

6. Gaia: GARRARIO IONIKO ZELULARRA. IOIEN XURGAPENA ETA GARRAIOA LANDAREAN

1-Elikagaien mugimendua. Orokortasunak

Badakigunez, urak sustrai zelulen mintz plasmatikoa difusioz zeharka dezake, baina ioien kasuan hori ezinezkoa da partikula kargatuak direlako. Hori dela eta, landare zelulen gune espezifiketatik soilik garraiatuko dira. Normalean, karga eta kontzentrazio gradientearen (gradiente elektrokimikoa deritzona) kontra garraiatuko dira ioiak, beraz energetikoki kostu handia suposatzen dute prozesu horiek.

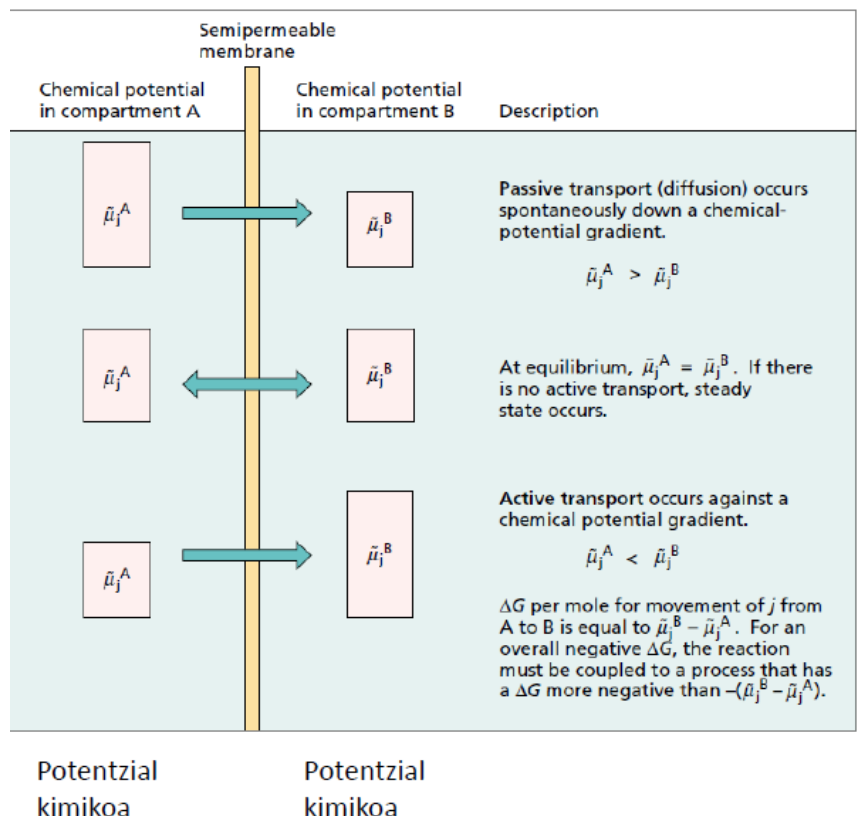
Lurzorutik sustraietarako ioien garraioa distantzia laburrekoa dela kontsideratzen da, baina landare ertain eta handietan distantzia luzeko garraioa ere eman behar da xilemaren bitartez.

2-Potentzial kimikoa; Nerst-en ekuazioa

Potentzial kimikoaren definizioa: Partikula baten gain eragin dezaketen indar desberdinen multzoa, partikula horren mugimendua baldintzatzen dutenak. Potentzial kimikoa baldintzatzen duten faktoreak (landarean) honakoak dira: kontzentrazioa, karga eta presio hidrostatikoa (Karga dutenez potentzial elektrokimikoaz hitz egin behar da).

Irudi honetan, bi medio desberdin mintz erdi-iragazkor baten bitartez bananduta daude, hiru kasu desberdin daudelarik.

1. Kasua: A konpartimendua kontzentratuago dago B konpartimendua baino. Beraz, partikulek B konpartimendura mugitzeko joera izango dute eta kasu honetan, garraioa noranzko horretan ematen dela ikus dezakegu. Ondorioz, partikulen garraio pasiboa emango da A konpartimendutik B konpartimendura garraio elektrokimikoa jarraituz, inolako energia gasturik gabe



1. irudia: Potentzial elektrokimikoaren (μ) arabera, mintz erdi-iragazkor batean zehar ematen diren partikulen mugimendu ezberdinak.

2. Kasua: A eta B konpartimenduen kontzentrazioak berdinak direnez, ez dago gradiente elektrokimikorik, partikulak orekan dauden bi noranzkoetarako mugimenduak berdina izanik. Ez da garraio aktiborik emango eta ondorioz, ez da energia gasturik egongo.

3. Kasua: B konpartimendua kontzentratuago dago A konpartimendua baino, beraz partikulek B konpartimendutik A konpartimendura mugitzeko joera izango dute, baina ikus daitekeenez alderantzizko mugimendua ematen da garraio aktiboari esker, energia gastua suposatuz.

- **Nerst-en ekuazioa:**

Nerst-en ekuazioaren bitartez jakin dezakegu landarearen konpartimendu baten kontzentrazioa suposatuz orekan dagoela kontzentrazio ezaguneko beste konpartimendu batekin.

$$E = \frac{RT}{zF} \cdot \ln \frac{C_i}{C_e}$$

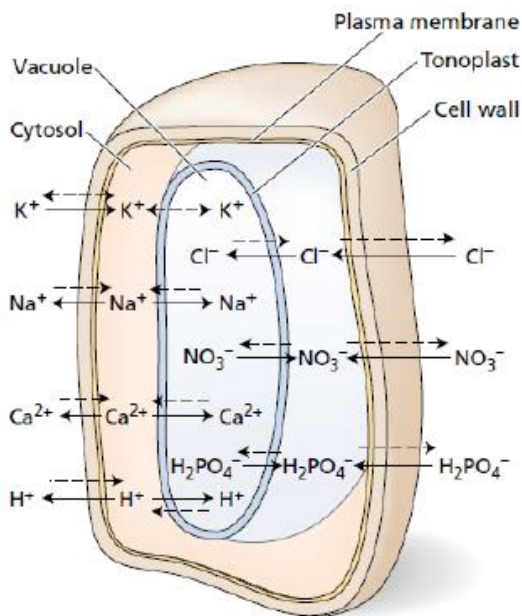
- Donde E es el potencial eléctrico en mV
- z es la valencia con su signo
- F constante de Faraday: $96485 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$
- R constante universal de los gases: $8,3143 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- C_e y C_i concentraciones externa e interna ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)

Oreka: potentzial elektrokimikoa 1 konpartimenduan = potentzial elektrokimikoa 2 konpartimenduan.

2. irudia: Nerst-en ekuazioa eta parametroen azalpena.

TABLE 6.1 Comparison of observed and predicted ion concentrations in pea root tissue			
Ion	Concentration in external medium (mmol L^{-1})	Internal concentration (mmol L^{-1})	
		Predicted	Observed
K^+	1	74	75
Na^+	1	74	8
Mg^{2+}	0.25	1340	3
Ca^{2+}	1	5360	2
NO_3^-	2	0.0272	28
Cl^-	1	0.0136	7
H_2PO_4^-	1	0.0136	21
SO_4^{2-}	0.25	0.00005	19

1. taula: Esperotako eta behatutako ioien kontzentrazioen konparaketa sustrai ehunetan.



3. irudia: Landare zelula baten mintz plasmatikoko eta tonoplastoko kanal, garraiatzaile eta ponpak.

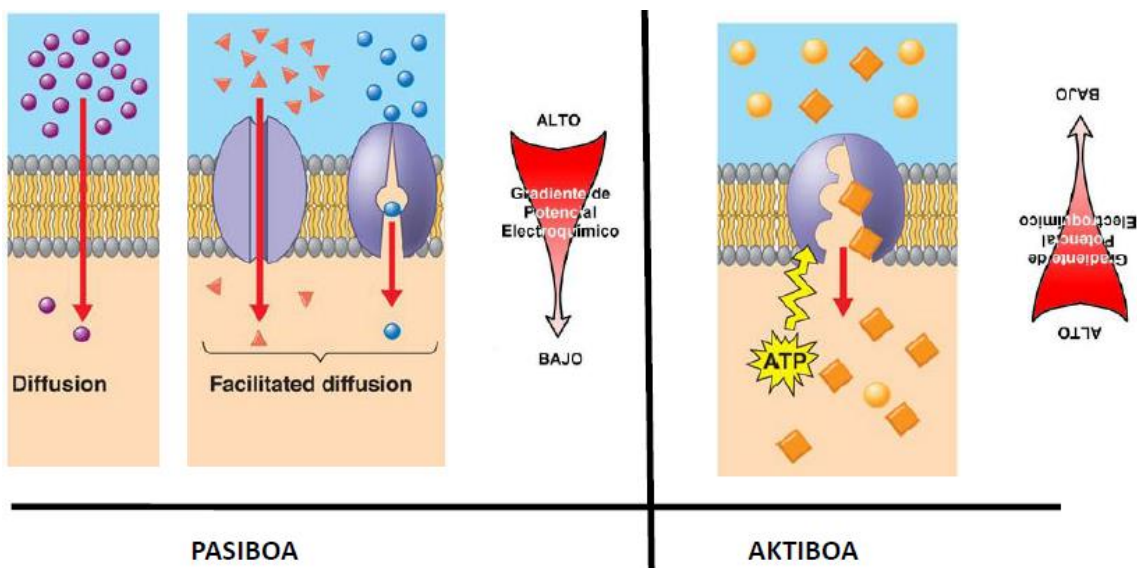
loi negatiboen kasuan esperotakoak baino kontzentrazio handiagoak behatu dira, hau zeluletan garraio aktiboa ematen delako da substantzia hauek barneratzeko.

Positiboen kasuan kontzentrazio gradientearen alde sartzen dira, baina gero garraio aktiboz kanporatzen dira.

Oso erregulatuta dago ioien elkartrukea, eta honetarako sustraietan energia asko gastatzen da. Ioi desberdinen kargen elkarrekintzak mintz potentziala eragiten du, apoplastoa gehienetan positiboki dagoelarik eta zelularen barnealdea negatiboki kargatuta.

Landare zelulek ere mintz potentzial bat erakusten dute ioien barne eta kanpo kontzentrazioen arabera. Barruan negatiboki kargatuta egongo da mintza.

3-Garraio aktiboa vs pasiboa:



4. irudia: Garraio pasibo eta aktiboaren eskema.

Dakigunez, ioiak beti kanaletatik edo garraiatzailetatik pasatzen dira garraio pasiboz edo aktiboz, segun eta landare zelulen beharrak eta gradiente elektrokimikoa zein den. Difusioa ez dugu kontutan hartuko ioiekin (karga izatean) ez delako ematen.

- Garraio pasiboa: Ioiak gradiente elektrokimikoaren alde (altutik → baxura) mugitzen dira energia gasturik gabe. Garraio pasiboa gradiente elektrokimikoaren alde ematen denean, garraiatzaile espezifiko batzuetatik,

difusio erraztua deitzen zaio. Ioiak kanaletatik edo garraiatzaileetatik pasa daitezke.

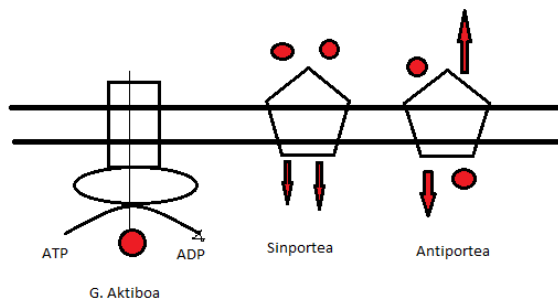
- **Garraio aktiboa:** Ioiak gradiente elektrokimikoaren kontra mugitzen dira energia gastuarekin. Bi mota bereizten dira.

1. *Primarioa:* ATP-a zuzenean gastatzen da, hau da, ioia garraiatzeko momentuan bertan gastatzen da energia. Garraio mota hau garraio uniporte bezala ezagutzen da. Beti dago lotuta ATParen hidrolisiarekin.
2. *Sekundarioa:* Ioi bat gradiente elektrokimikoaren alde mugitzen da eta indar hori gradiente elektrokimikoaren aurka doan beste ioi bat garraiatzeko erabiltzen da, hau da, bi ioi mugitzen dira. ATParen hidrolisian askaturiko energiari esker, molekula morea barnealderetik kanpoaldera igaro da (landareetan orokorrean hidrogenoa da). Irudiko molekula moreak potentzial elektrokimiko bat sortuko du kanpoaldean, eta bere gradientearen alde mugituko da berriz barnealderantz. Gradiente horretan sortutako indar horrek ahalbidetzen du beste molekula bat (gradientearen KONTRA mugitzen dena) ere mintzean zehar mugitzea. Esaten da ez dagoela ATParen hidrolisiarekin zuzenean lotuta.

Bi eratakola izan daiteke garraio sekundarioa:

2.1 : Sinportea: Bi ioiak noranzko berean garraiatzen dira.

2.2: Antiportea: Bi ioiak aurkako noranzkoan garraiatzen dira.



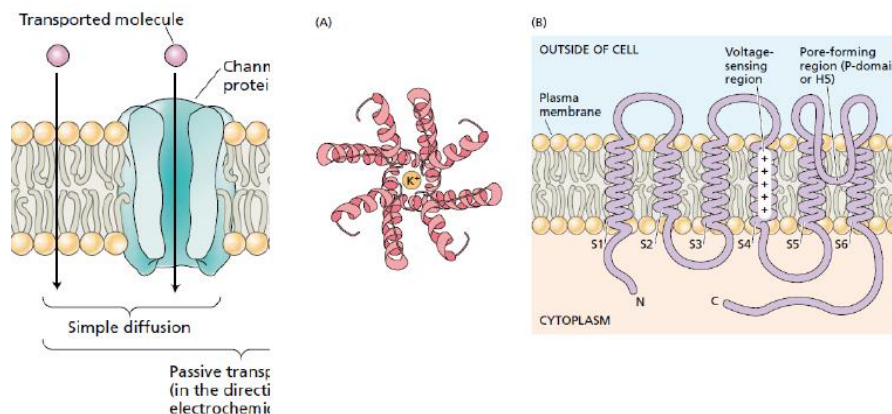
4-Parte hartzen dute garraiatzaile motak. Kokalekua eta adibideak

4.1-KANALAK

Hasteko, ioiak garraio pasiboz soilik garraiatzen dira proteina hauetan zehar, beraz ez da energia gasturik behar, bertatik pasatzen diren molekulak beti pasatzen dira gradiente elektrokimikoaren alde. Transmintz proteina hauek nahiko selektiboak dira, tamainak, bai kanalaren zein garraiatzen den molekularen kargak (kanalak proteinak direnez, aminoazidoz osatuak daude eta bertako aminoazidoen artean kargak sortzen dira, garraiatzen diren molekulak mugatuz) baldintzatzen dute kanalen selektibotasuna.

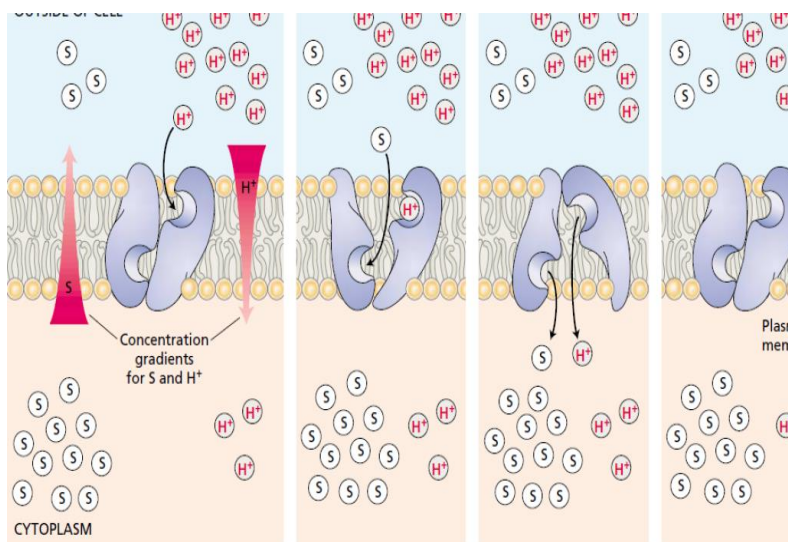
Kanal hauek ez daude beti zabalik. Hormonen arabera, mintz potentzialaren arabera, argiaren arabera edo fosforilazioaren arabera aktibatu/inaktibatu egiten dira. Kanaletatik ematen den garraioaren abiadura oso altua da, 10^8 ioi segundoko pasa ahal direlarik. Kanala osatzen duten aminoazidoen polartasunak eta kanalaren poroaren diametroak baldintzatuko du ze ioi pasatuko diren eta zein ez.

Kanaletatik mugitzen diren molekulak ura (akuaporina proteinaren bidez) edo ioi molekula txikiak dira.



4.2-GARRAIATZAILEAK

Garraiatzaileen bitartez, kanalen moduan, garraio pasiborako balio dute, beti gradiente elektrokimikoaren alde. Hala ere, garraiatzaileek ere bidera dezakete garraio aktibo sekundarioa. Ez daukate pororik, hau da, transmintz proteina hauek garraiatu nahi den ioiarekin lotzen dira konformazio eraldaketa bat jasanez eta honi esker, garraiatzaileak beste aldean aska dezake ioia. Kanalak baino askoz ere selektiboagoak dira, horregatik garraioa askoz ere motelagoa da, segundoko 100-1000 ioi inguru garraiatzen direlarik. Ioi bakoitzarentzako dago garraiatzaile mota bat.

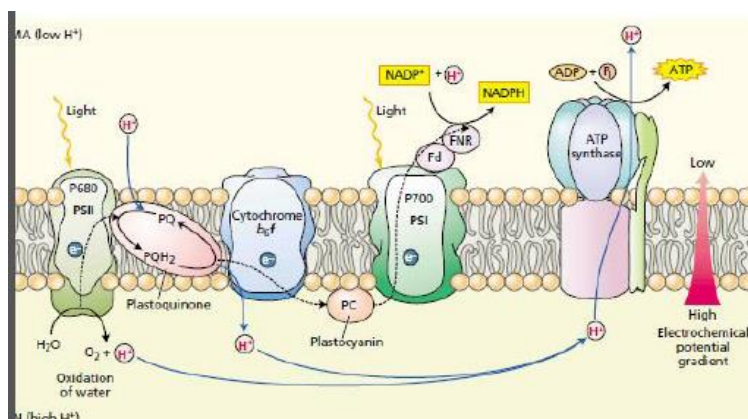


6. irudia: Landare zelula baten garraiatzaileak eta garraio mekanismoa.

Irudian garraio sinportearen adibide bat ikus daiteke, protoia gradientearen alde garraiatzen da eta honek sufrea gradientearen aurka garraiatzea ahalbidetzen du.

4.3-PONPAK

Ponpek soilik bideratzen dute garraio aktiboa. Energiari esker, molekulak garraiatzen dira beren gradiente elektrokimikoaren kontra. Landareetan orokorrean protoiak garraiatzen dira modu honetara, eta ponpa hauek bakuoloan eta mintz zelularrean agertzen dira. Landararentzako guztiz



8. irudi: Landare zelula bateko mintz plasmatikoko eta tonoplastoko ponpak.

Informazio gehigarria:

Mintzean: ATPasak, protoien mugimendua ahalbidetzen dutenak zitosoletik apoplastora. Beste ATPasa bat dago ere kaltzioa kanporatzeko. Izan ere, kaltzioak hainbeste funtzio dituenez, guztiz beharrezkoa da balio batzuen artean mantentzea kaltzioaren kontzentrazioa. Nitrato eta fosfato garraiatzaileak (fosfato kanalak ere badaude), askotan era sinportean ematen da garraioa.

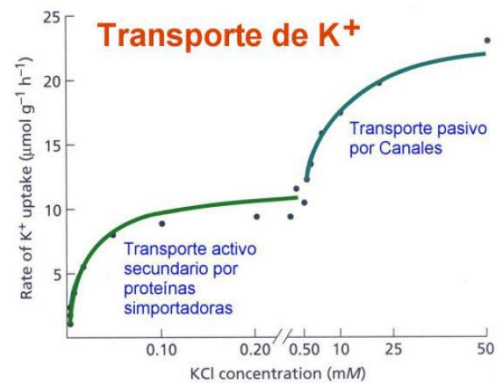
Bakuoloan: kanalak, ATPasak (protoiak SARTU bakuolo barnera) eta garraiatzaile antiporte asko sodioa eta kaltzioa barneratuz, baina sarturiko protoiak kanporatuz aldi berean. Beste asko ere badaude.

Garraiatzaileen analisi zinetikoa:

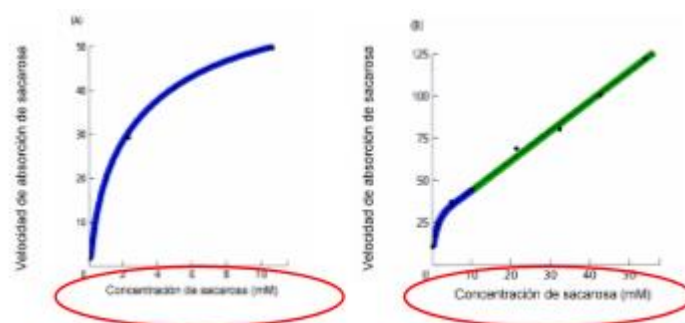
Garraiatzaile zein kanaletatik elementu limite bat sartu daiteke. Hauek proteinak izanik, saturazio puntu bat dute, horregatik bi garraio hauek mugatuta daude, eta grafikoan bi maximo ikus ditzakegu saturazio puntuei dagozkienak.

Irudian agertzen den lehenengo kurba hori garraio aktiboa da. Izan ere, hasieran, kanpoko potasio kontzentrazioa (X ardatza. Gogoratu esperimientua dela eta guk igotzen dugula kanpoko potasio kontzentrazioa) txikia da eta gradiente hori ez dagoenez oso finkatuta, garraio aktiboa eta energia beharrezkoak dira. Potasio kontzentrazioa kanpoaldean igo ahala, gradientea berez sortuko da eta ez da egongo garraio aktiboaren beharrik. Lehenengo kurbaren marra horizontala garraiatzaileen saturazioaren ondorioa izango da. Bigarren kurba zinetikoan kanalek parte hartuko dute, baina momentu jakin batera heltzean, hauek ere saturatuko dira.

Sakarosaren bigarren kurbak adierazten du molekula honen garraioa difusioz ematen dela puntu jakin batera heltzean. Lehenengo kurbak adierazten du ATParen bidezko garraioa ematen dela, baina modu ez-zuzenean; izan ere, esperimientuak egin dira ATPasen inhibitzaileak erabiliz eta ikusi da kurba horretan ez daukala eraginik, eta beraz, ATPasen inhibizioak ez duela eragiten molekula honen barnerapenean.



9. irudia: K⁺ garraiatzaileen analisi zinetikoa.



Distantzi laburreko garraioa mugatzen duten faktoreak:

Jadanik 5. gaian ikusi ditugun hainbat faktorek mugatzen dute distantzia laburreko garraioa.

- Kanal, garraiatzaile eta ponpen kopuruak garrantzia izango du.
- Mineralen kontzentrazioa
- ATP eskuragarritasuna
- Inguruneko tenperaturak (gehien bat baxuak), argiak (arnasketa, fotosintesia), urak eta atmosferako CO₂ eta sustraietan dagoen O₂ eskuragarritasunak.
- pH-a

Faktore guzti hauek erregula daitezke.

5-loien garraioa ile xurgatzaileetatik hazirarte

Mineralak behin sustraietan sartuta urak jarraituko duen bideak jarrai dezakete, hau da, bide sinplastikoak (kortexa eta Caspary bandak zeharkatuz) jarrai ditzakete xilemara pasa arte (bide honetan mintzak zeharkatzen direnez kanal eta garraiatzaileek parte hartu ahal dute).

Bide apoplastikoan zelulen kanpotik burutzen da garraioa, beraz, Caspary banda zeharkatu baino lehenago urak mintz plasmatikoa zeharkatu behar du kanalak eta garraiatzaileak erabiliz.

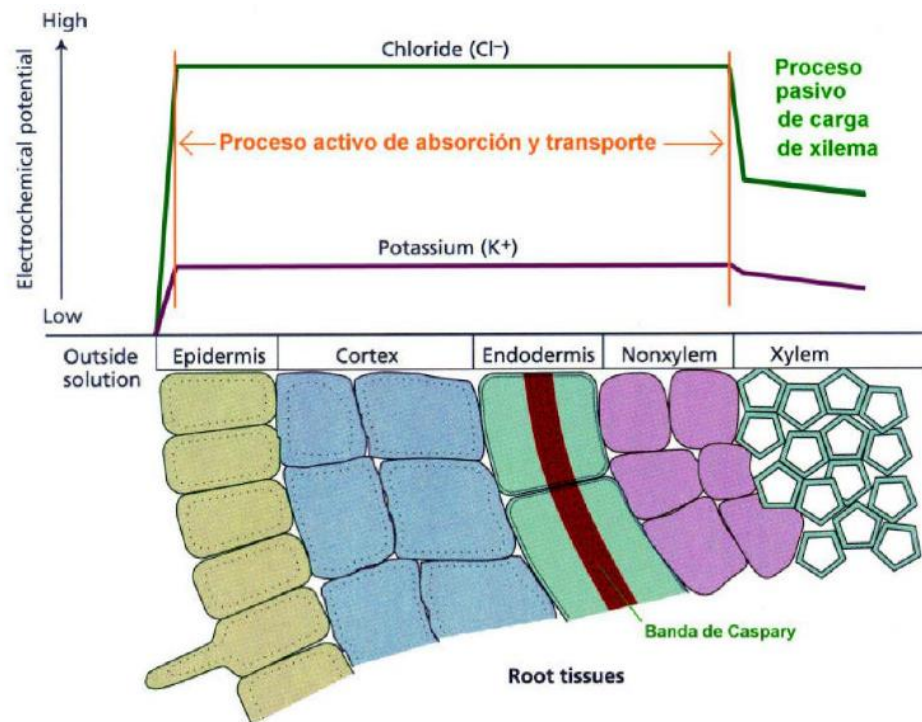
Behin uretan disolbaturiko mineralak xileman daudela, kontzentrazioaren arabera burutuko da garraioa. Horren arabera posible da ioi batzuk atzera bueltatzea. Xilema osatzen duten zelulak hilda daudenez, ur hori transpirazioz gorantz mugituko da.

Ponpak, kanalak eta garraiatzaileek ere distantzia luzeko garraioan parte hartzen dute. Organo desberdinen artean, mantenugaien banaketa emateko mintz plasmatikoko H-ATPasak guztiz beharrezkoak dira.

ATPa guztiz beharrezkoa da ioien garraiorako. Ikusi bezala, ponpa, kanal edo garraiatzaileetatik sartuko dira ioiak. Behin xilemara heltzean, uretan disolbatuta garraiatuko dira hostoetara heldu arte. Bi mintz zeharkatu behar dira, kanpoaldetik sustraietara sartzeko, eta zeluletatik irten eta xilemara sartzeko. Ez da guztiz seguru jakiten azken zeharkapen hori (zeluletatik xilemara) garraio pasiboaren bidez ematen dela, jada kontzentrazio txikiagoa dagoelako. Soilik azken pausu honetan ematen da garraio pasiboa, aurreko mugimenduetan aktiboa da.

Mineralen garraioan erregulazio puntu ezberdinak daude, ez da soilik sustraietatik hartzen direla eta landarearen barnean daudela. Behin xileman egonda, organo guztietan kanala, garraiatzaileak eta ponpak egotea beharrezkoa da, mineralak behin hostoetan egonda beste hostoetara edo fruituetara pasatzeko. Adibidez, arroz haziak burdinean aberatsak izatea nahi badugu garraiatzaile edo ponpa asko egon beharko dira

fruitura eta hazira heltzeko mintz horietan, ziurtatzeko bertara mineralak heltzen direla. Oso sare konektatua da orokorrean, dena oso erregulatua eta integratua egon behar da.



10. irudia: Sustraietako zeluletan ematen den K^+ eta Cl^- aren potentzial elektrokimikoaren aldaketa.