

Màster Interuniversitari en Estadística i Investigació Operativa UPC-UB

Títol: Disseny experimental i models avançats pel control i precisió del procés de salat del pernil Cerretà

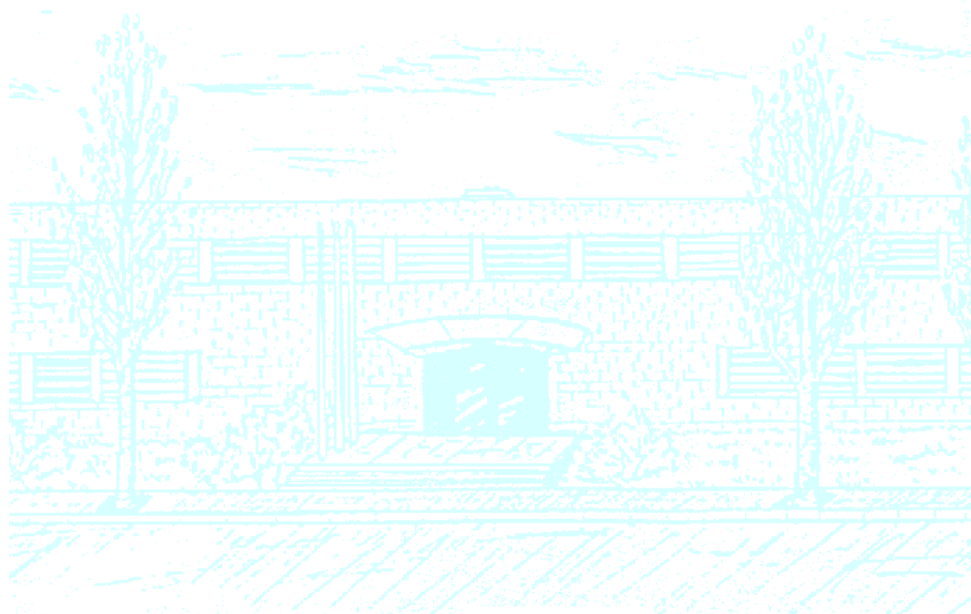
Autor: Xavier España Soler

Director: Josep A. Sanchez Espigares

Departament: Estadística i Investigació Operativa

Universitat: UPC

Convocatòria: 20/21



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat de Matemàtiques i Estadística



UNIVERSITAT DE BARCELONA



Facultat de Matemàtiques i Estadística
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball de Fi de Màster

**Disseny experimental i models
avançats pel control i precisió del
procés de salat del pernil Cerretà**

Xavier Espuña Soler

Director: Josep A. Sanchez Espigares

Departament d'Estadística i Investigació Operativa

Resum

Amb el criteri d'elecció de millor precisió en el procés de salat del pernil, s'han dissenyat diferents experiments i s'han analitzats els resultats mitjançant models mixtes no lineals, ja que l'estudi inclou dades longitudinals. Prèviament s'ha analitzat la precisió de la mesura en funció de l'aparell utilitzat en el procés de medició. La utilització dels models mixtes permet explorar la relació entre la dinàmica del procés de salat i les covariables recollides a l'inici. Això ha permet caracteritzar de forma individual el ritme d'absorció de sal i poder fer una predicció del moment en que s'arriba a un nivell determinat.

Paraules clau: Disseny Experimental, Models Mixtes No Lineals, Salat de pernils
MSC2000: 62J12, 65B05

Abstract

With the criterion of choosing the best precision in the ham salting process, different experiments have been designed and the results have been analyzed using mixed nonlinear models, as the study includes longitudinal data. The accuracy of the measurement has previously been analyzed according to the device used in the measurement process. The use of mixed models allows us to explore the relationship between the dynamics of the salting process and the covariates collected at the beginning. This has made it possible to characterize the rate of salt absorption individually and to be able to make a prediction of when a certain level will be reached.

Keywords: Experimental Design, Non-Linear Mixed Models, Ham Salting
MSC2000: 62J12, 65B05

La disminució de la variabilitat del contingut salí en el pernil Cerretà

Dades longitudinals amb models no lineals mixtos

Xavier Espuña Soler. Tutor: Josep A. Sánchez Espigares

27 Setembre 2021

Índex

Introducció	2
Història del pernil Cerretà	2
Industrialització	3
Procés tradicional de salaó	3
Aparells de mesura	8
Abreviatures	12
Criteri d'elecció	13
Metodologia	13
Disseny de dades longitudinals i mesures repetides	13
Model Lineal Mixt: Extensió del Model Lineal	14
Model No Lineal Mixt	16
Comparació dels aparells per mesurar el greix	19
Dades	19
tria entre :MM,RX,HI	19
Gràfics de HI i RX respecte MM	19
Correlacions	19
Gràfic, correlació i comparació entre RX i MM	20
Gràfic, correlació i comparació entre HI i MM	21
Conclusió	22
Comparació dels aparells per mesurar la sal	22
Introducció	22
tria entre:RX,HI	23
Evolució de la sal segons moment	23
Correlació analítica	24
Objectius del experiment:triar l'aparell per mesurar la sal	25
Comparació RX amb HI quant a mesura de sal	25
Conclusió	26
Repetibilitat de la mesura de la sal	26
Dades	26
Càlcul de la repetitivitat de les mesures	26
El conjunt de les dues proves quant a repetitivitat	28
Imprecisió de la mesura	29
Conclusió	30

Objectius dels experiments	30
¿Quin procés té millor precisió pila o bombo?	30
El procés a bombo	31
Introducció	31
Correspondència entre gr/Kg afegit i salRX	32
Repetitivitat	32
Variabilitat entre la sal de cada pernil	32
Càlcul de la imprecisió del procés	33
Conclusió	33
El procés a pila	33
Introducció	33
Models no lineals mixtos del procés	35
Funció no lineal amb dos paràmetres i el seu Model	38
Variabilitat amb els 27 pernils que hem fet el model	52
Simulació	53
Conclusions finals	56
Bibliografia	57

Introducció

Història del pernil Cerretà

La Wiquipèdia en català defineix els ceretans o cerretans com un antic poble que poblà la cara sud del Pirineu durant la protohistòria i l'antiguitat. Poblaven l'actual territori de la Cerdanya (la qual els deu el nom) i entorns, però sembla que s'estenien força més enllà cap a ponent, fins a les Nogueres Pallaresa i Ribagorçana i potser també les valls del Cinca i l'Èssera.



Figura 1: mapa dels pobles antics

L'economia d'aquest poble es basava en la ramaderia i d'aquí ve que aprenguessin a conservar la carn salant-la.

La salaó i assecat dels pernills són coneguts com a sistemes de conservació de la carn des del neolític, però en documents escrits el pernil Cerretà és conegut ja en la època romana i anomenat “pernac cerretanae” d'Hispania. Figuraven a la tarifa de preus de Dioclecià (Edictum De Pretiis Rerum Venalium).

Estrabó i Marcial proporcionen referències del pernil Cerretà, el tipus de pernil produït a les zones del Pre-Pirineu.

Estrabó, en la seva obra Geografia cita les àrees centrals del Pirineu i concretament les ocupades pels cerretans, on es produeixen els excel·lents pernills cerretans. Els habitants preparen excel·lents pernills” (Estrabó III, 4, 11).

Pel que fa a Marcial als Epigrames també parla dels grans pernills cerretans i els compara amb els que es produïen a Cantàbria: “Que em serveixin perna del país dels cerretans o que me n'enviïn, tant se val, del país dels menapis; i que els golafres devorin el gambajó!” (Marcial, XIII 54).

En l'època medieval el porc és un element central en la dieta. Ho testimonien els pagaments de censos agraris i de propietats en pernills. Pere el Cerimoniós en ple segle XIV demanava que se li portessin directament del Pirineu els famosos i apreciats pernills cerretans.

També pren rellevància el porc dins la idiosincràsia de la pagesia catalana d'aquest període per la integració en el calendari agrícola de la matança del porc.

A mitjans del segle XIX, el comerç que va del Pirineu fins al litoral, passant pel pla de Lleida i l'Urgell es caracteritza per la venda de tota mena de productes provinents de muntanya, entre els quals el pernil Cerretà. La indústria càrnia a Catalunya és un fenomen primerenc en el context espanyol. Ja des de finals del segle XIX, les comarques d'Osona, la Garrotxa, i el Gironès, són enclavaments capdavaners amb una alta concentració d'indústries del sector carni, fet que contrasta amb la disminució del contingent porcí a altres comarques (per exemple, Vallès Occidental).

La geografia del pernil engloba un teixit econòmic i social que històricament ha agrupat els criadors, matancers del porc, i els elaboradors de pernil Cerretà. La zona amb més presència del pernil Cerretà és tota l'àrea del Pirineu i Prepirineu. Però també hi ha referències històriques a la zona de la Garrotxa, Osona, Bages, curs del riu Segre (amb els Urgells), el Berguedà fins arribar a Cardona i a la plana de Lleida. Els testimonis de

viatgers i geògrafs de l'època descriuen què era la zona de la Ceretània i sobretot els seus productes més destacats.

La matança del porc a la Catalunya de l'àrea pirinenca i prepirinenca és una tradició que ha arribat fins els nostres dies i que es documenta en diverses fonts etnogràfiques dels segles XIX i XX com una activitat fortament arrelada al territori, a les tradicions i a les festivitats d'àmbit local. Tradicionalment, l'elaboració del pernil Cerretà es realitzava a l'hivern per a consum durant l'estiu i fins a final d'any. Mentre que el pernil amb os una cop salat es penjava per assecat-lo, les peces de pernil Cerretà sense os, una vegada salades i empebrades s'embotxaven en tripes naturals que protegien la carn d'un ressecament excessiu i permetien una curació més ràpida que la del producte amb os.

Industrialització

La tradició del pernil Cerretà ha arribat fins avui en dia i la indústria ha adaptat aquesta tradició per oferir-ne una ampla gamma de presentacions, tant en trossos com en llenques envasades.

La salaó del pernil és la part del procés que determina la quantitat de sal que el pernil tindrà en acabar. Per això és molt important per a la qualitat del producte cara al consumidor assegurar una variabilitat el més baixa possible ja que el consumidor el que notarà serà la diferència o sigui la variació no la mitjana.

Actualment una de les recomanacions de la Organització Mundial de la Salut (WHO en anglès) és de reduir el contingut de sodi dels aliments ja que es relaciona amb la hipertensió. Per tant per poder-la reduir cal tenir clara la seva desviació Standard (sd) per poder assegurar la reducció del 25% que demana la legislació per poder-ne dir "reduït en sal".

El gran repte de la indústria càrnia és trobar una manera de poder assegurar el contingut de la sal amb la mínima variabilitat possible. És a dir minimitzar la diferència en el contingut de sal entre lots i dins del lot de pernils. Cal trobar quines són les covariables que determinen l'absorció de sal segons el temps de romandre'hi en contacte i la mesura més acurada possible.

Procés tradicional de salaó

El procés de salaó comença en entrar el pernil fresc provinent del escorxador, assegurant que no té més d'1 o 2 dies des de la matança a la recepció a la indústria elaboradora.

A l'entrada del pernil fresc es controlen la temperatura i el pH. Es rebutgen els pernils de més 4⁰C i un pH superior a 6.2. Aquests tenen el problema de DFD (dark, ferm,dry) i tenen un tipus de carn que no absorbeix bé la sal.



Figura 2: Entrada de pernils frescos

Amb aquesta màquina es controlen la temperatura, el pH i s'etiqueta cada peça amb un RFID per poder tenir la traçabilitat al llarg del procés.

A partir d'aquest moment hi ha dos possibilitats que el pernil sigui salat amb os o sense os. Si és la primera possibilitat es procedeix de la manera següent:

Es pesa i es mesura el greix amb la màquina Ham Inspector en mode greix i es classifica segons les categories A, B, C i D que tenen una relació de pes i greix segons un procediment intern per determinar els dies que romanen a la pila de sal.



Figura 3: analitzador de greix Ham Inspector

Després de classificar es passen a la fase de salar. Per fer-ho es talla la punta de l'os del pont per tal d'evitar clivelles posteriors en el assecat i es dessagna amb una cinta que pressa el pernil.



Figura 4: Tall de la punta del os del pont

Seguidament es pressa amb la primera màquina per tal de treure-li la sang a la vena femoral i després amb la segona màquina es sala amb sal nitrificada.

Després es depositen en bacs de plàstic amb el fons foradat per deixar fluir els exsudats i es deixen a la cambra de salat.

Els pernils es col·loquen a raó de 10 pernils per fila amb 4 files per bac i entre files s'omple de sal marina de glanumetria 3, si són grossos només n'hi van 37 enlloc de 40.

La cambra està a una temperatura de $2^{\circ}C$ a $4^{\circ}C$ amb una humitat superior sempre a 85%.

Els bacs es deixen per salar els pernils durant de 5 a 7 dies segons com caigui el cap de setmana.

En aquest moment es fa el procés de re-salat que consisteix en bolcar el bac amb sal i pernils a sobre una graella d'acer inoxidable. Els pernils baixen per aquesta graella que fa pendent i la sal es recull a sota de la graella per tornar-la a utilitzar, és la sal anomenada reciclada.

En sortir de la graella passa per una màquina que bufa la sal superficial del pernil per poder renovar la sal de contacte amb el pernil.



Figura 5: tren de salat



Figura 6: pila de salat



Figura 7: descàrrega de pernils pel re-salat



Figura 8: bufat en línia de la sal

A continuació hi hem posat la màquina de Lenz ja que el procés es podrà fer en continu tant si és fa amb una màquina com l'altra per tal de mesurar la sal d'una manera no destructiva.



Figura 9: analitzador Ham Inspector en línia per la sal

Es torna a dessagnar-los per així assegurar-nos que no queda sang en la vena femoral perquè si en quedés donaria un problema ja que en assecar-se podria contaminar o malmetre la zona on es veïés.

Amb el procés de re-salat els pernils que prèviament estaven al cap de mont del bac després estaran en el fons i els que estaven al fons estaran al cap de mont. Aqueta és una manera d'igualar les condicions ja que els pernils que tenen més pes tindran més pressió en el moment de salat i es podrien salar diferent. Els pernils es tornen a cobrir de sal reciclada que és una sal humida i és més fàcil que es formi una salmorra saturada al cim del magre del pernil que és el que el salarà.

Els pernils sortiran segons els dies prèviament planificats en funció del seu pes i greix. Un cop acabats es renten amb aigua freda i es dipositen en un bac per ser penjats en un post-salat i continuar el procés amb l'assecat per acabar al cap d'un any des del moment d'entrada.

L'altre possibilitat és fer el pernil sense os. Per això va a la sala de desfer i es procedeix de la manera següent:



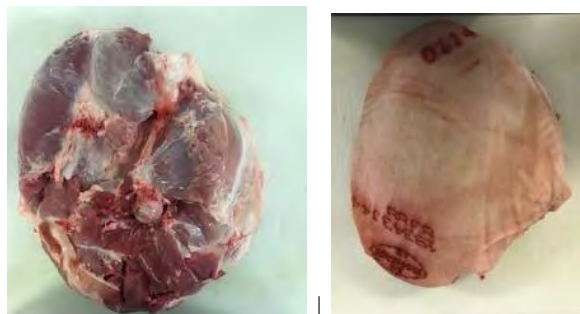
Figura 10: vista de la prensa de desagnat



Figura 11: re-salat

Primer es lleva la tibia i el peroné juntament amb els músculs enganxats per fer-lo servir com a braó de porc. Després es lleva l'os de la maluc que anomenem os del pont i que té el forat de la juntura amb el còndil del fèmur.

Seguidament, i seguint els feixos musculars, es lleva el crostó (semimenbranós) i així queda al descobert el fèmur que es lleva resseguint l'os i procurant no enfonsar el ganivet dins del pernil. Un cop llevat el fèmur es pot igualment treure la ròtula que està al cantó oposat al còndil del fèmur.



| Cerretà amb fèmur |

Un cop aconseguit el pernil desfet es sala amb la mateixa màquina del pernil amb os per nitrificar-lo i salar-lo. Després es colga de sal i es deixa a raó de 0.5 dies/Kg sense moure'ls. Un cop passat el temps els pernils es renten i ja es poden penjar per anar a un assecador de post-salt que comença a 5⁰C on hi ha el primer assecat a baixa temperatura mentre es difon la sal dins del pernil.

Aparells de mesura

Per mesurar el greix actualment s'utilitza l'aparell Ham Inspector de l'empresa Lenz instruments S.L. Barcelona.

L'aparell de mesura es basa en la inducció magnètica (MI) i la màquina no té cap contacte amb el pernil. Es tracta d'obtenir paràmetres elèctrics del pernil sense haver-los de punxar o tocar.

S'utilitza un camp magnètic d'excitació principal per induir corrents de Foucault a través de la mostra durant la prova; aquests corrents, al seu torn, produeixen un camp magnètic secundari detectable amb un conjunt adequat de bobines receptores per detectar l'amplitud i la fase del camp magnètic generat en el volum d'inspecció.

Mesurant el corrent induït a les bobines receptores i tenint en compte la disposició espacial de les bobines respecte a la mostra, és possible determinar-ne les propietats dielèctriques i conductores. (Serra i Fulladosa, 2011; Simoncini et al., 2012).

En aquest punt hi ha una foto del conjunt de mesura de greix i balança amb el braç que col·loca una etiqueta RFID. Dins de l'arc de les bobines hi ha una cinta transportadora per on passa el pernil. Prèviament els braços d'un col·locador alineen els pernils per passar-los sempre en la mateixa posició.

Els experiments que hem fet iclouen 19 pernils salats a bombo al buit amb sal pesada per el conjunt dels pernil i l'altre grup que compararem hi ha 30 pernils Cerretans salats a pila i mesurats cada dia.

Tot seguit s'adjunten les fotos dels aparells que es fan servir per els dos experiments.

La pregunta que volem resoldre i que ens fa producció és:

¿Quan hi ha més precisió en la sal dels pernils si els salem a bombo amb una quantitat determinada per tot el pes dels pernils o si ho fem a pila però determinem per cada pernil el dia de la seva extracció definida per un model prèviament construït mercès al experiment?.

Es aa dir d'una manera resumida:

¿Quin és el procés de salat que dóna una millor precisió del contingut de sal dels pernils?



Figura 12: Bombo Lutetia al vuit: model 17608 ,7rpm



Figura 13: pila de pernils cerretans coberts de sal



Figura 14: bufat del pernil cerretà abans de mesurar la sal



Figura 15: bufat del pernil cerretà abans de mesurar la sal



Figura 16: HamInspector de Lenz per mesurar la sal



Figura 17: Multiscan de rajos X, model: MXV-MEAT 6025 ADVANCED per mesurar la sal



Figura 18: balança per pesar els pernils

S'utilitza la balança Metler amb precisió de dècima de gram. Les pesades les expressem arrodonint a 0.5 dècimes de gram.

Abreviatures

id_per

Identificador de cada pernil.

mnt

És el moment en el que s'ha fet la mesura.

per1 La paraula "per" seguida d'un número és el pes en el moment indicat pel número. Sense numero és el pes.

cx1

Les lletres cx seguides del número indiquen el pes del coixí que està al cim de la part magre del pernil. El número correspòn al moment de la mesura. Si està sense número és el pes i el moment es posarà a part.

salRX

És la mesura que dóna la màquina Multiscan MXV-MEAT 6025 ADVANCED de Multiscan S.L. Concentaina.

salHI

És la mesura de la sal segons l'aparell Ham Inspector (HI) de Lenz instruments S.L. Barcelona.

gr_pz Són els grams de sal per peça de pernil.

exd És el pes del líquid exsudat per cada pernil. Si porta un numero és l'acumulat fins el moment.

mnv És la minva acumulada per cada moment que mesurem el pes. Si porta un número afegit correspon al moment de mesura.

grKg

Indica els grams per Kg de sal sobre el pes inicial.

mtjRX

És la mitjana de la sal segons la mesura feta amb l'aparell Multiscan.

sdRX

És la desviació Standard de la sal segons la mesura feta amb l'aparell Multiscan.

RSME

És el root square mean error.

n

Nombre de pernils o de repeticions.

pes

Pes del pernil a la balança de la planta pilot.

salRX

Mesura de sal segons l'aparell: Multiscan MXV-MEAT 6025 ADVANCED.

B

Lot de bombo de salar (hem fet dos lots de 10 i 9 pernils de salar en dos moments diferents).

grKgRX.i Això són els gr./Kg de sal sobre el pes inicial de pernil segons la mesura RX.

grKgHI.i Indica els gr./Kg de sal sobre el pes inicial de pernil segons la mesura HI

Criteri d'elecció

Hem considerat la imprecisió com el valor que en més i en menys al voltant del valor central abasta el 95% dels valors objectius dels diferents pernells.

Això vol dir :

$$\text{Imprecisió} = \pm sd * qnorm(0.975)$$

Aquest és el criteri que anirem utilitzant per elegir quin és l'aparell que ens dóna una millor mesura. Aquest criteri té sentit quan les dades són normals per això cada cop que el fem servir ho comprovarem.

Metodologia

Disseny de dades longitudinals i mesures repetides

Hi ha situacions on el disseny experimental dóna lloc a observacions que poden ser dividides entre grups disjunts en base a una o més variables de classificacions, anomenades factors aleatoris. És molt comú trobar dissenys on cada unitat experimental dóna lloc a més d'una observació en la matriu de disseny. Alguns exemples d'aquesta situació poden ser:

- Mesures repetides.
- Dades longitudinals.
- Corbes de creixement.
- Dissenys split-plot.
- Dissenys per blocs.
- Dades niuades jeràrquicament.
- Dades espaials.

En aquesta mena de dissenys, les observacions dins del mateix grup (unitat experimental) es troben generalment correlades. Això suposa que la modelització paramètrica tradicional (models lineals) no es pot aplicar ja que pressuposa que les dades siguin independents.

Els models mixtes (o d'efectes aleatoris) es fan servir de forma habitual per modelitzar dades agrupades com les descrites anteriorment. En estudis mèdics i bioestadístics és habitual trobar un únic factor aleatori (l'individu) que dona lloc a dades agrupades de tipus simple. En canvi, en d'altres contextes com la indústria, agricultura o estudis sociològics, les dades agrupades de tipus multinivell (jeràrquiques) són més freqüents.

El cas del disseny amb mesures repetides planteja que la variable resposta s'ha mesurat més d'un cop sobre la mateixa unitat experimental. Això dóna peu a que les observacions dintre-unitat tendeixin a estar correlades pels efectes de la unitat comuna. Un estudi de repetitivitat on es pretén estimar la variabilitat deguda al procés de mesura podria ser un exemple d'aquest tipus de disseny.

En ocasions, les mesures repetides incorporen informació de la seqüencialitat d'aquestes observacions, situant cada una d'elles en una escala temporal. En aquest cas, també existeix una variable de tipus numèric que incorpora el caràcter longitudinal del disseny. Aquest cas particular de disseny s'anomena disseny longitudinal, ja que podem situar en l'escala temporal cada observació que s'ha recollit de la mateixa unitat experimental. Un altre exemple d'aquest tipus de disseny són les corbes de creixement. La monitorització del contingut de sal en un perril mitjançant mesures recollides al llarg d'un cert període és un cas de disseny de dades longitudinals.

La variable que indueix la longitudinalitat del disseny no té perquè ser el temps. També existeixen dissenys on les mostres recollides es situen en un transecte lineal d'un terreny (estudis agrònomic) i la distància entre observacions correspondria al caràcter longitudinal del disseny. En aquest tipus de disseny és habitual

incorporar models que puguin tenir en compte que la correlació d'observacions dintre de la unitat pot variar en funció de la seva distància temporal o espacial, depenent de cada cas.

El cas de dissenys jeràrquics (amb més d'un factor aleatori amb configuració niuada) permet modelitzar diferents nivells de correlacions entre les observacions del mateix subgrup. Per exemple, en dissenys agronòmics pot donar-se el cas de disposar de dades repetides d'un mateix arbre (unitat de primer nivell) però a la vegada els arbres s'han seleccionat de forma que estan agrupats en parcel·les (segon nivell de nidificació). En el present estudi no s'han aplicat dissenys on hi pugui haver més d'un factor aleatori.

En general, els dissenys amb models mixtes (mesures repetides o dades longitudinals) donen un rol específic a les següents variables de la base de dades:

- Variable resposta: la considerarem de tipus numèrica continua, tot i que es podria estendre els models per tractar models lineals generalitzats (respostes binàries o de recomptes)
- Factor aleatori: variable de tipus factor que indueix una segmentació (agrupació) de les observacions per determinar les dades recollides en cada individu. Els nivells d'aquesta variable corresponen a cada unitat experimental que ha participat en el disseny
- Covariant principal: apareix en els dissenys de dades longitudinals i corresponen a l'escala que situa les observacions en el temps/espai i que permet analitzar la possible variació de la correlació entre observacions de la mateixa unitat.

Al marge d'aquestes variables, la resta de variables recollides s'assumeix que poden formar part de la component d'efectes fixes del model. Seran variables explicatives amb la inclusió habitual com a predictors del model lineal.

Model Lineal Mixt: Extensió del Model Lineal

El model lineal general es formula tenint en compte que la distribució de la variable resposta condicional a les covariables és una normal amb una variància comuna i el valor esperat de la resposta es calcula com una combinació lineal de les covariables:

$$Y|X \sim N(\mu = X\beta, \sigma^2)$$

o de forma equivalent, per a la i -ésima observació:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \dots + \beta_p X_{ip} + \epsilon_i \quad i = 1, \dots, n$$

on $\beta = (\beta_0, \dots, \beta_p)$ és el vector de paràmetres i la forma matricial que inclou la matriu de disseny X s'expressa com:

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_{1,1} & x_{2,1} & x_{3,1} & \cdots & x_{p,1} \\ 1 & x_{1,2} & x_{2,2} & x_{3,2} & \cdots & x_{p,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{1,n} & x_{2,n} & x_{3,n} & \cdots & x_{p,n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{pmatrix}$$

El vector ϵ correspon al vector de l'error que s'assumeix que segueix una distribució gaussiana centrada en el zero:

$$\epsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$$

Alguns exemples de models lineals són:

- La regressió lineal simple i múltiple (variables explicatives de tipus numèric).
- L'anàlisi de la variància ANOVA (variables explicatives de tipus factor).

- El Model Lineal General, que inclou variables explicatives de qualsevol tipus i possibles interaccions.

Una de les premisses del model lineal és que les observacions corresponents a cada fila de la base de dades són mútuament independents.

Suposem que volem analitzar un model on existeix un factor aleatori que indueix una segmentació de la base de dades i per tant les dades estan agrupades. Aquest factor aleatori té com a nivells els identificadors de les unitats experimental, amb k unitats experimentals diferents. El disseny pot ser balancejat (mateix nombre d'observacions per a cada unitat) o no. Donat aquesta situació, inicialment podem fer dues coses:

- Aplicar el model lineal a totes les dades per obtenir un model global en el que ignorem la estructura d'agrupació i assumim que les dades són independents. Òbviament, aquest model no seria vàlid però podria ser una estimació del **model poblacional** mitjà, com si l'anàlisi hagués estat transversal enlloc de longitudinal. Els paràmetres s'estimen amb totes les dades i són els mateixos per tots els individus:

$$Y_i = X_i\beta + \epsilon_i \quad i = 1, \dots, k$$

- Separar les observacions de cada unitat experimental i fer un model per a cada individu. Amb aquesta premissa els model serien vàlids com a **models individuals**, però no serien fàcils de manejar per l'alt número de paràmetres (hi ha un vector de paràmetres β_i per a cada individu) ni fer prediccions per a nous individus. En aquest cas, els paràmetres són específics de cada individu.

$$Y_i = X_i\beta_i + \epsilon_i \quad i = 1, \dots, k$$

En ambdues situacions, la única font de variabilitat és la component d'error ϵ . El Model Mixt sorgeix com un compromís entre ambdues opcions i permet treballar un model vàlid amb un nombre raonable de paràmetres. La idea és considerar que el vector de paràmetres dels models individuals β_i és en realitat un vector aleatori amb distribució gaussiana on el valor esperat correspondria al model d'un individu mitjà de la població i el model individual inclou els efectes aleatoris com a desviacions del model individual respecte al poblacional:

$$\beta_i \sim N(\beta, \sigma_b^2)$$

o de forma equivalent:

$$\beta_i = \beta + b_i \quad b_i \sim N(0, \sigma_b^2) \quad i = 1, \dots, k$$

Per aquest motiu, aquests models mixtes també es coneixen com a models de coeficients aleatoris.

En general, la formulació general d'aquest tipus de models es representa separant els efectes fixes dels aleatoris:

$$Y_i = X_i\beta + Z_i b_i + \epsilon \quad b_i \sim N(0, \sigma_b^2) \quad \epsilon_i \sim N(0, \sigma^2 I) \quad i = 1, \dots, k$$

i per tant tenim més d'una component de variabilitat:

- Els efectes aleatoris b_i descriuen la heterogeneïtat entre individus (*between subjects*) i ve quantificada per la variància σ_b^2
- Els errors ϵ_i que representa la variabilitat entre les observacions dins la mateixa unitat experimental, i es quantifica amb σ^2

La estimació dels paràmetres es duu a terme amb el criteri de Màxima Versemblança ML o Màxima Versemblança Restringida REML on es corregeix el biaix dels estimadors de les variàncies. La inferència amb els paràmetres es basa en els resultats clàssics de la distribució asimptòtica dels estimadors de màxima versemblança.

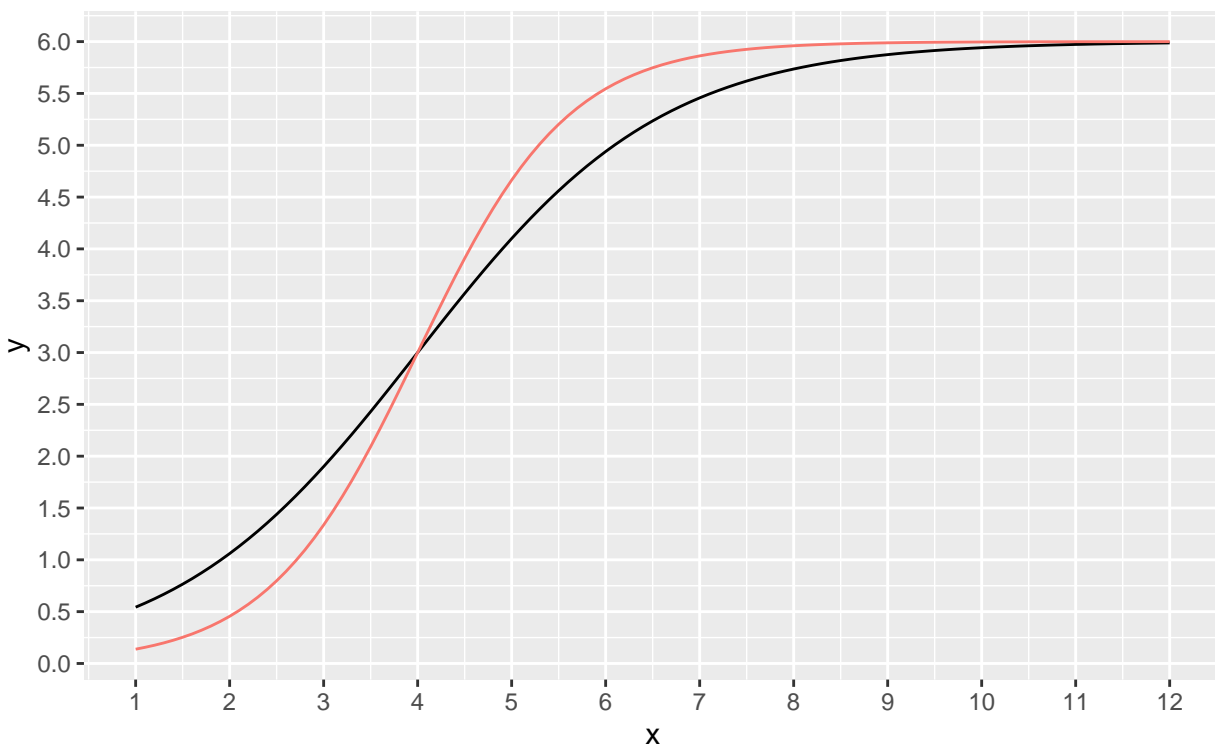
Model No Lineal Mixt

Hi ha situacions on les mesures recollides d'un disseny longitudinal amb un conjunt d'unitats experimentals descriuen una dependència funcional que no correspon a una funció lineal de la variable temporal. Si bé podríem treballar amb models mixtes lineals incorporant com a predictors diferents potències del temps i per tant ajustant models polinòmics, la millor opció és definir el valor esperat de la resposta com una funció no lineal de les covariables. La resta de la especificació es manté igual:

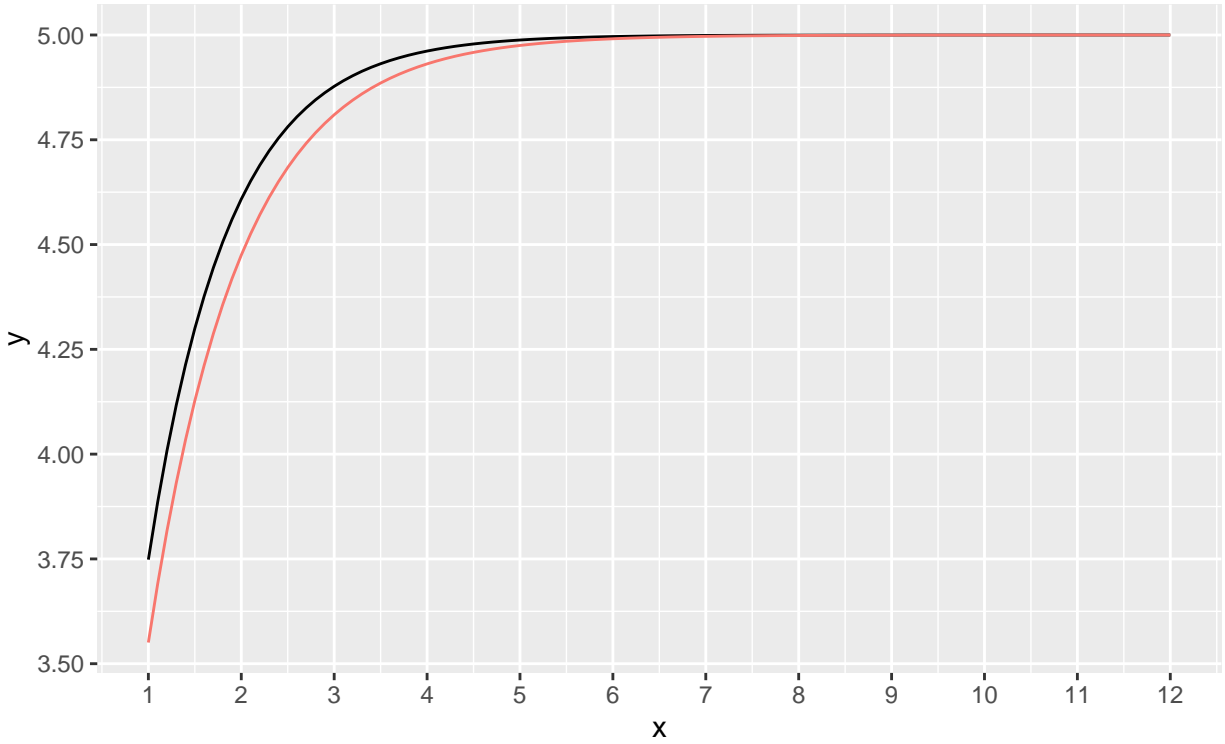
$$Y_i = f(X_i, \phi_i) + \epsilon_i \quad \phi_i = A_i\beta + B_i b_i \quad b_i \sim N(\beta, \sigma_b^2) \quad \epsilon_i \sim N(0, \sigma^2 I) \quad i = 1, \dots, k$$

on $f(X_i, \phi_i)$ és una funció no lineal en el vector de paràmetres ϕ_i per a cada individu. Aquest paràmetres tenen variables en la part fixa i en la part aleatòria del model. Alguns exemples de funcions no lineals habituals són:

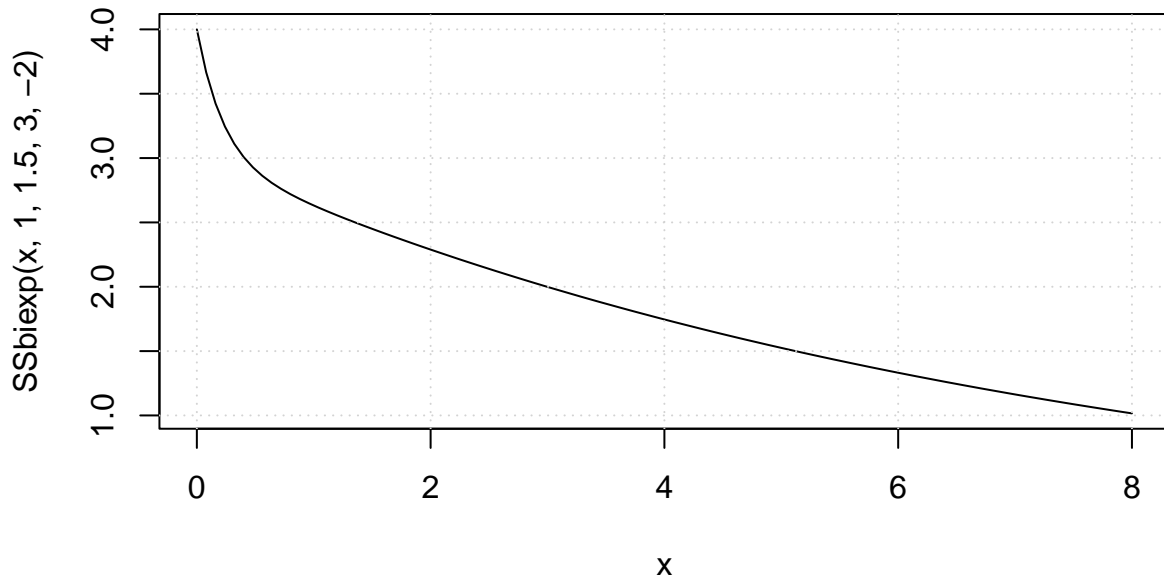
- Funció logística: $y = \frac{A}{1 + \exp(-\frac{x-B}{C})}$



- Creixement Assimptòtic: $y = A + (B - A)e^{-CX}$



- Funció Bi-exponencial: $y = Ae^{-BX} + Ce^{-DX}$



En aquest treball, la dependència funcional escollida per reflectir la evolució del contingut de sal al llarg del temps en el procés de salat a pila de pernils ha estat la funció logística.

La expressió del model mixte no lineal queda de la següent manera:

$$Y_i \sim N(\mu_i, \sigma^2 I) \quad i = 1, \dots, k$$

$$\mu_i = \frac{A_i}{1 + \exp\left(-\frac{t-B_i}{C_i}\right)}$$

$$\begin{pmatrix} A_i \\ B_i \\ C_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_i \\ b_i \\ c_i \end{pmatrix} +$$

Els efectes aleatoris sobre els coeficients de la funció no lineal segueixen una distribució gaussiana amb matriu de variàncies i covariàncies Σ_b

$$(a_i, b_i, c_i)' \sim N(0, \Sigma_b)$$

i el vector d'efectes fixes dels paràmetres (A, B, C) pot venir expressat com una funció lineal d'altres covariables.

$$(A, B, C)' = X\beta$$

Tot i que els criteris d'estimació també estan basats en la Màxima Versemblança (ML), la estimació dels paràmetres requereix d'un procediment d'optimització no lineal iteratiu i és necessari especificar valors inicials pels paràmetres.

La validació del model és fa de la mateixa forma que en el cas lineal ja que els errors s'afegeixen de forma aditiva al predictor lineal.

Com a principal referència d'aquesta metodologia es pot consultar el llibre de Pinheiro & Bates (2000) que descriu també les eines incloses en el paquet `nlme` de R que s'han fet servir en el present treball.

Taula 1: coeficients del aparell HI

term	estimate	std.error	statistic	p.value
(Intercept)	6.02636	1.23210	4.89112	0.00001
grx_HI	0.52681	0.12393	4.25098	0.00011

Taula 2: R2 de la correlació HI amb MM

r.squared	adj.r.squared	sigma
0.2959	0.27953	2.27084

Comparació dels aparells per mesurar el greix

Dades

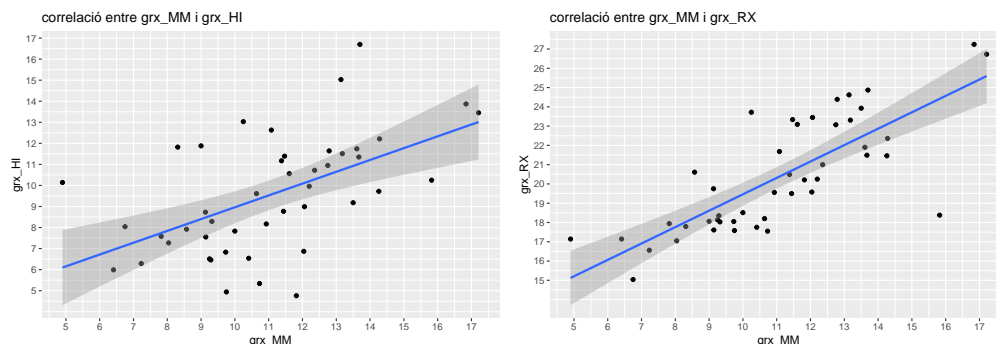
Partim de les dades corresponents a les proves enumerades: 21.07.21,09.08.21 i 16.08.21 i en generem una base de dades comparativa on hi ha la comparació dels tres aparells i de les dades on només hi ha la comparació de dos aparells.

tria entre :MM,RX,HI

Dels tres aparells tenim les proves del 21/07/2021 i les del 16/08/2021 que les ajuntarem.

Gràfics de HI i RX respecte MM

Ara mirarem la correlació entre els diferents aparells.



Fem servir com a base el greix del aparell Meat Master (MM) ja que el portem utilitzant en la mesura del greix dels productes picats curats i el tenim probat de fa més de 3 anys.

Correlacions

L'acurament de cada aparell respecte al MM és:

De l'aparell RX tenim unes dades més que les farem servir per incrementar la població de comparació.

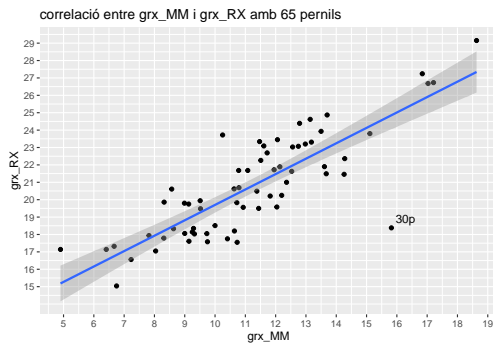
Taula 3: coeficients del aparell RX

term	estimate	std.error	statistic	p.value
(Intercept)	-5.67016	1.18058	-4.80285	1e-05
grx_RX	0.80770	0.05620	14.37244	0e+00

Taula 4: R2 de la correlació RX amb MM

r.squared	adj.r.squared	sigma
0.76915	0.76542	1.30037

Gràfic, correlació i comparació entre RX i MM

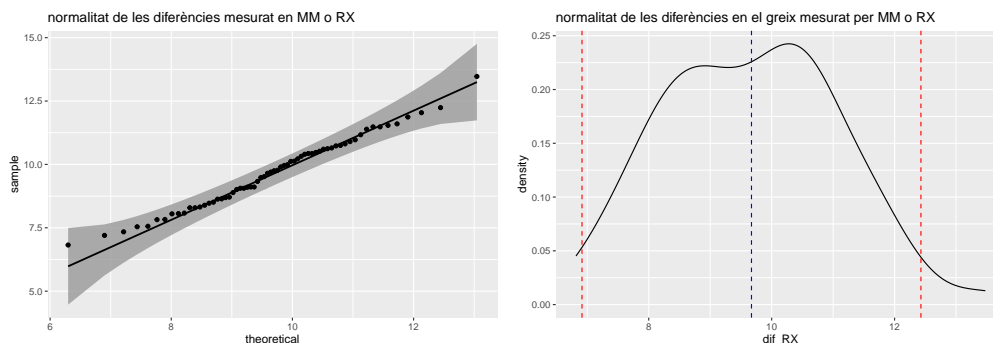


Hi ha un atípic corresponent al pernil id_per 30 del conjunt de pernills salats a pila. Consideraré sense aquest atípic “30p” ja que és una dada fora de tota lògica i podria ser errònia.

La regressió lineal entre RX i MM dóna una $R^2 = 76.5$ i tant el valor del intercept com el pendent són significatius. Això té una bona correlació i no és d'extranyar ja que tots dos aparells es basen en el mateix principi de mesura que són els raigs X.

Ara mirarem la diferència o imprecisió que dóna la mesura del greix per RX respecte la que donaria per MM.

Per fer això miraré primer que les mesures de diferència de greix segueixen una normal.



Amb aquest gràfics podem acceptar la normalitat de les diferències entre els dos aparells. Ara calcularem l'acurament entre RX i MM. Per facilitat el gràfic hem restat a les diferències la mitjana de les diferències així les diferències pel cim de zero són en positiu i les de sota són en negatiu.

Ara farem els tests de normalitat sobre el greix de RX.

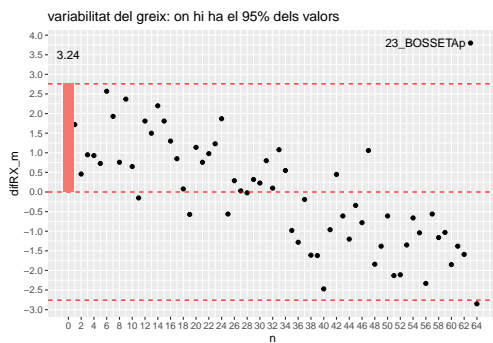
```
##
## Shapiro-Wilk normality test
```

```
##
## data: Grx65$dif_RX
## W = 0.98765, p-value = 0.7735

##
## Jarque Bera Test
##
## data: Grx65$dif_RX
## X-squared = 0.81708, df = 2, p-value = 0.6646

##
## Anderson-Darling normality test
##
## data: Grx65$dif_RX
## A = 0.257, p-value = 0.7109
```

Acceptem la normalitat ja que tots els testos donem més de 0.05 i per tant no podem rebutjar la hipòtesi de normalitat.



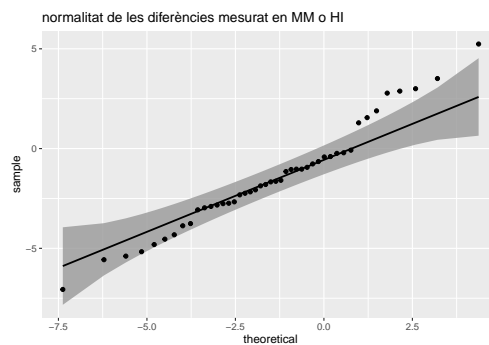
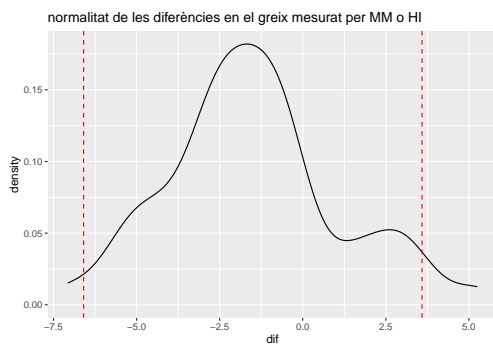
Tanmateix en el greix tenir una imprecisió en la mesura de $\pm 3.24\%$ és molt acceptable i ho considerem com a poca diferència.

Gràfic, correlació i comparació entre HI i MM

Ja hem vist que en el cas del aparell HI respecte al MM la R^2 era de aprox només el 28%

Com abans, mirarem la diferència o la variabilitat que dona la mesura del greix per HI respecte la que donaria per MM.

Per fer això miraré primer que les mesures de diferència de greix segueixen una normal.



Ara farem els testos de normalitat sobre les diferències entre el greix de HI i greix MM.

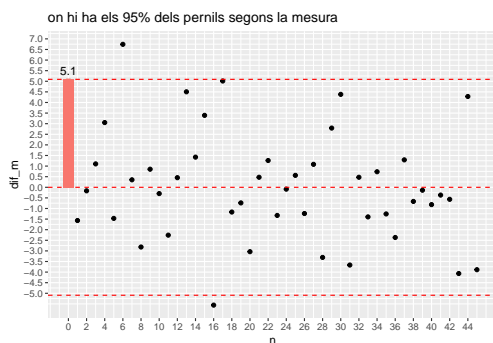
```
##
## Shapiro-Wilk normality test
```

```
##
## data: Grx45$dif
## W = 0.97522, p-value = 0.4405

##
## Anderson-Darling normality test
##
## data: Grx45$dif
## A = 0.48068, p-value = 0.2218

##
## Jarque Bera Test
##
## data: Grx45$dif
## X-squared = 1.2609, df = 2, p-value = 0.5324
```

No es pot rebutjar la hipòtesi de normalitat.



Només hi ha 2 punts fora del interval així la imprecisió de ± 5.1 es en aquest cas d'aquesta diferència.

Conclusió

Quant a la mesura del greix els aparells RX i MM són similars i la variabilitat de més que té l'aparell RX respecte al MM per les nostres mesures no és important la diferència.

L'aparell HI dona una imprecisió de ± 5.1 que és superior al RX tot i que un 5% tampoc és una diferència massa gran per separar els penils magres dels grassos.

Comparació dels aparells per mesurar la sal

Introducció

Per tal de poder mesurar la sal amb els dos aparells sense haver de bufar els penils cada cop que els mesurem varem idear un mètode utilitzant un coixí ple de sal reciclada. Semblava que el bufat podia alterar d'alguna manera la mesura de la sal en l'aparell HI.

Amb els penils salats amb el sistema "coixí" procedim de la manera següent:

Pe cada penil tenim dos canats, un reixat per deixar escapar l'exsudat i el de sota on es recull.



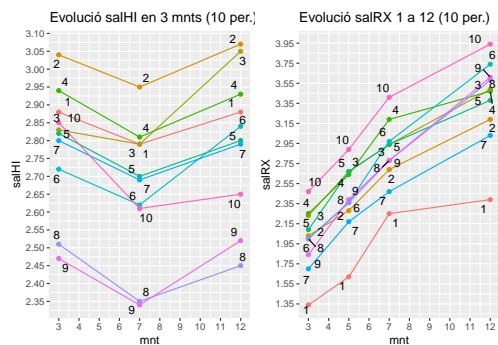
- 1- Omplim una coixinera amb aproximadament 2 kg de sal marina granada. La coixinera és una normal, de llit.
 - 2- Salem amb sal nitrificada els pernills i un cop pesats els hi posem la coixinera de sal i els hi espraïem aigua. El salat amb sal nitrificada es va fer a mà i no tenim el pes de sal nitrificada de cada pernil.
 - 3- Cada dia excepte el diumenge pesem els canats amb el pernil, el coixí i l'exsudat. Pesem el pernil amb el canat, l'exsudat amb el canat i el coixí.
 - 4- Cada canat que conté l'exsudat o el pernil amb el coixí està etiquetat i tenim les seves tares ja fetes. El canat que conté el pernil en diem up i del que conté l'exsudat en diem dw.
 - 5- El primer dia, que és el moment de començar, evidentment no hi ha exsudat. El pes de l'exsudat el podem calcular restant el pes del canat de l'exsudat de la seva tara. Però també es pot calcular restant el pes total brut del pes del canat up que conté el pernil i el coixí per seguidament restar-li la tara del canat dw. Així podrem veure l'error que fem en les pesades de l'exsudat.
- Durant tot el procés de salat es va procurar que el coixí estigués moll per tal d'assegurar que es formés salmorra entre el coixí i el pernil.

tria entre:RX,HI

Evolució de la sal segons moment

Ara mirarem el comportament en el temps de la mesura feta amb l'aparell HI i amb l'aparell RX.

Gràfics dels 10 pernills salats amb coixinera i mesurats en diferents moments amb HI i RX.



Aquí hi ha la mesura de l'aparell HI en cada moment, la qual ve donada en percentatge de sal pel pes que passa per la cinta transportadora de la màquina.

La mesura del moment 5 amb la maquina HI no hi és ja que se li va espatllar el variador i es va poder solucionar el següent dia.

Com es veu, en la comparació HI respecte al RX no conserva l'ordre d'un respecte a l'altre.

La salHI no segueix uns valors lògics ja que en augmentar el temps no hi ha més sal, sinó que en el primer moment disminueix i en el moment 12 es situa a poc més de l'inicial amb moltes variacions.

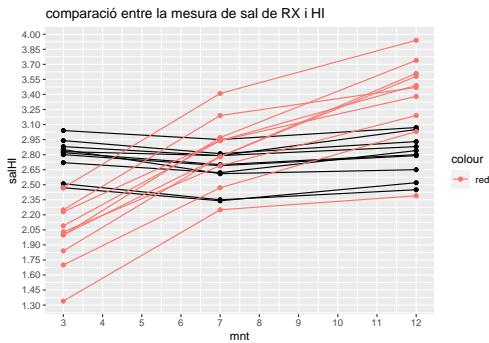
Taula 5: R2 de la correlació entre salRX i la sal analítica

r.squared	adj.r.squared	sigma	p.value
0.6336	0.5878	0.1178	0.0059

Taula 6: coeficients de la correlació entre salRX i la sal analítica

term	estimate	std.error	statistic	p.value
(Intercept)	0.8106	0.3082	2.6299	0.0302
salRX12	0.3365	0.0905	3.7191	0.0059

Si superposem les dues gràfiques tenim el següent:



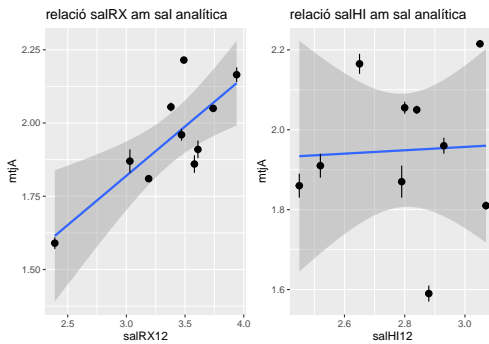
En el aquest gràfic es fa palès l'evolució que té la sal amb l'aparell de Multiscan MXV-MEAT 6025 ADVANCED (RX, vermell) i amb l'aparell Ham Insperctor per mesura de sal(negre).

Per experiència i evidència analítica sabem que a mesura que passen els dies el pernil adquireix més sal. L'aparell RX ho mostra mentre que l'aparell HI no ho mostra.

Correlació analítica

Els pernils al final del salat els hem portat a picar fins una pasta fina i hem agafat dues mostres de cada pernil. S'han analitzat pel mètode titrino que és el mètode que es fa servir per l'ETG (etiqueta tradicional garantida) del pernil serrà.

Fem el gràfic de la sal analítica en el moment 12 respecte als valors del RX i HI dels 10 pernils salats amb coixinera.



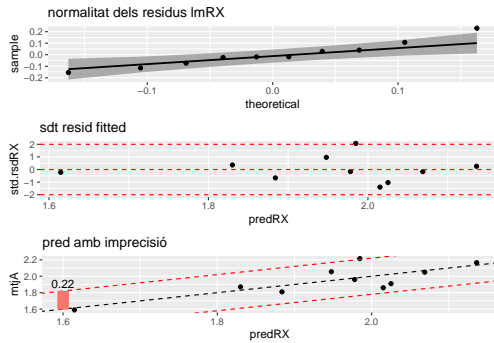
Pel gràfic es veu que la regressió amb la sal analítica amb la salHI té un pendent de zero dins de la banda de confiança de la regressió lineal; per tant no hi ha correlació.

Analtzarem les correlacions lineals i buscarem la imprecisió de la sal RX respecte la sal analítica.

Taula 7: la imprecisió la mesura analítica a partir del valor salRX

x
0.22

Els residus són normals



En els residus no s'hi veu cap patró. Tot i que aniria bé tenir més dades.

El valor de sal que ens doni RX al passar-lo a sal analítica amb la fórmula de regressió li hem d'afegir una imprecisió de ± 0.22

Objectius del experiment: triar l'aparell per mesurar la sal

Comparar els dos aparells de mesurar la sal per saber quin és l'idoni per al nostre procés.

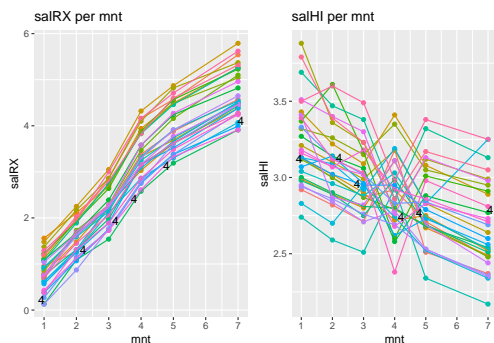
Tenir suficients dades per poder modelar el comportament de l'adquisició de sal pel pernil en funció del temps.

Avaluar quines són les covariables d'interès per poder modelar el comportament de la salaò del pernil cerretà.

Comparació RX amb HI quant a mesura de sal

Recordem que per elegir l'aparell de mesurar la sal hem fet dos experiments, un amb coixí i que ja n'hem fet els gràfics.

També hem fet una comparació de mesura de la sal amb pila tradicional i hem bufat els pernils per mesurar-los i ara mostrem els gràfics per veure'n la diferència que hi ha hagut entre la mesura de la sal amb l'aparell HI i RX.



Poso la línia d'un pernil per tal que es vegi la trajectòria.

Taula 8: repetitivitat en les mesures de sal RX en la prova del bombo

	x
sd_rb	0.0635
RSME_rb	0.0633

Conclusió

L'aparell idoni per mesurar la sal és el Multiscan MXV-MEAT 6025 ADVANCED (Multiscan Technologies SL Concentaina).

Aquest aparell té un comportament lògic al llarg del temps i té relació amb la sal analítica.

Repetibilitat de la mesura de la sal

Dades

Descripció de les dades:

Tenim dos arxius en els que hem repetit les mesures. Un correspon als 19 pernils salats amb el bombo que un cop han acabat el repòs de 10 en la cambra freda els hi fem unes mesures de sal repetides.

L'altre correspon als 30 pernils salats a pila que també un cop els hi hem fet el repòs corresponent de 10 dies els hi fem unes mesures de sal repetides amb l'aparell Multiscan MXV-MEAT 6025 ADVANCED de l'empresa Multiscan Technologies S.L. de Concentaina (Alacant) Pol. Ind. Els Algars C/ La Safor, 2.

Càlcul de la repetitivitat de les mesures

Miraré la repetitivitat de les mesures de l'aparell Multiscan MXV-MEAT 6025 ADVANCED quant a la mesura de sal en las dues proves i també conjuntament.

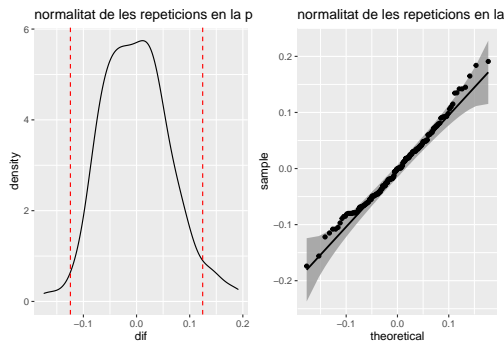
Repetitivitat en la mesura de sal en la prova de salat al bombo

El que miraré seran les diferències que hi ha entre cada mesura del mateix pernil i la mitjana de les mesures fetes en el mateix pernil. Això ens donarà un conjunt de 193 diferències que, si siguessin zero, voldria dir que l'aparell repeteix la mesura de la sal en diferents valors de sal i sempre és igual.

Evidentment aquest no és el cas i així sabrem quan l'aparell dóna una mesura de sal amb quina imprecisió el podem considerar.

Primer calculo la desviació Standard de les diferències així com RSME de les diferències.

Ara comprovarem la normalitat de les repeticions.



Taula 9: repetitivitat en les mesures de sal RX en la prova del salat a pila

	x
sd_rp	0.0687
RSME_rp	0.0685

Tal com es veu en la corba de densitat com en la recta de la normalitat podem considerar que aquestes dades segueixen una distribuci3 normal.



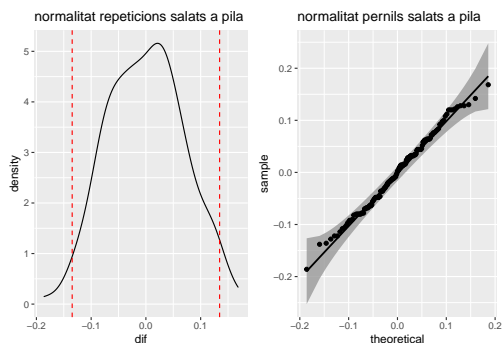
Hi ha 193 punts que s3n les difer3ncies amb la mitjana de cada repetic3 i el 95% estan dins l'interval ± 0.12 ja que nom3s hi ha 9 punts fora de l'interval que 3s menys del 5%

Aix3, quan ens doni un valor, per l'exemple 2, hem de dir 2 ± 0.12

Repetitivitat en la mesura de sal en la prova de salat a pila

En aquest cas seguirem el mateix procediment que l'anterior, aix3 buscarem la desviaci3 Standard de les difer3ncies amb la mitjana de cada mesura d'un pernil concret i el RSME de les difer3ncies.

Ara comprovarem la normalitat de les repeticions.



Tal com es veu tant en la corba de densitat com en la recta de la normalitat, podem considerar que aquestes dades segueixen una distribuci3 normal.

Els tests de normalitat donen:

```
##
## Normality Tests
##
## -----
##
## Shapiro-Wilk normality test
```

Taula 10: repetitivitat salat a pila

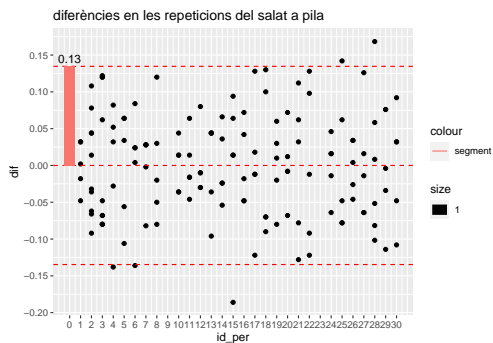
x
0.13

Taula 11: repetitivitat en les mesures de sal RX tant en la prova del bombo com a pila

	x
sd_rj	0.0657
RSME_rj	0.0656

```
##
## data: RepP$dif
## W = 0.99235, p-value = 0.5996
##
## Anderson-Darling normality test
##
## data: RepP$dif
## A = 0.34601, p-value = 0.4784
##
## Jarque Bera Test
##
## data: RepP$dif
## X-squared = 1.4342, df = 2, p-value = 0.4882
```

Hi ha normalitat ja que no es pot rebutjar la hipòtesi de normalitat.

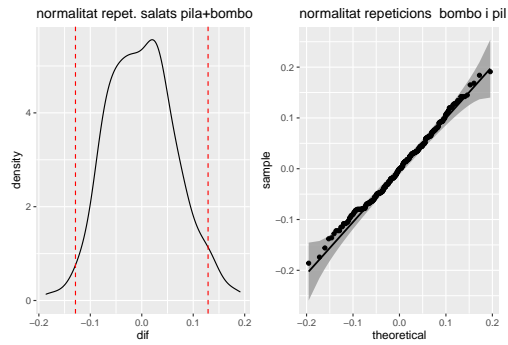


En aquest cas ens surt lleugerament superior ja que en arrodonir-ho en dos decimals passem a ± 0.13

El conjunt de les dues proves quant a repetitivitat

Primer ajuntarem els dos arxius en un de sol.

Ara comprovarem la normalitat de les repeticions.



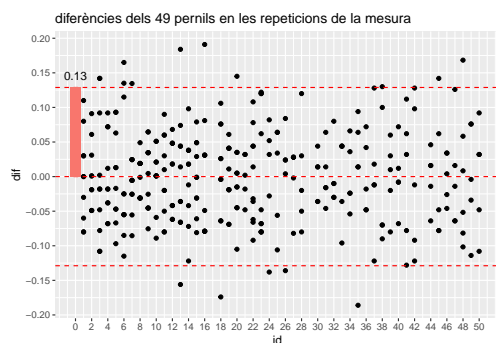
Tal com es veu en la corba de densitat com en la recta de la normalitat podem considerar que aquestes dades segueixen una distribució normal.

Tests de normalitat.

```
##
## Normality Tests
##
## -----
##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: DFJ$dif
## W = 0.99429, p-value = 0.2269
##
## Anderson-Darling normality test
##
## data: DFJ$dif
## A = 0.61198, p-value = 0.1107
##
## Jarque Bera Test
##
## data: DFJ$dif
## X-squared = 2.3169, df = 2, p-value = 0.314
```

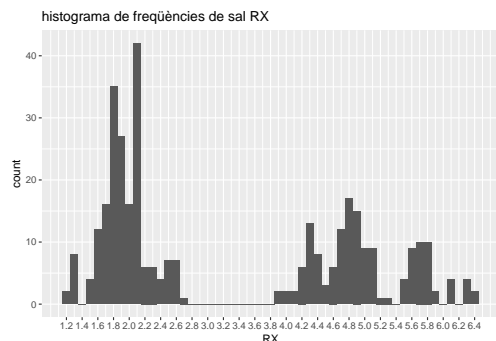
No es pot rebutjar la hipòtesi de normalitat.

Imprecisió de la mesura



Hi ha $19+30=49$ pernils amb mesures repetides per a cada un. Hi ha 344 diferències mesurades i hi ha 15 punts fora de la banda, que és menys del 5% d'error.

Conclusió



En el rang de salRX es veu un buit entre 2.67 i 3.91. Hi ha dos rangs un que va de 1.2 a 2.67 i l'altre de 3.91 a 6.45. Els valors en els que treballarem seran sempre en el primer interval ja que és el desitjable en acabar el procés de salat.

Tot i aquest buit entre el 2.67 i el 3.91, per a tots els treballs d'aquí en endavant considerarem que l'error degut a la repetitivitat és ± 0.13

Objectius dels experiments

Tradicionalment s'havia acceptat que el salat a bombo era la manera d'obtenir menys variabilitat en el salat dels pernils, ja que li afegiem la sal desitjada i cada pernil l'absorvia en un moment rècord de temps gràcies a un fregament intens entre pernils.

En el fons, durant el procés a bombo esperem que l'absorció de la sal en cada pernil sigui més o menys igual. El que no fem és tractar-los individualment. Com a màxim podem agrupar per pes i des de fa poc, per greix, i així tenir un conjunt més homogeni de pernils al bombo. Això ho podria millorar i els estariem tractant per grups o clústers.

Evidentment l'altre opció era extreure els pernils de la pila en funció de l'única cosa que podíem mesurar que era el pes i també, des de fa poc temps, el greix. Així aquí també, com a màxim, els estariem tractant com a grups o clústers però no individualment.

La nova tecnologia del rajos X ens permet mirar el nivell de sal en cada moment del salat. Això ens facilita tenir més covariables per decidir el moment d'extreure el pernil de la pila de sal i per tant ens obre noves possibilitats de tractar més individualment cada pernil.

El que volem fer és un model per decidir per a cada pernil individualment i avaluar si cal treure'ls en cada instant en funció de la millora de variabilitat.

¿Quin procés té millor precisió pila o bombo?

En aparèixer la manera de mesurar la sal sense destruir el pernil podem tenir dades longitudinal i ens preguntem:

¿Quin és el procés que té millor precisió en el contingut de sal?

Sempre en el ben entès que haurem d'extreure els pernils segons el que ens indiquin les covariables que mesurem. Necessitarem fer un model amb els pernils salats a pila i comparar-ne la precisió obtinguda amb el procés a bombo. En tenir només 30 pernils per fer el model podrem fer una simulació amb uns pernils que segueixin les mateixes densitats de probabilitat de les covariables i les correlacions entre elles, així en tenir un nombre més gran de pernils obtindrem una imprecisió més ben calculada.

També caldrà avaluar el nombre de cops al dia que podem fer extraccions i veure'n la millora de precisió per poder decidir quantes en farem en funció del cost respecte a la millora de qualitat entesa com la reducció de de la imprecisió.

El procés a bombo

Introducció



Figura 19: “cerretà fresc”

En el procés de salar en bombo hem agafat dos lots de pernills Cerretans sense os de 9 i 10 unitats.

Hem polit els pernills amb ganivet, un a un per tal de llevar-los les pelleringues de carn que es podrien desprendre en el procés mecànic del bombo. Seguidament els hem pesat per tal de comptar la sal que els hi hauríem d'afegir a raó de 25 gr./Kg de pes.

Primer hem fet una sessió de salat per als pernills posant-los la sal al cim i introduint-los en el bombo amb la sal que ens sobrava de posar-la al cim de cada pernil.

El procés s'ha fet al vuit durant 2 hores amb una velocitat de rotació del bombo de 7 rpm sense parar amb el Bombo Lutetia model 17608.

Després de fer el primer lot s'ha fet el segon i hem anomenat cada lot de pernills segons el bombo com a 1 o 2.



Figura 20: pernil dins del bombo

Un cop salats, s'els ha adicionat la sal nitrificada a cada pernil un a un. Hem adicionat a cada pernil 17.8 gr dels quals n'hi havia 15 de sal.

Taula 12: sal mitjana afegida als pernilla del bombo en gr/Kg

x
26.91

Taula 13: correspondència entre la salRX24 salRX10d i gr/Kg afegits al bombo

	x
msalRX24h	1.69
msalRX10d	1.94
gr/Kg	26.91

En el fons del bombo en cada cas hi quedava suc però era poc i amb algun tros de carn. Els pernills els hem pesat el dia següent.

Els pernills han sortit sense sal sòlida aparent al cim del pernil. Tot i que bastant rebregats de tant que s'han fregat entre ells.



Figura 21: pernil sortit del bombo

Correspondència entre gr/Kg afegit i salRX

Calculo la mitjana ponderada pel pes de tots els pernills i faig correspondre la mitjana dels gr/Kg amb la qual hem salat els pernills amb el valor de la mitjana ponderada de tots els pernills mesurats amb el Multiscan, tant a les 24 hores com després del repòs de 10 dies.

Això ens dóna una idea del que hem de demanar individualment, ja que tenim l'experiència que, amb aquesta dosificació de sal, els pernills a bombo surten bé i el que volem és millorar-ne la precisió ja que sempre notem peces més salades unes respecte les altres.

Repetitivitat

En el capítol de repetitivitat hem calculat la imprecisió, que és ± 0.13 segons la mesura de salRX.

Variabilitat entre la sal de cada pernil

Si comparem la variabilitat entre valors dels pernills a 24 h i a 10 dies, és més alta tot i que no és significativa la diferència

	x
sd24h	0.24
sd10d	0.30
pValor	0.80

Amb un p valor de 0.8 vol dir que no podem rebutjar la hipòtesi que tenen el mateix valor de variància.

Evidentment la variabilitat que tenim és la de 10 dies, per tant, és de la que partirem.

La imprecisió total serà la d'entre pernils més la repetitivitat per tant tenim:

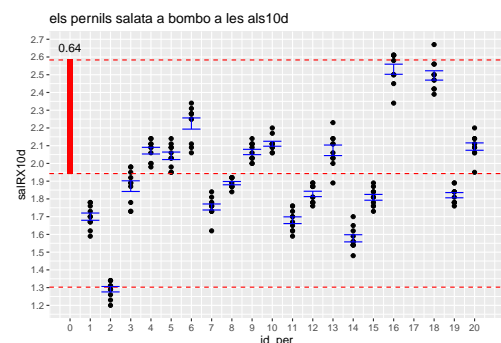
	x
variància total	0.09
percentatge de variància corresponent a entre pernils...	84.17
imprecisió del bombo	0.64

Càlcul de la imprecisió del procés

Per obtenir la imprecisió del bombo sumem la variància d'entre pernils més la variància de repetitivitat i fem l'arrel quadrada.

	x
variabilitat en % sobre la mitjana	32.96
la mitjana mesurada per RX als 10 dies	1.94

Aquí fem el gràfic del arxiu on tenim totes les repeticions dels 19 pernils que hem mesurat.



Els segments blaus és CI de la mitjana de cada pernil.

Conclusió

La mitjana dels salat a bombo als 10 dies dona un resultat de 1.94 amb una imprecisió de ± 0.64 que en percentatge respecte a la mitjana és aproximadament un $\pm 33\%$

El procés a pila

Introducció

Descripció del procés.

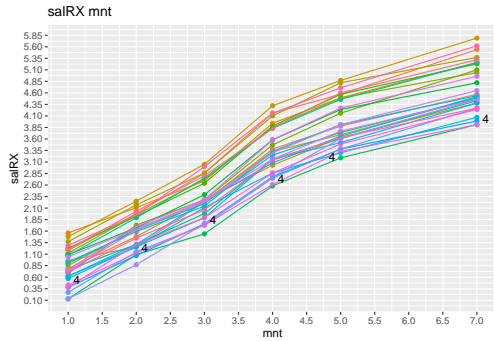
Hem salat a pila 30 pernils cerretans. Això vol dir que els hem posat en 3 bags de plàstic, a raó de 10 pernils per cada un, en una sola filera d'alçada. Hem posat una sola filera per no tenir una variable més que seria la fila en la que està cada pernil.

Primer els hem posat a cada un la sal de nitrificar a 17 gr/peça dels quals 15 són de sal. Seguidament els hem cobert amb sal tipus 3 (granada) reciclada deixant-los coberts de sal.

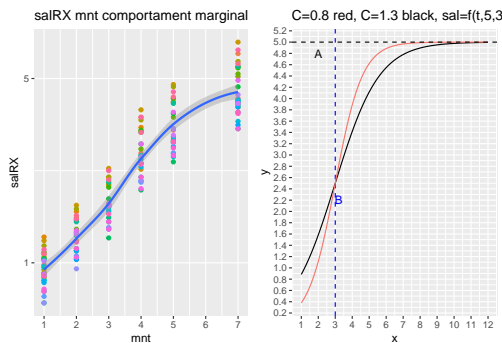
L'objectiu d'aquest experiment era portar-los a un nombre de dies més llarg de l'usual per poder modelar més tard el comportament futur i obtenir un model.

Els pernils els varem pesar un dilluns i el mateix dilluns els cobrírem de sal. Així, el dilluns següent era el moment 7. Com a màxim els havíem de salar el que és usual, que són 0.5 dies per Kg de pes inicial, que hagués estat al voltant dels 4 dies i en canvi hi romangueren 7 dies.

Ara mirarem el gràfic de cada pernil i així tenim l'Spagehetti plot.



He dibuixat la trajectòria del pernil 4 com a mostra d'una evolució qualsevol. Si mirem el comportament mitjà de la corba de salat tenim el comportament marginal.



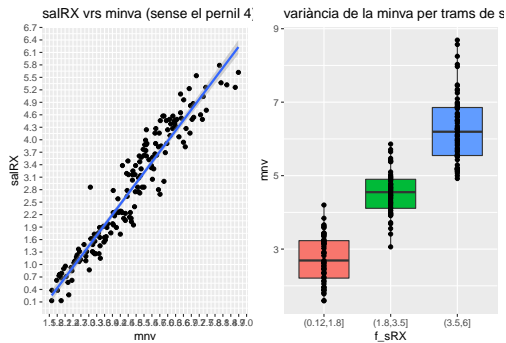
Totes aquestes corbes fan pensar en un comportament que podria seguir una funció logística.

Un comportament del procés com el descrit per a una corba logística té tot el sentit quan parlem de salar els pernils. A partir del moment que els deixem a la pila, es saturaran de sal i no n'agafaran més: aquest seria el paràmetre de saturació de la corba.

També és lògic que, quan hi ha poca concentració de sal en el pernil, la velocitat de salaó sigui més ràpida i a mesura que n'hi ha més, es freni. Això és precisament el que ens mostra un model logístic.

A més, la derivada de la logística és una normal que ens descriuria aquesta velocitat de salar-se de cada pernil. Això és un paràmetre de cada pernil que, més endavant, hem de veure quines covariables l'influïxen.

Ara mirarem les correlacions lineals entre covariables per veure quines poden ser d'interès.



```
##          f_sRX          mnv
## 1 (0.12,1.8] 0.4226614
## 2 (1.8,3.5] 0.3501203
## 3 (3.5,6] 0.8330110
```

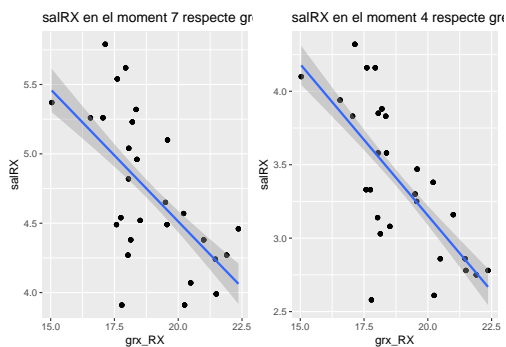


```
##
## Bartlett test of homogeneity of variances
##
## data: T_1.c$mnv by T_1.c$f_sRX
## Bartlett's K-squared = 12.76, df = 2, p-value = 0.001695
```

Hi ha una bona correlació entre salRX i minva, tot i que no es veu homocedàstica, ja que la variància és més petita de 0.05 en el test i per tant es descarta la hipòtesi d'homocedasticitat.

Per un problema de pèrdua d'ordre només tenim 28 pernils comparables quant a greix que són els que farem servir per veure'n si és una covarible d'interès.

Miraré la sal final(mnt=7 i mnt=4) segons el greix.



Es veu una correlació però no tan forta com amb la minva i per això ni cal mirar la homocedasticitat.

Models no lineals mixtos del procés

Primer entro les dades de 28 pernils Cerretans que hem salt a pila o sigui pel sistema tradicional de primer nitrificar-los amb sal nitrificada un a un (15 sal gr/peça més nitrificants 2.7 gr/peça) i després colgar-los de sal reciclada (amb humitat alta aprox 4%). Els hem mesurat cada dia amb l'aparell de rajos X Multiscan i hem obtingut les dades de sal i les inicials quant a pes i greix.

Tenim l'arxiu T28 que conté el pes, el greix i la resta de mesures diàries com la minva i la sal.

Escric la funció logística que depèn, a part del temps (mnt), de tres paràmetres A,B i C

$$f(t, A, B, C) = \frac{A}{1 + \exp\left(-\frac{t-B}{C}\right)}$$

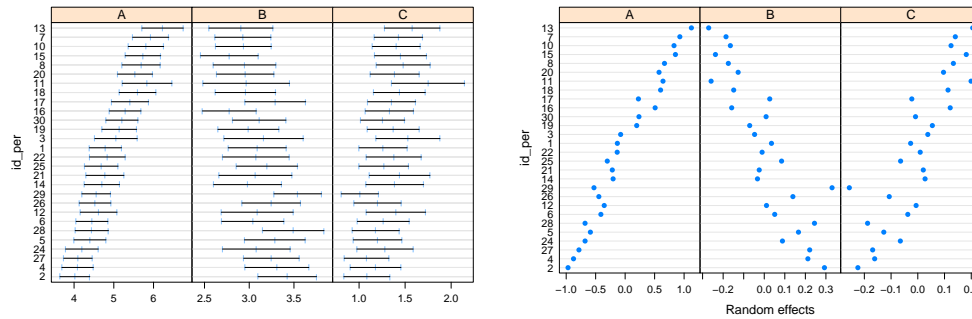
El paràmetre A és el valor de la saturació o sigui si deixem passar suficient temps és el valor màxim al que arribaria.

El paràmetre B és el temps que tarda a arribar a la meitat del valor de saturació.

El paràmetre C ens diu com de rost és la part central de la S logística o sigui la podem assimilar a la velocitat que entra la sal. Com més gran és va més lenta a créixer i quan més petita més rosta.

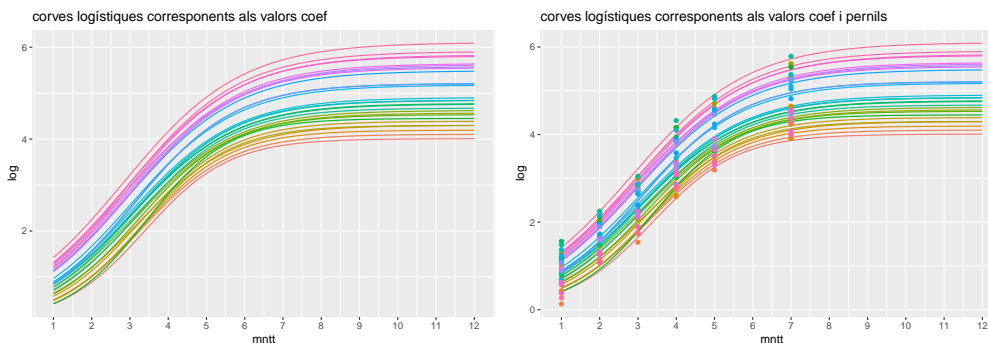
També tenim l'arxiu T28.l que és l'arxiu "long" de l'anterior i amb aquest fem un model no lineal individual per cada pnil suposant que segueixen una corba logística.

A partir del model individual fet amb nlsList, fem un model nlme per al grup que té els següents gràfics quant als paràmetres de les logístiques.

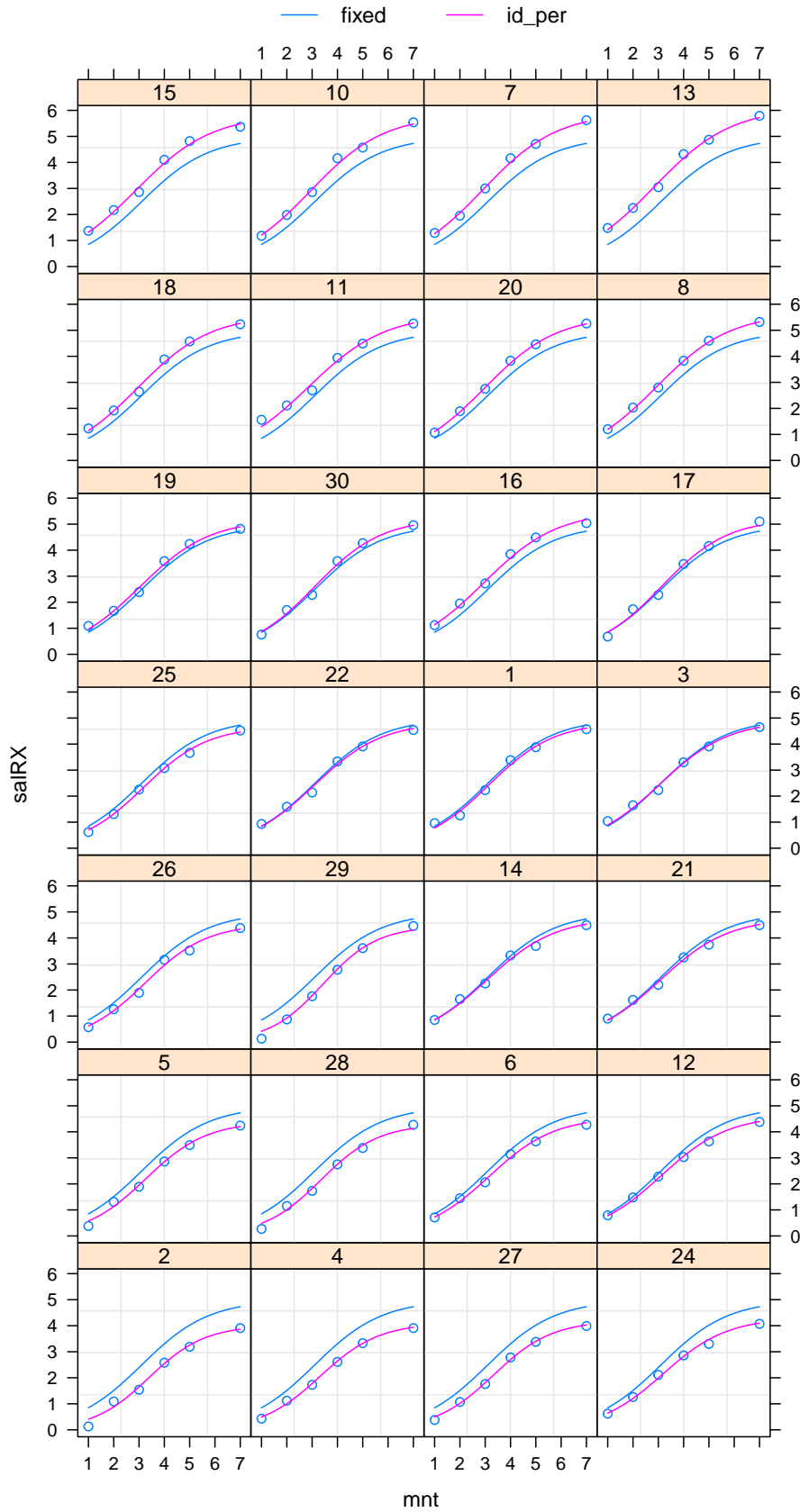


El model que hem fet només depen del temps que anomenem “moment” i que està en dies.

```
## Nonlinear mixed-effects model fit by maximum likelihood
## Model: salRX ~ SSlogis(mnt, A, B, C)
## Data: T28.1
## Log-likelihood: 37.08847
## Fixed: list(A ~ 1, B ~ 1, C ~ 1)
##      A      B      C
## 4.978500 3.098593 1.326187
##
## Random effects:
## Formula: list(A ~ 1, B ~ 1, C ~ 1)
## Level: id_per
## Structure: General positive-definite, Log-Cholesky parametrization
##      StdDev  Corr
## A      0.6051935 A      B
## B      0.1738497 -0.874
## C      0.1333888  0.868 -1.000
## Residual 0.1267818
##
## Number of Observations: 168
## Number of Groups: 28
```



No obstant, les gràfiques que mostren el comportament de cada un dels pernils són:



En el segon conjunt de gràfiques es constata la correlació que ens dona entre B i C que en el resum de nlme ens donava -1.

En tenir aquesta correlació podem agrupar el coeficient B i C en un de sol si busquem la correlació lineal.

```
##           A           B           C
## A  1.0000000 -0.9256847  0.9213366
## B -0.9256847  1.0000000 -0.9999357
## C  0.9213366 -0.9999357  1.0000000

##
## Call:
## lm(formula = B ~ C, data = co)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.0047127 -0.0011257  0.0001163  0.0015214  0.0032011
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  4.831175   0.003870  1248.3  <2e-16 ***
## C          -1.306438   0.002905  -449.7  <2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.001959 on 26 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.9999, Adjusted R-squared:  0.9999
## F-statistic: 2.023e+05 on 1 and 26 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Com es pot veure la correlació de B en funció de C té una $R^2 = 99.99\%$ Així escrivim la funció lineal de B en funció de C

$$B = 4.831 - 1.3C$$

Funció no lineal amb dos paràmetres i el seu Model

$$f(t, A, B, C) = \frac{A}{1 + e^{-(t-(4.831-1.3C))/C}} = \frac{A}{1 + 0.273e^{-(t-4.831)/C}}$$

Escriuré una nova funció logística que només tindrà dos paràmetres; en aquest cas, en estar correlada B i C em quedaré amb els paràmetres A i C.

Aquests són els nous coeficients per a la nova mlsList calculant la logística que només té dos paràmetres per cada pernil. El coeficient B es calcula a partir del C ja que la correlació era de -1.

```
## Nonlinear mixed-effects model fit by maximum likelihood
## Model: salRX ~ logis2(mnt, A, C)
## Data: T28.l
## Log-likelihood: 37.11226
## Fixed: list(A ~ 1, C ~ 1)
##           A           C
## 4.98364 1.32951
##
## Random effects:
## Formula: list(A ~ 1, C ~ 1)
## Level: id_per
## Structure: General positive-definite, Log-Cholesky parametrization
##           StdDev      Corr
```

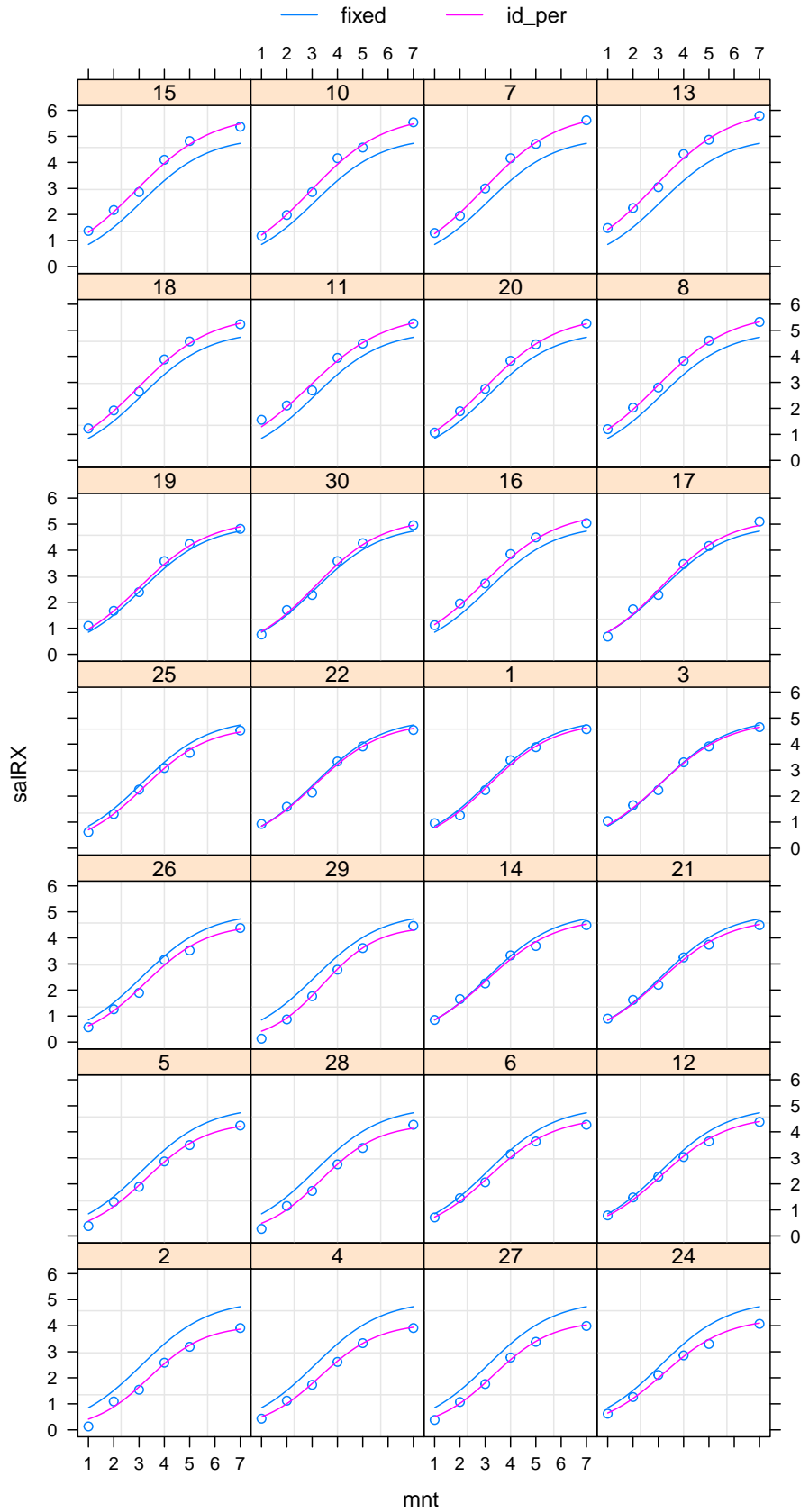
```
## A      0.6065197 A
## C      0.1336716 0.87
## Residual 0.1267575
##
## Number of Observations: 168
## Number of Groups: 28
```

Aquest és el nou model de nlme a partir del nList de cada corba. Encara hi ha un 87% de correlació entre A i C.

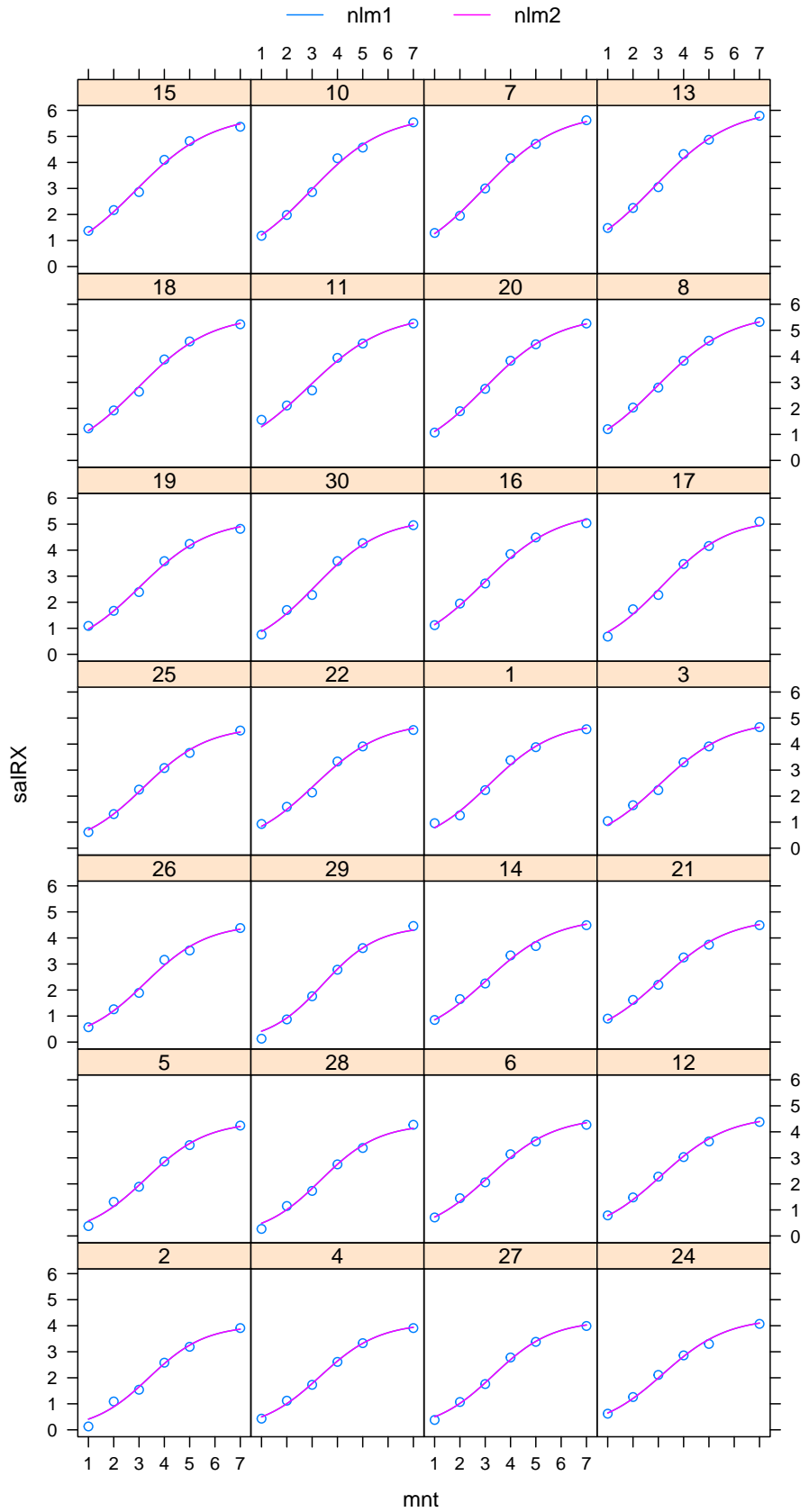
Ara compararé els dos models el primer que té tres paràmetres per corba i el segon que només en té dos.

```
##      Model df      AIC      BIC  logLik  Test  L.Ratio p-value
## nlm1    1 10 -54.17694 -22.93730 37.08847
## nlm2    2  6 -62.22452 -43.48074 37.11226 1 vs 2 0.04758442 0.9997
```

El model nlm2 té millor AIC,BIC i logLik. A més té menys paràmetres i per al pValor ens diu que, en ser superior a 0.05 no hi pot veure diferència, per tant el millor model és el nlm2.

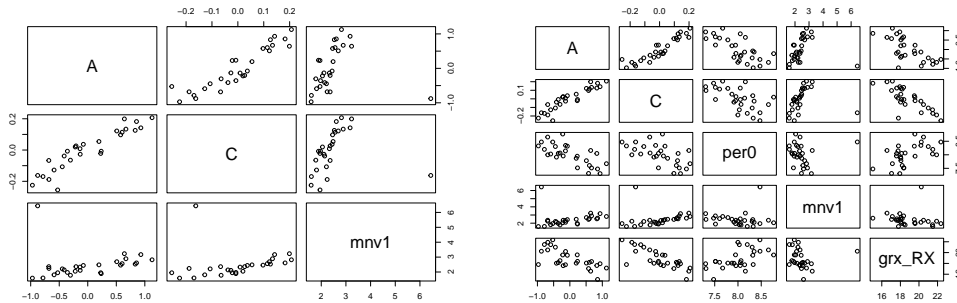


Hi ha la corba que passa per cada pernil i en blau la marginal.



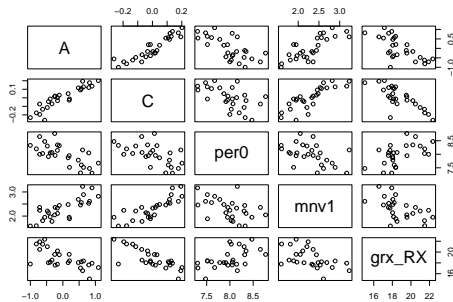
Si superposem els models pràcticament no es veu diferència.

Ara mirarem si hi ha alguna relació de les covariables que es mantenen constants al llarg del procés amb l'evolució o sigui amb el paràmetres de la corba.



Sembla que hi ha una certa correlació entre el per0 i el paràmetre A, més que amb el C. A la mnv1 s'hi veu una correlació similar tant en el A com en el C. La millor correlació entre el greix i els paràmetres de la corba la trobem entre el paràmetre C i el grx.

També es veu un pernil molt atípic que en el moment 1 té una minva del 6% que pot ser un error i, per tant, el llevarem.



Així és veu més clar sense el valor atípic del pernil 4.

```
## Nonlinear mixed-effects model fit by maximum likelihood
## Model: salRX ~ logis2(mnt, A, C)
## Data: T28.12
##      AIC      BIC    logLik
## -33.25468 -17.8167 21.62734
##
## Random effects:
## Formula: list(A ~ 1, C ~ 1)
## Level: id_per
## Structure: Diagonal
##           A          C Residual
## StdDev: 0.6005121 0.1343987 0.1281145
##
## Fixed effects: list(A ~ 1, C ~ 1)
##      Value Std.Error DF t-value p-value
## A 5.016771 0.11755948 134 42.67432    0
## C 1.337786 0.02786759 134 48.00508    0
## Correlation:
## A
```

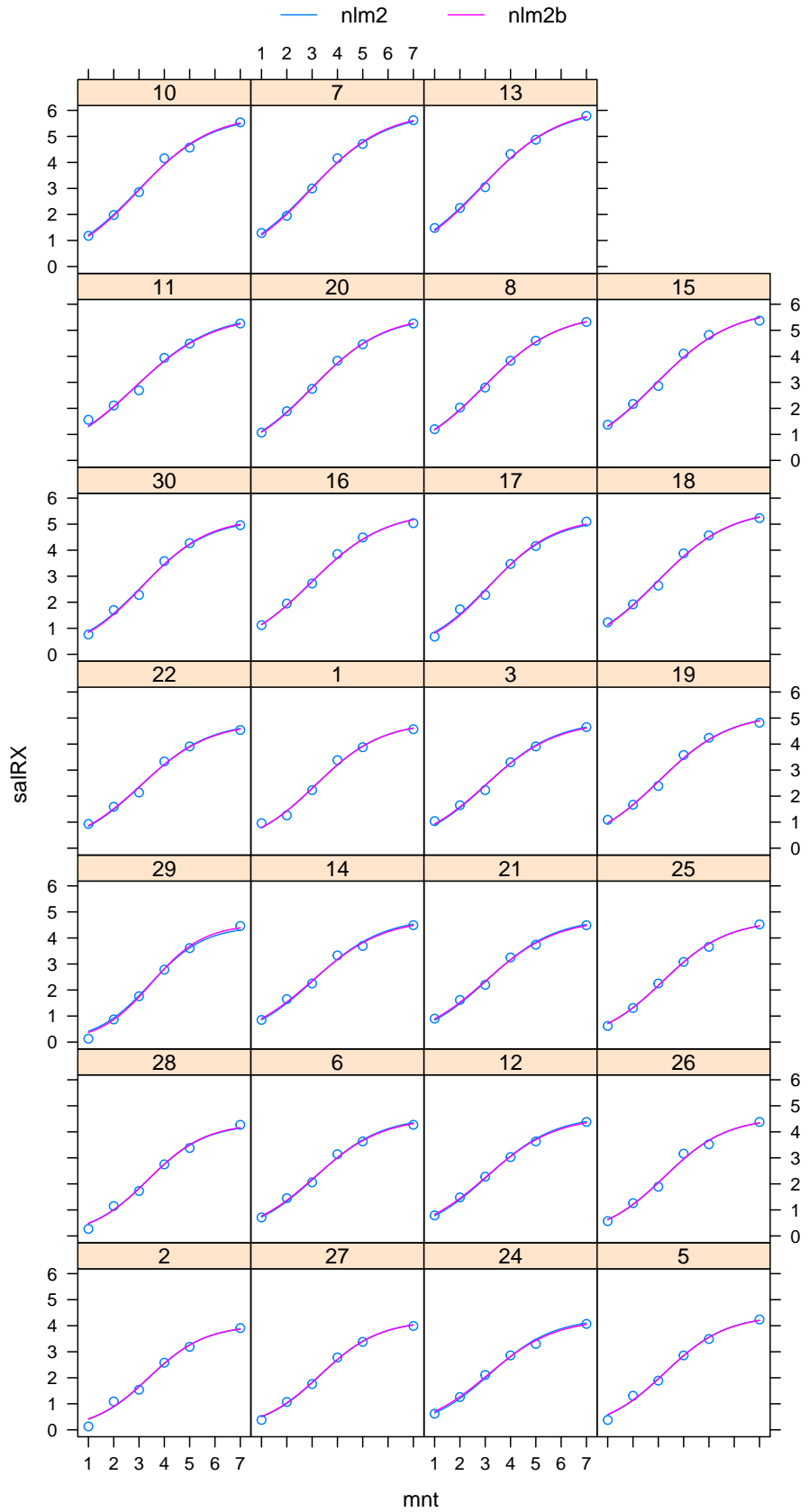
```

## C -0.018
##
## Standardized Within-Group Residuals:
##      Min      Q1      Med      Q3      Max
## -2.27568682 -0.56787293  0.08144157  0.58009476  1.85338295
##
## Number of Observations: 162
## Number of Groups: 27

##      Model df      AIC      BIC  logLik  Test L.Ratio p-value
## nlm2      1  6 -57.06439 -38.53881 34.53219
## nlm2b     2  5 -33.25468 -17.81670 21.62734 1 vs 2 25.8097 <.0001

```

Aquí el p Valor és significatiu i cal agafar el model que és millor o sigui el nlm2 ja que té un valors de AIC,BIC i logLik més baixos

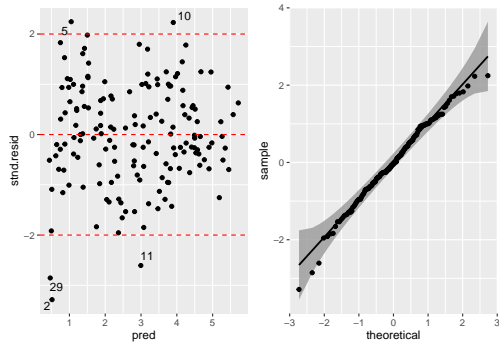


Si comparem amb l'anterior entre dos models, en la primera només es veia el color vermell i ara es veur el blau i el vermell que marca que hi ha diferència.

```
## Nonlinear mixed-effects model fit by maximum likelihood
## Model: salRX ~ logis2(mnt, A, C)
## Data: T28.l2
##      AIC      BIC   logLik
## -108.5021 -74.53856 65.25106
##
## Random effects:
## Formula: list(A ~ 1, C ~ 1)
## Level: id_per
## Structure: General positive-definite, Log-Cholesky parametrization
##           StdDev   Corr
## A.(Intercept) 0.27479110 A.(In)
## C.(Intercept) 0.03547809 0.735
## Residual      0.12848530
##
## Fixed effects: list(A ~ per0 + grx_RX + mnv1, C ~ grx_RX + mnv1)
##           Value Std.Error DF   t-value p-value
## A.(Intercept)  9.582454 1.5320736 129  6.254565 0.0000
## A.per0        -0.636215 0.1780513 129 -3.573212 0.0005
## A.grx_RX      -0.059013 0.0417042 129 -1.415034 0.1595
## A.mnv1         0.706237 0.1609566 129  4.387750 0.0000
## C.(Intercept)  1.725373 0.2093481 129  8.241646 0.0000
## C.grx_RX      -0.041944 0.0082902 129 -5.059422 0.0000
## C.mnv1         0.173480 0.0342592 129  5.063762 0.0000
## Correlation:
##           A.(In) A.per0 A.g_RX A.mnv1 C.(In) C.g_RX
## A.per0      -0.780
## A.grx_RX    -0.232 -0.398
## A.mnv1      -0.644  0.227  0.373
## C.(Intercept) 0.194 -0.002 -0.266 -0.229
## C.grx_RX    -0.185  0.002  0.284  0.157 -0.946
## C.mnv1     -0.146 -0.001  0.146  0.297 -0.772  0.530
##
## Standardized Within-Group Residuals:
##           Min           Q1           Med           Q3           Max
## -2.99144442 -0.57124909 -0.04384699  0.63559759  2.02872443
##
## Number of Observations: 162
## Number of Groups: 27
##           Model df      AIC      BIC   logLik   Test  L.Ratio p-value
## nlm2      1 6  -57.06439 -38.53881 34.53219
## nlm4      2 11 -108.50212 -74.53856 65.25106 1 vs 2 61.43774 <.0001
```

Tornem a tenir un model millor que és el nlm4, però en aquest hi ha el valor de p per el A.grx que no és significatiu.

Els residus d'aquest model són molt raonables ja que es veu un núvol de punts sense cap relació.

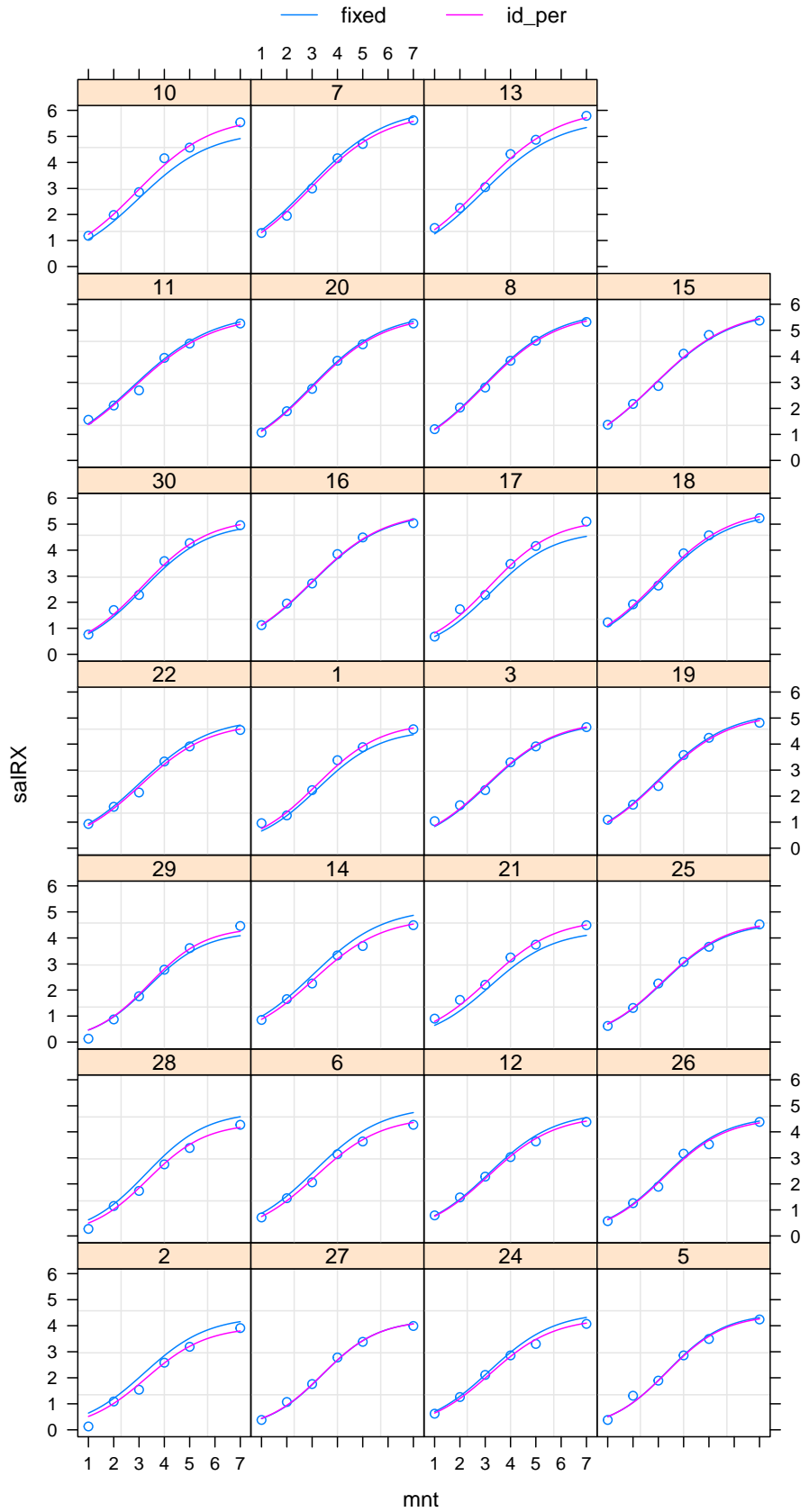


Es veu una bona normalitat.

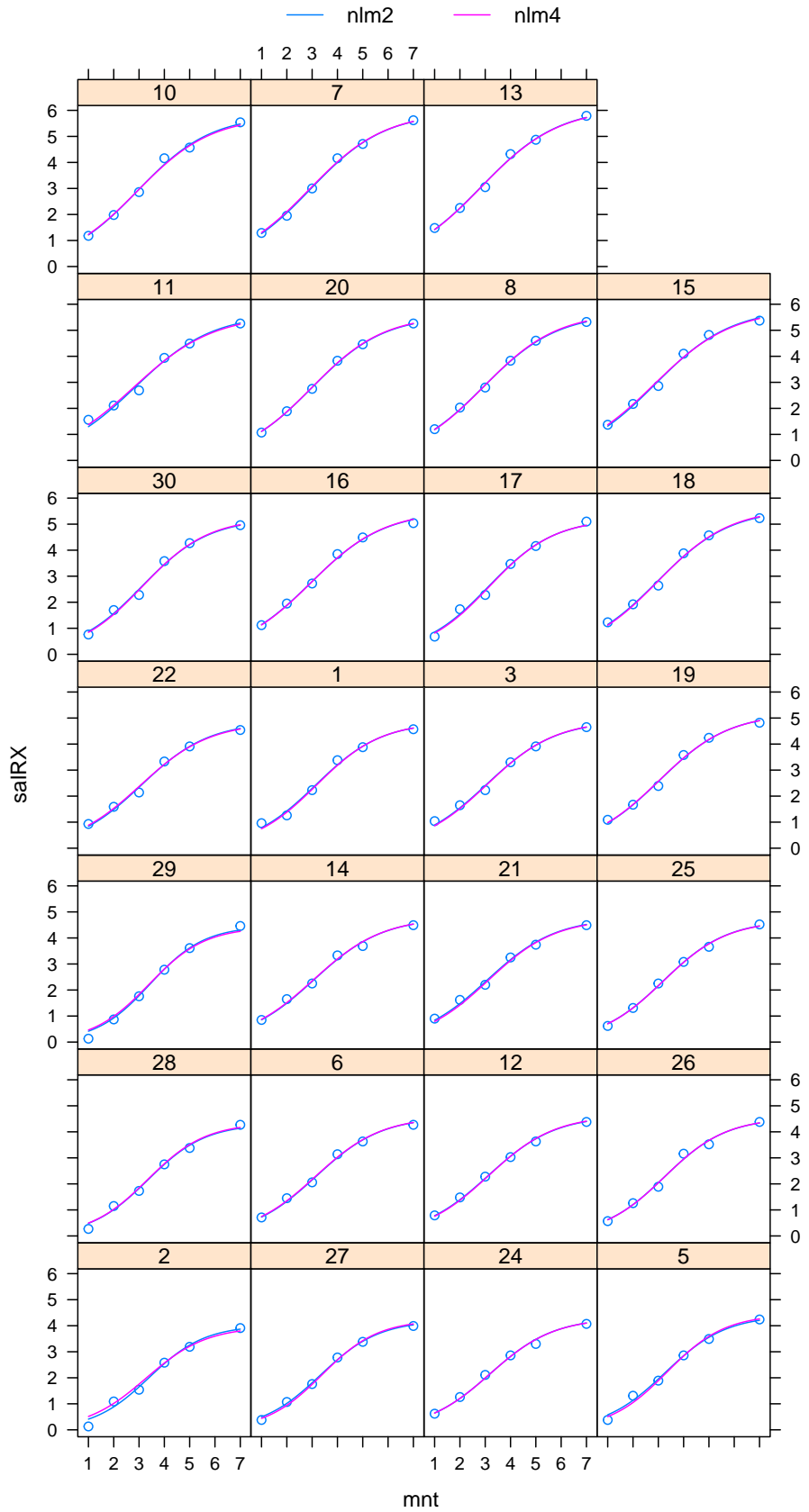
Fem els testos:

```
##
## Normality Tests
##
## -----
##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: resid(model)
## W = 0.99014, p-value = 0.3215
##
## Anderson-Darling normality test
##
## data: resid(model)
## A = 0.2917, p-value = 0.603
##
## Jarque Bera Test
##
## data: resid(model)
## X-squared = 2.6788, df = 2, p-value = 0.262
```

No es pot rebutjar la normalitat.



La comparació entre nlm2 i nlm4.



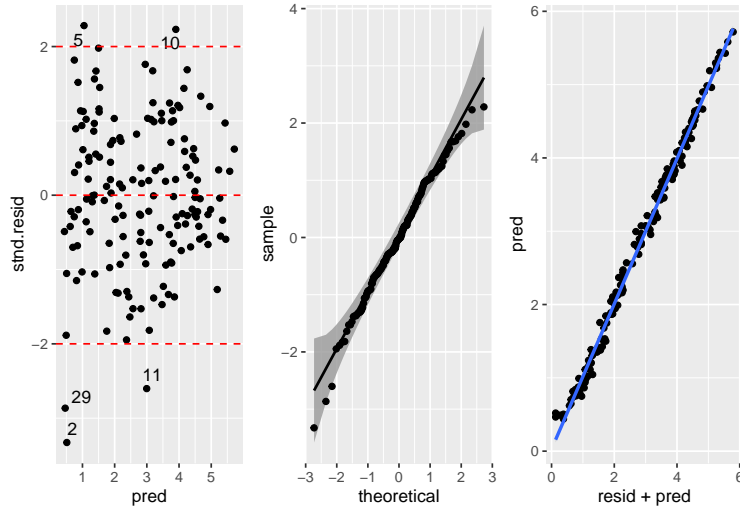
Ara farem un altre model corregint l'únic pvalor alt de les covariables.

```
## Nonlinear mixed-effects model fit by maximum likelihood
## Model: salRX ~ logis2(mnt, A, C)
## Data: T28.l2
##      AIC      BIC   logLik
## -108.5148 -77.63882 64.25739
##
## Random effects:
## Formula: list(A ~ 1, C ~ 1)
## Level: id_per
## Structure: General positive-definite, Log-Cholesky parametrization
##           StdDev   Corr
## A.(Intercept) 0.28790332 A.(In)
## C.(Intercept) 0.03566072 0.765
## Residual      0.12851377
##
## Fixed effects: c(A ~ per0 + mnv1, C ~ grx_RX + mnv1)
##           Value Std.Error DF   t-value p-value
## A.(Intercept) 9.112296 1.5396912 130  5.918262    0
## A.per0        -0.740376 0.1686772 130 -4.389304    0
## A.mnv1         0.789900 0.1550834 130  5.093387    0
## C.(Intercept) 1.646907 0.2004618 130  8.215567    0
## C.grx_RX      -0.038610 0.0078834 130 -4.897584    0
## C.mnv1         0.180409 0.0338093 130  5.336092    0
## Correlation:
##           A.(In) A.per0 A.mnv1 C.(In) C.g_RX
## A.per0        -0.977
## A.mnv1         -0.616  0.439
## C.(Intercept)  0.152 -0.131 -0.156
## C.grx_RX       -0.137  0.141  0.061 -0.941
## C.mnv1         -0.125  0.067  0.284 -0.769  0.513
##
## Standardized Within-Group Residuals:
##           Min      Q1      Med      Q3      Max
## -3.03154460 -0.56642280 -0.03108873  0.65710487  2.06377754
##
## Number of Observations: 162
## Number of Groups: 27
```

Comparant els dos models tenim:

```
##      Model df      AIC      BIC   logLik   Test L.Ratio p-value
## nlm4     1 11 -108.5021 -74.53856 65.25106
## nlm5     2 10 -108.5148 -77.63882 64.25739 1 vs 2 1.987334 0.1586
```

Tenim un p valor més alt que el 0.05 i, per tant, triem el model que millora AIC,BIC i logLik que és el nlm5



```
##
## Normality Tests
##
## -----
##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: resid(model)
## W = 0.99004, p-value = 0.3131
##
## Anderson-Darling normality test
##
## data: resid(model)
## A = 0.28864, p-value = 0.6125
##
## Jarque Bera Test
##
## data: resid(model)
## X-squared = 2.8574, df = 2, p-value = 0.2396
```

Els residus són normals

Així ens quedem amb el model nlm5.

Variabilitat amb els 27 pernils que hem fet el model

L'objectiu que ens posem és aconseguir una sal en el moment de l'extracció de pila de 1.7 mesurat en salRX.

$$f(t, A, B, C) = \frac{A}{1 + e^{-(t-(4.831-1.3C))/C}} = \frac{A}{1 + 0.273e^{-(t-4.831)/C}} = 1.7$$

En tenir els coeficients i els valors de les covariables per cada coeficient podem calcular el valor de A i de C per cada pernil.

Taula 14: mitjanes

	x
per0	7.9912407
mnv1	2.3044444
salRX	0.8633333
grx_RX	18.8048148

Taula 15: sd

	x
per0	0.3823275
mnv1	0.4321977
salRX	0.3937688
grx_RX	1.7721833

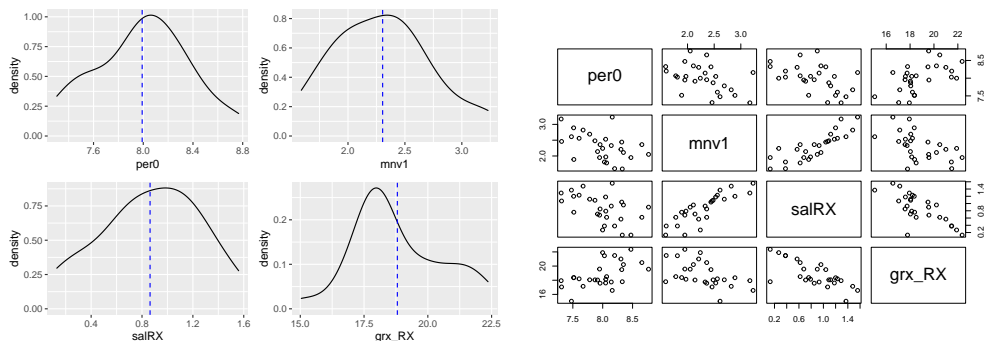
Simulació

Farem una simulació de diferents pernills dels que tenim per calcular per una sal determinada que en aquest cas serà la que donava com a mitjana el bombo o sigui 1.7 i així poder-les comparar.

Amb els pernills simulats buscarem el temps que hauríem de extreure'ls de la pila per aconseguir l'objectiu de 1.7. Amb aquest temps calcularem la sal que obtindríem amb el model sumant-los els efectes aleatoris, així tindrem uns valors als quals podrem mirar la variabilitat i comparar-la amb la que tenim del bombo.

Així la nostra simulació haurà de seguir aquestes distribucions que tenen les mitjanes, sd i correlacions següents:

Gràfics dels pernills simulats:



Gràfics dels pernills simulats.

Taula 16: correlacions entre variables

	per0	mnv1	salRX	grx_RX
per0	1.0000000	-0.4558442	-0.4952979	0.5524946
mnv1	-0.4558442	1.0000000	0.8401895	-0.5187775
salRX	-0.4952979	0.8401895	1.0000000	-0.7333903
grx_RX	0.5524946	-0.5187775	-0.7333903	1.0000000

Taula 17: comparació de mitjanes entre experiment i simulació

	per0	mnv1	salRX	grx_RX
ex30	7.991241	2.304444	0.8633333	18.80481
sim300	7.991241	2.304444	0.8633333	18.80481

Taula 18: comparació de sd entre experiment i simulació

	per0	mnv1	salRX	grx_RX
ex30	0.3823275	0.4321977	0.3937688	1.772183
sim300	0.3812957	0.4323360	0.3942796	1.771695

Taula 19: correlació entre els 30 pernils del experiment

	per0	mnv1	salRX	grx_RX
per0	1.0000000	-0.4558442	-0.4952979	0.5524946
mnv1	-0.4558442	1.0000000	0.8401895	-0.5187775
salRX	-0.4952979	0.8401895	1.0000000	-0.7333903
grx_RX	0.5524946	-0.5187775	-0.7333903	1.0000000

Taula 20: correlació entre els 300 pernils simulats

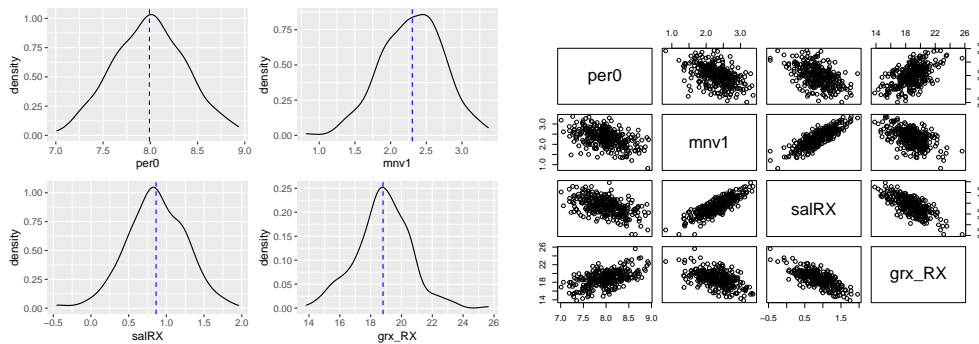
	per0	mnv1	salRX	grx_RX
per0	1.0000000	-0.4572253	-0.4943721	0.5512981
mnv1	-0.4572253	1.0000000	0.8409279	-0.5194936
salRX	-0.4943721	0.8409279	1.0000000	-0.7320315
grx_RX	0.5512981	-0.5194936	-0.7320315	1.0000000

Taula 21: imprecisió amb extracció instantànea de la pila amb el 27 pernils

x
0.28

Taula 22: imprecisions segons extraccions/dia

	x
mod	0.39
1d	0.63
2d	0.45
3d	0.43
4d	0.41

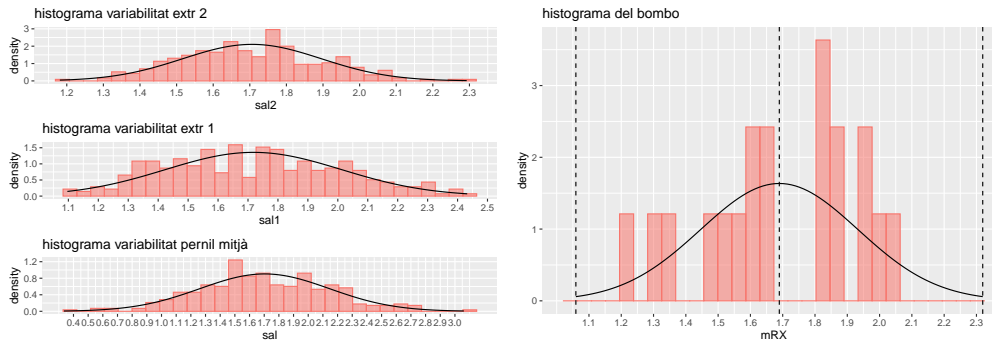


Ara calculo l'A i el C de cada pernil.

Així la imprecisió en el experiment dels 27 pernil és de ± 0.28

Si ens plantagéssim treure'ls tots com el pernil mitjà. Tindríem una imprecisió de ± 0.90

Ara faig els histogrames de les diferents extraccions comparades amb l'experiment del bombo.



Faig un resum de totes les imprecisions segons nombre d'extraccions per dia i suposant que ho tractéssim tot com el pernil mitjà.

Taula 23: imprecisió amb els pernils simulat extragent segons el pernil mitjà tots alhora

x
0.9

Taula 24: Taula resum de les imprecisions

descripció	imprecisió
impr.model	0.39
impr.4ext/d	0.41
impr.3ext/d	0.43
impr.2ext/d	0.45
impr.1ext/d	0.63
impr_bombo19	0.64
impr.per_mtj	0.90

Conclusions finals

Amb el criteri d'elecció de millor precisió hem dissenyat, diferents experiments per avaluar quin dels aparells que teníem a disposició era el més adquat per mesurar el greix i la sal. Hem pogut triar entre dos aparells diferents i hem seleccionat el que ens ha donat una precisió més bona. També hem valorat la precisió quant a repetitivitat de l'aparell elegit per mesurar la sal de manera no destructiva.

Seguidament hem dissenyat dos experiments per comparar el salat a bombo amb el salat a pila. Hem obtingut les dades diàries del salat a pila. Amb aquestes dades hem pogut fer un model no lineal mixte en el que hi hem inclòs covaribles que observem en un moment donat. Per aconseguir una bona mesura de la imprecisió amb només 28 pernills hem simulat 300 pernills que tenen la mateixa distribució de probabilitat de pes inicial, greix, minva en el moment 1 i sal en el moment 1 que els 28 pernills del model. També hem fixat en aquests pernills simulats que tinguéssin les mateixes correlacions entre les variables que tenen els pernills del model. Utilitzant el model hem pogut saber el moment d'aconseguir l'objectiu de sal (el mateix que la mitjana del bombo) i en saber el moment hem calculat la sal. Precisament aquest valor és el que hem fet servir per calcular la imprecisió de cada extracció de la pila amb els 300 pernills simulats.

Amb aquest resum de la imprecisió podem contestar la pregunta que ens havíem fet com objectiu del treball:

¿Quin és el procés de salat que dona una millor precisió del contingut de sal dels pernills?

El pernil mitjà, si és que existeix, no deixa de ser el que fem en el model tradicional de salar a pila. Busquem similituds entre pernills segons la nostra experiència de les magnituds que podem observar com pes, gruix de greix visual en la punta de la culata del pernil, percentatge de greix gràcies a les noves mesures de greix no destructives i decidim els dies que els donarem de salat a pila.

El que acabem de descriure és un tractament grupal i per això l'assimilem al pernil mitjà. Aquesta imprecisió del procediment tradicional de grup dona una imprecisió pitjor que en el bombo on també estem fent un tractament grupal, ja que mirem de fer lots similars de pernills per posar-los al bombo. En el bombo el fregament intens i contundent de pernil a pernil durant les hores de salat fa que hi hagi una penetració més igualada que sense fregar com estan els pernills a la pila.

El canvi de paradigma ve quan fem un model amb dades longitudinals d'experiments que ens donen una informació individual.

Els pernills tenen moltes variables que ens és del tot impossible de mesurar que els fa diferents els uns dels altres. També veiem diferències en els porcs tot i estar en la mateixa cort, ser de la mateixa raça i fins i tot si són de la mateixa covada. La mesura diària ens dona informació d'aquesta diferència individual.

Gràcies al model no lineal amb efectes aleatoris podem amb poques mesures al llarg del temps predir el moment d'arribar a una sal determinada, com la mitjana que hem obtingut en l'experiment del bombo. Amb aquest temps podem saber la imprecisió que tindrem.

Així si extraguéssim els pernil en el moment exacte que ens diu el model podríem baixar la imprecisió de ± 0.64 que té el bombo a només ± 0.39 . Aquesta és una reducció important i significativa. No obstant remenar

tants cops la pila té uns costos de mà d'obra associats que ens fa mirar de remenar menys i admentre un xic més d'imprecisió.

Si ens quedem en l'arrodoniment del temps a 1 dia estem igual que en el salat a bombo, però si passem només a arrodonir per mig dia fem una millora significativa i considerable ja que passem a una imprecisió de ± 0.45 , Això significa una reducció del 30% d'imprecisió. Poder fer una reducció de la imprecisió del 30 % ens permetrà reduir la mitjana un 30% i tenir el mateix nombre de pernils per sota del llindar de la mitjana menys la imprecisió. Així podrem reduir el 30% el contingut mitjà de la sal amb el mateix risc que teníem abans de la reducció de la mitjana.

Aquest procés que hem fet amb el pernil Cerretà desossat (que en no tenir cap os ho ha fet més simple ja que hi ha de ben segur menys variables internes) ho podem plantejar per al pernil amb os. Caldrà fer un experiment amb un nombre de pernils entre 30 i 50 salats a pila i deixant-los molts més dies del que és habitual en aquest tipus de producte. Si el salat tradicional és del ordre de 1 dia/Kg i la mitjana del pernils els tenim a 13 Kg hauríem de deixar-los a la pila de sal de 25 a 30 dies i fer una mesura de sal cada 3 dies i així tenir unes 10 mesures de cada pernil per poder fer un bon model no lineal mixte amb aquestes dades longitudinals que obtindríem.

També caldria mirar amb el fabricant de la maquinària si hi ha alguna manera d'aconseguir una mesura quan la sal no està tan ben difosa dins de la matriu càrnia per així millorar-ne l'acurament i la repetitivitat.

Tinguem en compte que hem acabat amb una imprecisió de ± 0.45 sobre un contingut objectiu de 1.7 mesurat en salRX en el moment de sortir de la pila. Es tracta d'una imprecisió en percentatge ± 26.5 que hem de buscar encara noves maneres de millorar tot i que la manera de mirar el pernils individualment serà el camí a seguir i per no abandonar més. Haurem de buscar noves covariables a més d'un afinament de la mesura amb rajos X per poder donar uns resultats més acurats.

També hi haurem d'afegir el nou repte que és disminuir els efluents salins del salat de pernil. Això ho hem encetat en part amb l'experiment on salavem amb una coixinera plena de sal reciclada. L'avantatge de salar amb aquest coixinera serà que no caldrà rentar el pernil sortit de la pila que queda impregnat de sal i per treure-la hem de gastar 1 litre d'aigua per rentar cada pernil. Amb la coixinera ens estalviaríem aquest litre de rentat.

Si calculem el mínim d'efluents salins per pernil tenim actualment 1 litre d'aigua per pernil pel rentat a més hi ha de l'ordre del 7% d'exsudat salí que deixa anar com efluent salí el pernil en salar-se. Així podem dir que actualment tenim amb un pernil de 8 Kg (Cerretà) 1.56 litres d'aigua salada.

El salat a bombo quasi no deixa anar exsudat salí per tant caldria estudiar un salatge mixte entre bombo i coixinera per tal de rebaixar aquest 1.56 litres d'aigua per peça.

Així queden aquest reptes per anar-los treballant i millorant-los en el futur proper.

Bibliografia

- FARAWAY, Julian James. Extending the Linear Model with R, Generalized Linear, Mixed Effects and Nonparametric Regression Models. Boca Raton (Mass.): Chapman & Hall/CRC, 2006
- FOX, John. Applied Regression Analysis and Generalized Linear Models. Los Angeles [etc.]: SAGE, 2008
- FOX, John, et al. An R Companion to Applied Regression. Thousand Oaks, Calif.: SAGE, 2011
- PINHEIRO, J. C., & BATES, D. M. Mixed-effects models in S and S-PLUS. New York, Springer. 2000
- ZUUR, Alain F et al. Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. New York (NY): Springer, 2009