoria una profunditat de 25 cm, arribant algunes d'elles fins a un metre de profunditat. Les tiges són erectes i presenten estructura de canya, és a dir

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

estan buits a l'interior excepte en els nusos. Les fulles tenen una forma linear i en llança (allargades, rectes i acabades en punta).

Les flors es reuneixen en espigues. Cada espiga consta d'un eix principal sobre les quals es distribueixen lateralment les espiguetes. Aquestes consten d'un eix principal del qual neixen uns filaments que tanquen les flors fins que aquestes comencen a madurar. Les flors són molt poc vistoses i no presenten pètals.

Els blats més importants per al comerç són el *Triticum durum* (utilitzat principalment per a pastes i macarrons), el *Triticum aestivum* (utilitzat per elaborar pa) i el *Triticum compactum* (que s'utilitza per fer galetes).



Il·lustració 16. Camp de blat

COLZA

El colza (*Brassica napus*), és una planta amb flor de la família *Brassicaceae*. És una varietat de nap que es conrea per les seves llavors.

El colza és una planta anual de 0'3 a 1 metre d'alçada. Té una **arrel axonomorfa**, caracteritzada per un eix principal més desenvolupat que els laterals i que és pròpia de les dicotiledònies. Les fulles poden arribar a medir de 5 a 40 cm. Floreixen a principi de la primavera amb flors grogues.



Il·lustració 17. Camp de colza

3.1.3. Metalls pesants que utilitzarem

Els metalls pesants que seran objecte del nostre estudi són el zinc, el níquel, el coure i el plom. A continuació exposem les raons per les quals hem elegits aquests metalls.

D'una banda, sabem que el **plom** és un metall pesant altament tòxic que està força present a la comarca d'Osona, sobretot com a additiu per a gasolines i en municions per a la caça. A més, sabem que el plom s'emmagatzema principalment a les arrels de les plantes (Kabata – Pendias, 2000). Per això, esperem observar efectes més significatius a les arrels, i en conseqüència, a tota la planta.

D'altra banda, el **coure** és un element essencial per les plantes i també intervé en el procés fotosintètic. És present en alguns dels pesticides més utilitzats en l'horticultura. Sabem que les plantes poden assimilar altes concentracions de coure encara que aquest es trobi sota condicions de toxicitat, reduint els danys potencials sobre la planta (Welch, 1995). Amb aquesta pràctica experimental ens proposem esbrinar si realment les plantes poden assimilar nivells extraordinaris de Cu.

També utilitzarem el **níquel** perquè és molt abundant a l'escorça terrestre i a més és un element essencial pel metabolisme de les plantes (Mahler, 2003). Els purins, molt presents als sòls d'Osona, poden contenir metalls com el zinc i el níquel, provinents dels pinsos que han consumit els porcs (Fortià, R., 1993). El níquel sol acumular-se a les fulles de les plantes (Halstead *et al.*, 1969) així que en finalitzar la pràctica, esperem observar efectes més significatius a les fulles que a les arrels. Tot i així, creiem que aquest metall pesant no causarà efectes molt negatius a les plantes ja que és considerat un oligoelement.

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

Per últim, utilitzarem el **zinc**, que també és un element essencial per les plantes i, per tant, esperem que no sigui molt tòxic. A diferència del níquel, aquest se sol acumular més a l'arrel, tot i que si es troba en excés es pot acumular a la capa superior de les fulles (Terry *et al.*, 2000), per tant, esperem observar més efectes a les arrels, i en conseqüència, a tota la planta.

3.2. PRÀCTICA

Com afecta la contaminació per metalls pesants a la germinació i el creixement de les llavors?

Introducció

Després d'adquirir tots aquests coneixements, realitzarem un estudi experimental per esbrinar com afecten els metalls pesants a la germinació i el creixement de les plantes. Els metalls pesants que utilitzarem estaran en solucions de CuSO_4 , ZnSO_4 , NiSO_4 i $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, que solen ser les formes més habituals d'utilització d'aquests metalls per l'experimentació, ja que són solubles en aigua. Hem decidit fer aquest experiment amb plantes perquè són la base de la cadena alimentària i la intoxicació per metalls pesants d'aquestes pot provocar posteriorment la intoxicació directa o indirecta d'altres espècies animals (bioacumulació). També ho hem decidit així perquè és més fàcil obtenir resultats significatius amb espècies vegetals que no pas amb espècies animals. Les plantes que utilitzarem són el blat i el colza. Hem triat aquestes espècies, entre altres coses, perquè van ser les més conreades l'any 2009 a la comarca d'Osona i ens ha semblat adequat interpretar els resultats amb les conseqüències que es podrien donar a la nostra comarca. A més, el blat té l'arrel fasciculada i el colze axonomorfa, fet que ens permetrà veure si hi ha diferències en l'absorció del contaminant segons el tipus d'arrel que presenta la planta.

Objectius

- Observar com afecten els metalls pesants a diferents concentracions a la germinació i al creixement de les plantes.

Hipòtesis

- **Quin metall pesant és més tòxic per les plantes?** Creiem que el plom serà el metall pesant més tòxic per a les plantes i esperem trobar els nivells mínims de germinació i creixement en els medis amb plom.
- **Les plantes poden assimilar nivells extraordinaris de Cu?** Segons (Welch, 2002), sabem que les plantes poden assimilar altes

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

concentracions de coure encara que aquest es trobi sota condicions de toxicitat, reduint així els danys potencials sobre la planta.

- Quina planta és més tolerant als metalls pesants, el blat o el colza? Creiem que el blat serà més tolerant perquè la seva llavor conté més nutrients que el colza, per tant creiem que la seva germinació no es veurà tant afectada per la presència de metalls pesants al medi.
- A partir de quina concentració el metall pesant causa efectes sobre la germinació i el creixement de les plantes? A més concentració de metall pesant més efectes negatius tindrà sobre les llavors. Per tant, esperem obtenir els valors mínims de germinació i creixement en els medis més contaminats.
- Hi ha algun metall pesant que resulti beneficiós per la germinació i el creixement de les plantes? Sabem que el coure, el zinc i el níquel són oligoelements essencials per les plantes. Creiem que pel fet de ser oligoelements, en algunes concentracions afavoriran la germinació i el creixement de les plantes.
- En presència de níquel observem efectes més significatius a es fulles que a les arrels de les plantes? En níquel sol acumular-se a les fulles de les plantes, per això creiem que observarem efectes més significatius a les fulles que a les arrels de les plantes.
- El tipus d'arrel (fasciculada o axonomorfa) influeix en la germinació i el creixement de les plantes? Creiem que les plantes amb arrel fasciculada capten amb més facilitat el contaminant i per tant, el creixement del blat (que té arrel fasciculada) es pot veure més afectat si es troba en presència de metalls pesants.

Variables

Dependents:

- Creixement de l'arrel i la fulla en el blat.
- Creixement de l'arrel i la tija en el colze.
- Germinació de les llavors de blat i de colza.

Independents:

- Espècies utilitzades: el blat (monocotiledònia) i el colze (dicotiledònia).
- Els metalls pesants utilitzats: Pb, Ni, Cu i Zn.
- Les concentracions de cada metall: 0,0625, 0,125, 0,250 i 0,5g/l.

Material

Per les dissolucions:

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

- Aigua destil·lada
- Matràs aforat
- Un pot d'un litre de capacitat
- Vidre de rellotge
- Balança elèctrica
- Espàtula
- Vareta de vidre
- Proveta
- Matràs erlenmeyer de 250ml
- Embut
- Tap de goma
- Compta gotes
- Flasco rentador
- Solució de CuSO_4
- Solució de ZnSO_4
- Solució de NiSO_4
- Solució de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

Per la germinació i el creixement:

- 34 capsas de petri
- Cotó
- Proveta petita
- Embut
- Compta gotes
- Dissolució de CuSO_4
- Dissolució de ZnSO_4
- Dissolució de NiSO_4
- Dissolució de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$
- Aigua destil·lada
- 1700 llavors de blat
- 1700 llavors de colza

Procediment

a) Preparació de les dissolucions

1. Mesurarem 1L d'aigua destil·lada en un matràs aforat i l'abocarem a un pot d'un litre de capacitat.
2. Mesurarem 0,500g d'un dels metalls pesants. Els metalls pesants que utilitzarem estan en solucions de CuSO_4 , ZnSO_4 , NiSO_4 i $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.
3. Introduïrem els 0,500g de metall pesant al pot que conté aigua destil·lada i el diluïrem.
4. Per la concentració de 0,500g/l, calcularem 250ml de la dissolució i ho introduïrem en un matràs erlenmeyer, afegirem les últimes gotes amb un compta gotes i taparem la dissolució perquè s'evapori el mínim possible.
5. Per la concentració de 0,250g/l, calcularem 125ml de la dissolució del pot d'un litre i ho introduïrem en un matràs erlenmeyer. Després hi afegirem aigua destil·lada fins arribar als 250ml i taparem la dissolució.
6. Per la concentració de 0,125g/l calcularem 62,5ml de la dissolució 0,500g/l del pot d'un litre de capacitat i per la concentració de 0,0625g/l calcularem 31,25ml, les introduïrem als matrassos erlenmeyer i hi abocarem aigua destil·lada fins arribar als 250ml i les taparem.

Farem el mateix procediment per tots els metalls.



Il·lustració 18. Mostra de les dissolucions de CuSO_4 fetes al laboratori

b) Per la germinació i el creixement de les llavors

1. Agafem 5 capsas de petri i les omplim de cotó fins que sobresurti.
2. Abocarem 30ml de cada dissolució (0,5g/l, 0,25g/l, 0,125g/l i 0,0625g/l) d'un metall pesant a les capsas de petri -una per capsas-.
3. A la capsa de petri restant hi abocarem 30ml d'aigua destil·lada. Aquest serà el control.
4. Sembrarem 100 llavors de blat a cada capsa.
5. Finalment, taparem les capsas de petri perquè les dissolucions s'evaporin el mínim possible i esperarem una setmana a que creixin, mantenint totes les altres variables iguals (quantitat de llum, temperatura, humitat, etc...) i regant-les sempre que convingui.

Repetirem el procediment amb els tres metalls pesants restants i tot seguit amb el colza.

Quan les llavors hagin crescut, contarem les llavors que no han germinat en cada capsa de petri per saber els efectes que han tingut els metalls pesants en la germinació de les llavors. Després mesurarem l'arrel més llarga i la fulla de cada llavor de blat i l'arrel i la tija de les llavors de colza per observar el efectes en el creixement. ([taules de resultats del creixement a l'annex H](#))

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes



Il·lustració 19. Imatge del procediment una cop acabat (abans d'obtindre els resultats).

En un principi, havíem triat un mètode experimental diferent per observar els efectes en el creixement de les plantes però no ens va funcionar i el vam haver de canviar. Primer vam fer créixer llavors de blat i de colza sense presència de contaminants en dos recipients per separat (**il·lustració 20**). Una vegada crescudes les llavors, vam mesurar les arrels i les fulles de 5 plantes de blat i les arrels i les tiges de 5 plantes de colza. Seguidament, vam omplir 2 tubs d'assaig amb aigua destil·lada i vam introduir una planta de blat a un tub i una de colza a l'altre. Després vam omplir 8 tubs d'assaig amb les diferents concentracions (4 pel blat i 4 pel colza) i vam introduir les plantes (**il·lustració 21**).



Il·lustració 20. A l'esquerra llavors de colza ja crescudes i a la dreta les de blat.



Il·lustració 21. Tubs d'assaig amb les plantes de blat i de colza a diferents concentracions.

Aquests mètode però, no ens va funcionar perquè en el moment en que les arrels tocaven la dissolució de metall es morien i no obteníem resultats.

Resultats

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

No vam poder mesurar el creixement de les llavors de blat i de colza a la vegada i això ens ha portat alguns resultats poc coherents. Va ser així però, perquè s'havia de calcular l'arrel, la tija i la fulla de 3400 llavors i resultava impossible fer-ho en pocs dies. A més, la falta de temps degut a exàmens i treballs escolars va fer que passessin algunes setmanes fins que es van poder calcular totes les llavors. Per això, les llavors que es van mesurar més tard han tingut més temps per créixer i en els resultats numèrics de les taules següents cal tenir present aquest fet. Les llavors que es van mesurar més tard van ser: $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 0,0625g/l, 0,125g/l, 0,25g/l i 0,5g/l; NiSO_4 0,0625g/l, 0,125g/l, 0,25g/l i 0,5g/l; CuSO_4 0,25g/l i 0,5g/l.

Taula 2. Percentatge(%) de llavors no germinades de blat i de colza

		ZINC	COURE	NÍQUEL	PLOM
0,0625g/l	BLAT	41	36	28	27
	COLZA	30	29	12	26
0,125g/l	BLAT	21	18	10	23
	COLZA	16	27	13	21
0,25g/l	BLAT	37	6	18	34
	COLZA	16	47	10	19
0,5g/l	BLAT	29	13	8	24
	COLZA	25	59	16	59
CONTROL	BLAT	30	30	30	30
	COLZA	9	9	9	9

Taula 3. Nombre de llavors de blat i de colza mortes un cop germinades, després d'entrar en contacte amb el metall pesant

		ZINC	COURE	NÍQUEL	PLOM
0,0625g/l	BLAT	8	2	6	0
	COLZA	5	1	0	0
0,125g/l	BLAT	2	3	7	4
	COLZA	0	5	0	1
0,25g/l	BLAT	3	10	6	6
	COLZA	6	0	0	1
0,5g/l	BLAT	3	8	10	12
	COLZA	15	34	4	1

Taula 4. Mitjanes (en cm) del creixement de les fulles i les arrels de les llavors de blat

B	L	A	T		
		ZINC	COURE	NÍQUEL	PLOM

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

0,0625g/l	FULLA	6,14	1,92	8,94	11,44
	ARREL	4,7	1,95	3,17	4,84
0,125g/l	FULLA	6,8	1,57	10,55	13,79
	ARREL	5,1	1,46	3,68	6,71
0,25g/l	FULLA	5,76	6,44	5,63	10,86
	ARREL	4,43	1,64	1,54	4,17
0,5g/l	FULLA	4,18	4,57	3,99	12,35
	ARREL	1,98	1,1	1,26	6,88
CONTROL	FULLA	4,89	4,89	4,89	4,89
	ARREL	5,41	5,41	5,41	5,41

Taula 5. Mitjanes (en cm) del creixement de les arrels i les tiges de les llavors de colza

C	O	L	Z	A	
		ZINC	COURE	NÍQUEL	PLOM
0,0625g/l	TIJA	1,84	3,08	3,72	4,54
	ARREL	1,52	1,59	2,21	0,94
0,125g/l	TIJA	3,05	1,68	2,25	3,15
	ARREL	2,26	0,64	1,29	1,84
0,25g/l	TIJA	2,68	1,91	1,82	3,5
	ARREL	2	0,86	0,62	2,05
0,5g/l	TIJA	2,26	1,41	1,23	3,61
	ARREL	1,25	0,71	0,37	2,89
CONTROL	TIJA	3,8	3,8	3,8	3,8
	ARREL	1,94	1,94	1,94	1,94

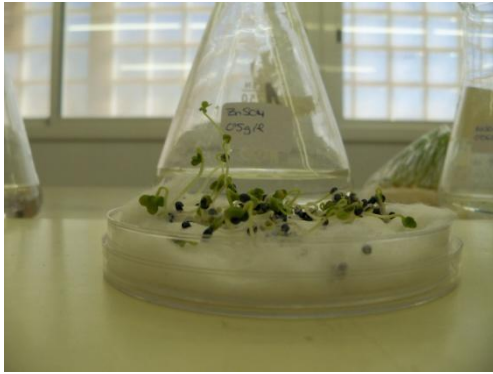
El metall pesant que ha resultat ser més tòxic per les plantes ha estat el coure. Respecte la germinació, el zinc ha resultat ser el més perjudicial pel blat, mentre que els altres metalls han disminuït el nombre de llavors no germinades en comparació amb el control. La germinació del colza s'ha vist més afectada amb el coure tot i que els altres contaminants també han disminuït molt el nombre de llavors germinades.

Segons els nostres resultats, no en tots els casos els efectes en la germinació i el creixement de les plantes han augmentat a mesura que augmentava la concentració. Un clar exemple seria amb el plom, on el colza ha crescut més amb la concentració 0,5g/l que amb concentracions més baixes.

ZINC

Amb el zinc com a contaminant hem observat que el colza ha patit més efectes

negatiu que el blat.



Il·lustració 22. Colza: zinc 0,5g/l



Il·lustració 23. Blat: zinc 0,5g/l

Amb el blat podem veure que les concentracions 0,0625g/l i 0,125g/l han afavorit al creixement de la fulla (control:4,89cm de fulla i 5,41cm d'arrel; 0,0625g/l:6,14cm de fulla i 4,7cm d'arrel; 0,125g/l:6,8cm de fulla i 5,1cm d'arrel) i amb les altres concentracions ha anat disminuint el creixement. Amb la germinació els resultats han sigut força aleatoris (a algunes concentracions han germinat més llavors de blat respecte el control i a unes altres menys).

Amb el colza, a partir de la concentració 0,0625g/l ja es poden notar les diferències respecte el control. Les tiges i les arrels eren molt curtes però les plantes presentaven bon aspecte i bon color. La concentració que més ha afectat negativament al creixement de la tija ha estat la de 0,0625g/l (ha crescut 1,84cm respecte el control que mesurava 3,8cm) i la que ha afectat més negativament a l'arrel ha sigut la de 0,5g/l (ha crescut 1,25cm respecte el control que mesurava 1,94cm). Amb la concentració 0,5g/l, 15 arrels han mort a l'entrar en contacte amb la dissolució de metall. En general, han germinat menys llavors en totes les concentracions respecte el control.

COURE

Amb el coure com a contaminant hem observat efectes molt negatius en les dues espècies de plantes i ha sigut el metall pesant que més efectes perniciosos ha tingut sobre el creixement del blat i del colza. El blat ha patit efectes en el creixement des de la primera concentració de metall i la mesura de les fulles i les arrels ha anat disminuint molt respecte el control (entre 3 i 4cm menys). Les llavors de les concentracions 0,25g/l i 0,5g/l han crescut més però cal tenir en compte que les vam mesurar més tard. Les arrels estaven molt ramificades tot i que el coure presenta una arrel axonomorfa. Eren totes molt curtes i no estaven arrelades al cotó, a més presentaven a la punta un color marró fosc amb aspecte de cremat. Amb la concentració 0,25g/l, 10 arrels han mort a l'entrar en contacte amb el contaminant. Tot hi els efectes negatius en el creixement, han germinat més llavors en les concentracions 0,125g/l, 0,25g/l i 0,5g/l respecte el control.



Il·lustració 24. Zinc: coure 0,5g/l

Amb el colza, els efectes del contaminant s'han pogut apreciar des de la primera concentració, tot i que els efectes han sigut més significatius a partir de la concentració 0,125g/l. La majoria de les arrels germinades no tenien una arrel principal sinó que sortien de la base de la tija un feix d'arrels adventícies. En la concentració 0,5g/l, 34 arrels han mort a l'entrar en contacte amb el contaminant. Respecte la germinació, a mesura que augmentava la concentració de coure germinaven moltes menys llavors en comparació amb el control (en la concentració de 0,5g/l només ha germinat el 41% de les llavors).

NÍQUEL

Amb el níquel com a contaminant hem observat efectes significatius des de la primera concentració. En comparació amb el control, les fulles del blat presenten longituds importants en presència de níquel, segurament perquè les vam mesurar més tard, però també es pot observar que el creixement de l'arrel es veu afectat negativament per la presència d'aquest metall. La concentració amb la que ha crescut més ha sigut amb la de 0,125g/l que ha adquirit una longitud de 10,55cm de fulla i 3,68cm d'arrel (el control ha crescut 4,89cm i 5,41cm respectivament), tot i que les mesures no són significatives ja que es van mesurar més tard que el control. En general, a mesura que augmentava la concentració de metall augmentaven també els efectes negatius sobre el creixement de l'arrel. Amb la concentració 0,5g/l, 10 arrels han mort en entrar en contacte amb el contaminant i una peculiaritat és que moltes de les arrels que no han mort no estaven arrelades dins el cotó. Respecte la germinació, a mesura que augmentava la concentració disminuïa el nombre de llavors germinades.

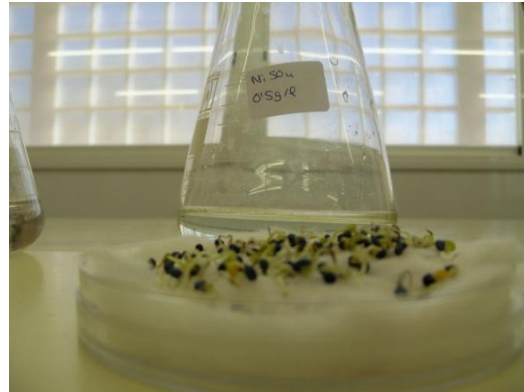
En el colze ja es poden observar efectes negatius en el creixement des de la concentració 0,125g/l. En la primera concentració (0'062 g/l), les plantes presentaven bon aspecte però a partir de la concentració 0,125g/l les arrels ja no estaven arrelades dins el cotó, les tiges i les arrels estaven molt cargolades i fràgils (es trencaven amb facilitat), tenien mal aspecte, amb un color groc/verd molt pàl·lid i més clar de l'habitual i a més, la majoria de les arrels presentaven un color marró fosc a la punta amb aspecte de cremat. En la germinació, en

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

canvi, hi ha hagut més llavors germinades en totes les concentracions en comparació amb el control.



Il·lustració 25. Colza: níquel 0,0625g/l



Il·lustració 26. Colza: níquel 0,05g/l

PLOM

Amb el plom ens hem trobat amb moltes irregularitats. El principal problema ha sigut que vam mesurar el creixement del blat en els medis amb plom més tard que el control. El que vam observar però, és que la concentració 0,125g/l de blat va créixer molt més que les altres - fins i tot més que el control -.



Il·lustració 27. Blat: plom 0,125g/l



Il·lustració 28. Blat: plom 0,5g/l

La concentració que va afectar més negativament al creixement del blat va ser la de 0,25g/l però no amb grans diferències respecte la de 0,0625g/l i 0,5g/l. En general, els efectes no han resultat més perniciosos a mesura que augmentava la concentració de plom al medi. Amb la concentració 0,5g/l, 12 llavors han mort després de germinar i el nombre de llavors germinades a diferents concentracions ha estat semblant al del control.

Amb el colza els efectes negatius no van augmentar a mesura que augmentava la concentració sinó que va passar tot el contrari, a partir de la concentració 0,125g/l a mesura que augmentava la concentració també augmentava una mica

el creixement. La concentració que ha causat efectes més negatius sobre el creixement de l'arrel ha sigut la de 0,0625g/l i la concentració 0,125g/l ha causat efectes més negatius sobre la tija, en comparació amb el control. En canvi, en la germinació si que s'han observat efectes negatius a mesura que augmentava la concentració (en la concentració 0,5g/l només ha germinat el 41% de les llavors).

Conclusions

Els experiments comparatius i simultanis realitzats amb el blat i el colza en presència de metalls pesants al medi, em permeten respondre a les preguntes plantejades durant la investigació i contrastar les hipòtesis formulades inicialment.

Pel que fa a la pregunta:

- [Quin metall pesant és més tòxic per les plantes?](#)

Plantejàvem la hipòtesi de que el plom seria el metall pesant més tòxic per les plantes i afectaria d'una manera més negativa a la germinació i el creixement de les llavors.

Amb l'experiment realitzat hem pogut comprovar que el coure ha resultat ser el metall pesant més tòxic i perjudicial per les plantes, i no el plom com esperàvem. Aquests resultats m'han sorprès molt perquè plom és un metall pesant altament tòxic per les plantes i els seus efectes haurien ser molt greus. S'hauria de tornar a repetir el procediment per analitzar els resultats de nou ja que les conclusions no són coherents amb a naturalesa dels contaminants.

Contràriament a la pregunta:

- [Les plantes poden assimilar nivells extraordinaris de coure?](#)

Segons (Welch, 2002) les plantes poden assimilar altes concentracions de coure encara que aquest es trobi sota condicions de toxicitat, reduint així els danys potencials sobre la planta.

Amb l'experiment realitzat ha quedat rebutjada aquesta teoria ja que el coure ha estat el metall pesant que més efectes perniciosos a causat sobre el creixement de les plantes.

No podem donar una explicació dels resultats obtinguts ja que no rebutgem una hipòtesi sinó una teoria. Hauríem de tornar a repetir el procediment afegint concentracions més baixes per veure si s'ha vist implicada alguna altra variable o si les concentracions eren massa altes.

En quant a la pregunta:

- Quina planta és més tolerant als metalls pesants, el blat o el colza?

Plantejàvem la hipòtesi de que el blat seria més tolerant als metalls pesants perquè la seva llavor conté més nutrients que el colza i per tant, la germinació no es veuria tan afectada per la presència de metalls pesants al medi.

Amb l'experiment realitzat hem pogut comprovar que la hipòtesi era correcta. També hem de tenir en compte però, que el colza necessita un període de creixement més llarg i sense presència de contaminants té una longitud mitjana més petita que el blat.

Pel que fa a la pregunta:

- A partir de quina concentració el metall pesant causa efectes sobre la germinació i el creixement de les plantes?

Plantejàvem la hipòtesi de que a més concentració de metall pesant més efectes negatius tindria sobre les llavors. Per tant, esperàvem obtenir els valors mínims de germinació i creixement en medis més contaminats.

Amb l'experiment realitzat hem comprovat que no en tots els casos els efectes en la germinació i el creixement de les plantes augmentaven a mesura que augmentava la concentració de metall. També hem vist que els metalls pesants no causen els mateixos efectes a la germinació i el creixement de les plantes quan es troben a una concentració determinada, i que segons l'espècie vegetal, poden resultar beneficiosos o perjudicials.

A la pregunta:

- Hi ha algun metall pesant que resulti beneficiós per la germinació i el creixement de les plantes?

Plantejàvem la hipòtesi de que el coure, el zinc i el níquel, al ser oligoelements essencials per les plantes, en algunes concentracions afavoriran la germinació i el creixement de les plantes.

Amb l'experiment realitzat es pot arribar a la conclusió de que el coure no afavoreixen la germinació i el creixement de les plantes quan es troba en concentracions superiors a 0,0625g/l. El níquel tampoc afavoreix el creixement de les plantes però si la germinació i per últim, el zinc actua com a estimulador pel creixement del blat quan es troba a concentracions inferiors a 0,25g/l però no afavoreix la germinació de les plantes.

Contaminació dels sòls per metalls pesants i efectes en la germinació i el creixement de les plantes

Per conta hem vist que el plom, tot i no ser un element essencial pel metabolisme de les plantes, resulta beneficiós pel creixement del blat quan es troba a una concentració de 0,125g/l. Hauríem de tornar a repetir el procediment per analitzar els resultats de nou ja que les conclusions no són coherents amb la naturalesa dels contaminants ni amb el que hem trobat a la bibliografia.

En quant a la pregunta:

- En presència de níquel observem efectes més significatius a es fulles que a les arrels de les plantes?

Plantejàvem la hipòtesi de que el níquel sol acumular-se a les fulles de les plantes i per això esperàvem observar efectes més significatius a les fulles que a les arrels.

Amb l'experiment realitzat hem pogut comprovar que, tot i que el metall pesant sol acumular-se a les fulles, no s'observen efectes més significatius a aquesta part de la planta. Podria ser que els mecanismes de tolerància de la fulla reduïssin aquests efectes. Per comprovar-ho, hauríem de fer un estudi intern sobre l'absorció del níquel a la planta.

Per últim, pel que fa a la pregunta:

- El tipus d'arrel (fasciculada o axonomorfa) influeix en la germinació i el creixement de les plantes?

Plantejàvem la hipòtesi de que les plantes amb arrel fasciculada capten amb més facilitat el contaminant i per tant, el creixement del blat (que té arrel fasciculada) es pot veure més afectat si es troba en presència de metalls pesants.

Amb l'experiment realitzat no hem pogut comprovar si el tipus d'arrel influeix en el creixement de les plantes perquè el mètode experimental no era l'adequat. Si ho volguéssim esbrinar, hauríem de fer créixer les llavors de blat i de colza en un medi sorrenc estratificat amb presència de metalls pesants a cada estrat, per comprovar quin tipus d'arrel arriba més lluny i per tant, capta més quantitat de metall pesant. També hauríem d'utilitzar diferents espècies, per veure si hi ha més diferències entre espècies o entre els grups monocotiledònies i dicotiledònies

4.CONCLUSIONS

4. CONCLUSIONS

Els purins contenen níquel i zinc provinent dels pinsos del porc. Segons els resultats obtinguts en l' investigació, el níquel i el zinc poden afectar de manera negativa a la germinació i el creixement de les plantes, per tant, si aquesta contaminació s'estengués al llarg d'un territori, la fertilitat dels sòls es podria veure disminuïda.

El coure és molt utilitzat en pesticides per l'horticultura i hem vist que aquest metall pesant és especialment contaminant, per tant, la fertilitat dels horts d'Osona es podria veure molt afectada si es fes un ús excessiu de pesticides.

El plom, en canvi, no és tan preocupant com els altres metalls ja que el seu ús s'ha vist molt disminuït gràcies a la conscienciació dels governants de que és un metall pesant altament tòxic i perjudicial. El plom ja no es pot adquirir a les benzineres d'Osona i tampoc s'utilitza com a munició per la caça per tant, a la llarga aquest contaminant hauria d'anar a la baixa.

Si com hem vist a la bibliografia, els metalls pesants es bioacumulen al llarg de la xarxa tròfica, el consum de plantes amb presència de metalls pesants al seu interior faria que també consumíssim aquests metalls pesants i els acumuléssim al nostre organisme i la nostra salut se'n podria veure perjudicada.

Una manera d'evitar la contaminació dels sòls per metalls pesants i la posterior bioacumulació a l'ecosistema, seria utilitzar un procés de gestió adequat al territori per tal d'evitar la contaminació per metalls pesants, fer ús de mètodes de recuperació dels sòls una vegada han estat contaminats, sensibilització i educació de la població per tal d'evitar l'ús excessiu de purins, pesticides i altres productes que continguin metalls pesants i promoure l'ús de productes menys contaminants.

Actualment hi ha molts científics i organitzacions que alerten dels perills d'aquesta acumulació de contaminants al cos (Salomone, M, 2010; www.greenpeace.org, 2010)

5.LLISTA DE REFERÈNCIES

5. LLISTA DE REFERÈNCIES

LLIBRES

Cruz, Marta; Alcalá, Guzmán. *La contaminación de los suelos y aguas. Su prevención con nuevas sustancias naturales*. Sevilla. Universidad de Sevilla, 2007

La Vola- Equip d'educació ambiental. *Deixalles i reciclatge. Residus i recursos, el paper i el vidre*. Barcelona. Eumo editorial. 12-14

La Vola- Equip d'educació ambiental. *Deixalles i reciclatge. La matèria orgànica, els plàstics i els metalls*. Barcelona. Eumo editorial. 14-15

Ministeri de medi ambient. *Perfil Ambiental de España 2005, informe basado en indicadores*. Barcelona. Xarxa de biblioteques municipals

Seoánez Calvo, Mariano. *Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión*. Barcelona. Mundi-Prensa. 1998

TESIS

Baucells Colomer, Jordi. *Manual tècnic comparatiu dels sistemes de tractament de purins*. Fundació agrícola catalana, 2006

Cerón, J.C; Borrego, J; Morales, J.A. *Sobre la contaminación de las aguas de estuario de los ríos Tinto y Odiel*. Departamento de Geología. Universidad de Huelva. Huelva, 2009

García Vargas, Diana. *Efectos fisiológicos i compartimentación radicular en plantas de Zea mays l, expuestas a la toxicidad por plomo*. Departamento de biología animal, biología vegetal i ecología. Barcelona. Universitat autònoma de Barcelona, 2006

Galan y Romero, Macla. *Contaminación de los suelos por metales pesados*, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Apartado 553. Universidad de Sevilla. Sevilla, 2008, 48-60

J.P. Navarro-Aviñó, I. Aguilar Alonso, J.R. López-Moya. *Aspectos bioquímicos i genéticos de la tolerancia i acumulación de metales pesados en las plantas*.

Departamento de biología vegetal. Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera. 46022, Valencia. Ecosistemas 16 (2): 10-25, Mayo 2007

Rodríguez, Juan Manuel. Fisiología vegetal, fisiología de las plantas en suelos ácidos. Comunidades de divulgación científico-técnica. elergonomista.com, 2002.

Prieto Méndez, Judith;González Ramírez, César A.;Román Gutiérrez, Alma D.;Prieto García, Francisco. *Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua*. Tropical and Subtropical Agroecosystems, Vol. 10, Núm. 1. México. Universidad Autónoma de Yucatán, 2009

Solis Dufflocq, Luis Eduardo. *Criterios de calidad de suelo agrícola, absorción i translocacion de metales pesados en las plantas*. División de Protección de los Recursos Naturales Renovables del SAG. Chile. Universidad de Chile, 2005

ARTICLES

Bermeto Turchi, Anna. *Contaminación por metales pesados y sus efectos en la salud*. Articuloz.com (20-11-2009)

e-sevilla.org. *Fugas de cesio radioactivo a rio tinto por el accidente de Acerinox* <http://www.e-sevilla.org/index.php?name=News&file=article&sid=1734> (18-10-2007)

Eroski consumer. *Metales pesados, toda una amenaza*. Fundación Eroski. <http://revista.consumer.es/web/es/20010301/medioambiente/27009.php> (7-09-2010)

Fortià, R. (coord.). *El Medi natural a les comarques gironines: l'estat de la qüestió*. Diputació de Girona. Girona, 1993

Saomone, M. *Este pez tiene mercurio (y usted)*. elpaís.com (19-12-2010)

PÀGINES WEB

Agricultura d'Osona. <http://www.idescat.cat/territ/BasicTerr?TC=5&V0=2&V3=329&V4=133&ALLINF O=TRUE&PARENT=100&V1=24>(17-12-2010)

Alergia al níquel ¿Alergia a los euros?. <http://www.lacasadelalergico.com> (22-08-2010)

Accidente de ACERINOX. http://es.wikipedia.org/wiki/Accidente_de_Acerinox (15-08-2010)

Baucells, Jordi. *Mapa agrícola d'Osona*.
http://www.biodiversitat.cat/Fitxes_espais_agricoles/Mapa_agricola_dOsona.htm (12-12-2010)

Ciencias de la vida, cambios en los seres vivos.
<http://www.kalipedia.com/ciencias-vida/t...> (13-08-2010)

Eliminación de contaminantes para las plantas.
<http://html.rincondelvago.com/eliminacion-de-contaminantes-para-las-plantas.html> (25-08-2010)

Efectos de los contaminantes atmosféricos.
<http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf6d.html> (3-09-2010)

Greenpeace España. *Puntos negros*.
<http://www.greenpeace.org/espana/contaminacion/contaminacion-en-espana/1-2-efectos-de-la-contaminacion> (20-08-2010)

Greenpeace. www.greenpeace.org/espacia/es/Trabajamos-en/Parar-la-contaminacion/ (20-12-2010)

Los metales pesados son la causa.
<http://boards2.melodysoft.com/wwwmediavenezuela.venezuelapositiva/los-metales-pesados-son-la-causa-484.html> (9-09-2010)

Procés de gestió dels sòls contaminats a Catalunya.
<http://www20.gencat.cat/portal/site/arc/menuitem/> (18-08-2010)

Taula periòdica. <http://www.lenntech.es/periodica/tabla-periodica.htm> (28-7-2010)

Una extraña alergia al euro
http://www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota_id=432108 (22-08-2010)