

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INTEXTER Institut d'Investigació
Tèxtil i Cooperació Industrial de Terrassa

QUANTIFICACIÓ NUMÈRICA
DE LES EMOCIONS ASSOCIADES
AL COLOR.

Rosa Manau Trullàs.

TESIS DOCTORAL.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INTEXTER Institut d'Investigació
Tèxtil i Cooperació Industrial de Terrassa

QUANTIFICACIÓ NUMÈRICA DE LES EMOCIONS ASSOCIADES AL COLOR.

Memòria presentada per

Rosa Manau Trullàs

**per optar al grau de Doctora de la UPC (Universitat
Politècnica de Catalunya).**

**Departament d'Enginyeria Tèxtil i Paperera
de la Universitat Politècnica de Catalunya**

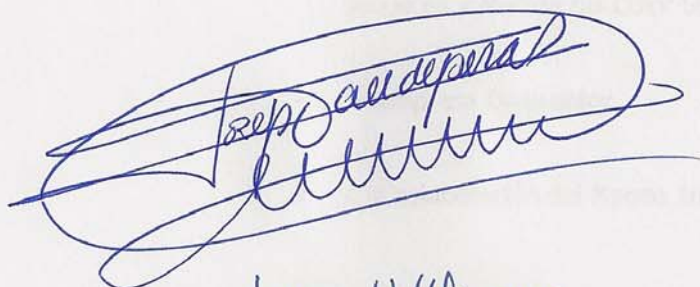
Terrassa, 2010.

Els Doctors **Josep Valdeperas Morell**, Professor del Departament d'Enginyeria Tèxtil i Paperera de la Universitat Politècnica de Catalunya i **Manel Lis Arias**, Professor del Departament d'Enginyeria Química, de la Universitat Politècnica de Catalunya.

CERTIFIQUEN:

Que la doctoranda Rosa Manau Trullàs, ha realitzat sota la seva direcció el treball d'investigació "**QUANTIFICACIÓ NUMÈRICA DE LES EMOCIONS ASSOCIADES AL COLOR**" que presenta per optar al grau de Doctora per la UPC.

I perquè així consti emet el present certificat a Terrassa, a 14 de desembre de 2010.



Signat: Josep Valdeperas



Signat: Manel Lis Arias

Agraïments:

Desitjo expressar le meu agraïment al **Dr. Josep Valdeperas Morell** i al **Dr. Manel Lis Arias** pel seu interés, guia i dedicació, gràcies a les quals aquesta Tesis Doctoral ha estat possible.

També desitjo expressar el meu agraïment a les següents persones i institucions:

- A tot el **personal del Laboratori de l'INTEXTER**, molt especialment al Departament de Control de Qualitat i de Tintura Tèxtil.
- A la **Comissió de Colorimetria**, pertanyent a la Subcomisión de Solideces y Medida del Color SC1/CTN-40/AENOR.
- A l'empresa **Datacolor**.
- A la col·laboración del **Kyoto Institute of Technology**.

Dedicatòria:

**A la meva família,
molt especialment als meus fills, Arnau i Marina.**

ÍNDEX:

1.	OBJECTIUS	1
2.	RESUM DE LA TESIS DOCTORAL	5
3.	ESTAT DE L'ART	9
3.1.	Definició del color	11
3.1.1.	L'ESTÍMUL FÍSIC	12
3.1.2.	FONTS DE LLUM	12
3.1.3.	SUBSTRAT	14
3.2.	Percepció del color	16
3.3.	Descripció del color	21
3.3.1.	Hipòtesis de Berlin & Key	25
3.3.2.	Sistemes de descripció del color	27
3.3.2.1.	Sistemes de descripció del color basats en la mescla de colors	27
3.3.2.2.	Sistemes de descripció del color basats en la percepció dels colors ...	29
3.3.2.2.1.	Sistema de colors de Munsell	30
3.3.2.2.2.	El sistema NCS (Natural Color System)	33
3.3.2.2.3.	El sistema OSA d'escalles de color uniformes	35
3.3.2.2.4.	El sistema COLORCURVE	36
3.3.2.3.	Sistemes de descripció del color basats en la reproducció del color i el sistema CIE	37
3.3.2.3.1.	La colorimetria i el sistema CIE	37
3.3.2.3.2.	Diferències de color (fórmules matemàtiques) ...	47
3.4.	La psicologia del color	57
3.4.1.	Aplicacions industrials	60
3.4.2.	Definició del color	60
4.	ESTUDI ESTADÍSTIC DE LES DADES OBTINGUDES A ESPANYA	63
4.1.	Definició de les condicions experimentals	65
4.1.1.	Observadors	65
4.1.2.	Idioma emprat en el qüestionari	65
4.1.3.	Mostres valorades	65
4.1.4.	Condicions experimentals d'observació	65
4.1.5.	Confecció i valoració del qüestionari	66

4.2.	Tractament de les dades obtingudes en el qüestionari	67
4.3.	Obtenció de fórmules matemàtiques, representacions gràfiques i models colorimètrics per a les dades espanyoles	68
4.3.1.	Histogrames	68
4.3.2.	Gràfics de dispersió	68
4.3.3.	Regressió polinòmica	68
4.3.4.	Mètode per quantificar les emocions associades a color	68
4.3.5.	Mètode dels dos punts: quantificació de les emocions associades al color	70
4.3.6.	Confecció de les taules de dades amb les quals es deduiran els gràfics i les relacions matemàtiques objecte de l'estudi	71
4.3.7.	Exemple de la comparació de dos parells d'emocions associades al color feta pels mateixos observadors (espanyols)	72
4.3.8.	Obtenció de fórmules matemàtiques, representacions gràfiques i models colorimètrics associats al model espanyol	76
4.3.9.	Interpretació dels resultats obtinguts	113
5.	ESTUDI INTERCULTURAL	117
5.1.	Comparació de les emocions associades al color entre diferents idiomes	119
5.2.	Altres universitats o instituts on es duen a terme treballs similars	119
6.	ESTUDI ESTADÍSTIC DE LES DADES OBTINGUDES A HONG KONG	121
6.1.	Obtenció de fórmules matemàtiques, representacions gràfiques i models colorimètrics per a les dades de Hong Kong	123
6.2.	Resum i conclusions respecte de les dades i dels resultats del model de Hong Kong	159

7.	ESTUDI ESTADÍSTIC DE LES DADES OBTINGUDES A JAPÓ	161
7.1.	Obtenció de fórmules matemàtiques, representacions gràfiques i models colorimètrics per a les dades de Japó	163
7.2.	Resum i conclusions respecte de les dades i dels resultats del model de Japó.....	199
8.	ESTUDI ESTADÍSTIC DE LES DADES OBTINGUDES A TAILÀNDIA	201
8.1.	Obtenció de fórmules matemàtiques, representacions gràfiques i models colorimètrics per a les dades de Tailàndia	203
8.2.	Resum i conclusions respecte de les dades i dels resultats del model de Tailàndia	239
9.	ESTUDI DEL FACTOR CORRECTOR (n) DE LA COORDENADA DE CROMATICITAT (C): FACTOR INTERCULTURAL	241
10.	CONCLUSIONS	249
11.	BIBLIOGRAFIA	263
12.	ARTICLES PUBLICATS. GRUPS DE TREBALL. COMISSIONS TÈCNIQUES. CONGRESSOS I CONFERÈNCIES	273
12.1.	Articles publicats referents al tema amb la participació de la doctorant	275
12.2.	Grups de treball. Comissions Tècniques	276
12.3.	Congressos. Conferències	277
13.	ANNEXOS	279

1. OBJECTIUS

1. Objectius

L'objectiu principal de la tesi és **quantificar** en termes colorimètrics les emocions associades al color en l'observador humà. Aquest objectiu s'aconseguirà mitjançant la utilització de **tècniques estadístiques** aplicades a un experiment dut a terme amb mostres especificades tècnicament i que permetin establir **models matemàtics d'emocions associades al color**. Aquests models han de permetre abans de la fabricació o producció del tèxtil predir dintre d'un marge acceptable quines sensacions produirà el seu color entre una majoria de possibles observadors o compradors. Aquesta pot ser, doncs, una eina pràctica i útil per a dissenyadors, fabricants, etcètera.

Els estudis de les emocions associades al color pretenen reduir un nombre gran d'escales d'emoció o sensació de color a un nombre més reduït de **categories** i/o **factors**.

Els objectius complementaris són:

- Coneixement de **l'estat de l'art actual**, de les experiències que ja s'han fet i de les conclusions a les quals s'ha arribat.
- Posta a punt de les **condicions experimentals**: selecció d'observadors, mostres a valorar, condicions d'observació, paraules utilitzades per a l'avaluació, etcètera.
- **Experimentació psicofísica**, que consisteix en la valoració subjectiva d'emocions associades a unes mostres tèxtils de diferents colors.
- Estudi de les **variables més significatives** que afecten la valoració i els resultats.
- Obtenció de **dades** sobre les emocions associades al color.
- **Comparació** de les **respostes** a l'emoció associada al color entre diferents observadors.
- Selecció del **tractament estadístic i dels models matemàtics**.
- Identificació del **factor de l'emoció associada al color**. Els resultats visuals s'utilitzaran per avaluar l'ajust d'un model de regressió múltiple lineal.
- Deducció d'un **model de preferència de color** basat en l'emoció associada al color (**formulació matemàtica** i representació d'un **espai de preferència de color tridimensional**). L'expressió numèrica de les emocions associades al color culminarà amb l'especificació d'una escala o espai a partir de la valoració de les emocions de color i els seus lligams numèrics amb els paràmetres colorimètrics tradicionals i normalitzats.
- Estudi **intercultural**. Com que investigacions prèvies sobre emocions associades al color indiquen que normalment els colors tenen significats diferents segons la cultura, la nacionalitat i l'idioma, es compararan les dades espanyoles amb les obtingudes al **Japó, Xina i Tailàndia**, segons els paràmetres abans indicats.



Fig. 1 ¹

2. RESUM DE LA TESI DOCTORAL

2. Resum de la tesi doctoral

Vivim en un món de **color**. Tot té un color. El fet que tinguem receptors tan específics per a l'estímul del color ens confirma la importància que té per als éssers humans. Responem al color, de manera activa o passiva, en totes les nostres accions. El nostre creixement, la pressió sanguínia, la temperatura corporal, els models del son, etc., es veuen afectats per les ones de llum. El color no afecta només el cos, sinó també les emocions, els estats d'ànim i les facultats mentals.

Tots utilitzem el color d'una manera personal. Creem un ambient cromàtic instintiu quan elegim roba d'un determinat color o certs colors per a casa nostra o per al nostre jardí. L'impacte del color sobre les persones és múltiple, encara que la majoria de les reaccions que provoca són inconscients.

Gràcies a la comprensió de les sensacions del color, les emocions que se'ls associen i els seus efectes psicològics i fisiològics es poden seleccionar els tons apropiats per a la indumentària, la decoració, l'entorn de treball, etcètera.

Per a cada cultura el llenguatge del color té un significat particular, concret i identificatiu.

L'ull humà és sensible a la llum reflectida pels materials. Aquesta informació proporcionada pels receptors oculars és percebuda com a color pel cervell. Finalment, el color indueix sensacions o emocions associades que normalment tenen una **expressió semàntica**, com per exemple color alegre, trist, elegant, etc. Aquest fenomen s'ha denominat *emoció associada al color*.

Amb el coneixement científic d'aquestes emocions associades al color, els dissenyadors de nous productes podran seleccionar-ne un per transmetre certes sensacions i intencions en els seus dissenys. Convencionalment, la selecció del color en el **disseny** de productes es basa en la preferència subjectiva dels dissenyadors. La forma tradicional de **comunicació** entre els dissenyadors i els tintorers i estampadors és una descripció oral abstracta i normalment confusa.

Els científics i tècnics del color tenen com a camp d'estudi la percepció de la llum i del color des d'un punt de vista físic, mentre que els psicòlegs investiguen el color des de la percepció i les sensacions i emocions que produeix. La relació entre els paràmetres físics del color i l'emoció que produeix és molt important, però no és gens coneguda i ha estat molt poc estudiada aplicant una metodologia científica.

El propòsit d'aquesta tesi és examinar i avaluar quantitativament els efectes psicològics del color, mitjançant la valoració visual de mostres de tèxtils de diferents colors; és a dir, l'estudi de les emocions associades al color en els éssers humans i la seva **quantificació** utilitzant les **especificacions normalitzades CIE** per al color. La valoració de les emocions associades al color s'ha de fer utilitzant escales semàntiques diferencials, en aquest cas parells de paraules oposades que defineixen emocions associades al color.

L'emoció associada al color, a causa precisament de la seva naturalesa psicològica, pot estar influenciada per molts factors, com per exemple la cultura, l'idioma, el clima, el sexe, l'edat, etc. Per minimitzar les influències de la nacionalitat, la cultura o la tradició, els models matemàtics que representen la correlació entre les emocions associades al color i els valors colorimètrics s'han de deduir de les valoracions visuals obtingudes per observadors de cultures diferents, cercant si existeix un sol model general o bé si per a cada cultura o per a cada idioma n'hi ha un d'específic. Aquest estudi se centra en observadors de **parla hispànica**.

L'expressió de les paraules espanyoles per a la caracterització de l'emoció associada al color s'ha d'ordenar en els espais de color de Munsell i del CIELab.

El fet de quantificar les emocions associades al color mitjançant valors numèrics del sistema colorimètric CIE millorarà significativament la **comunicació** entre dissenyadors, tintorers, estampadors, consumidors, etc...



"It comes in midnight gray, charcoal gray, slate gray, and gray."

Fig.2²

3. ESTAT DE L'ART

“For the Rays of light to speak properly are not coloured. In them there is nothing else than a certain Power and Disposition to stir up a Sensation of this or that Colour.”

Sir Isaac Newton (1730).³



Fig. 3⁴

3.1. Definició del color

El color és una part integral de les nostres vides diàries. Les impressions visuals basades en el color són molt importants en la presa quotidiana de decisions de les persones. En un sentit bàsic jutgem la salut d'algú pel color i l'aspecte de la seva pell. També el menjar té bon aspecte o no en té (aspecte de *passat*, de *manipulat*, etc.) d'acord amb el color.

El reconeixement de marques comercials internacionals depèn també del color. Per exemple: el color vermell de la Coca-Cola. Si no es té cura del color, la imatge del producte i les vendes es poden veure afectades.

En el món del tèxtil i del disseny i la moda elegim la peça que comprem atrets primer pel seu color i aspecte. És després que la inspeccionem, ens l'emprovem, etc. Precisament el cicle típic en el disseny tèxtil comença per l'estratègia de definir el color, els teixits i els estils de la temporada següent.

Gràcies al desenvolupament del color per ordinador, cada dia tenim més oportunitats de crear imatges i/o documents amb color.

Els noms dels colors i les sensacions que s'hi associen han estat sempre presents en el nostre llenguatge: "posar-se verd", "rosa que l'amor si posa", "vermell d'ira", "estar negre", "quedar-se en blanc", etcètera.

Però encara que és quotidià, el color és una percepció complexa. En el cas més simple definim la percepció del color com una interacció entre una font lluminosa, un objecte i un observador. Per resoldre la majoria de qüestions associades a la tecnologia del color s'han de comprendre i aplicar principis físics, químics, psicològics i de visió del color.

El color és, doncs, molt més que una cosa purament física. El color és el que veiem, el resultat de la modificació física de la llum causada per colorants i que és detectada per l'ull humà (procés fisiològic de resposta) i interpretada pel cervell (procés psicològic de percepció).

El color només existeix en la ment de l'observador.

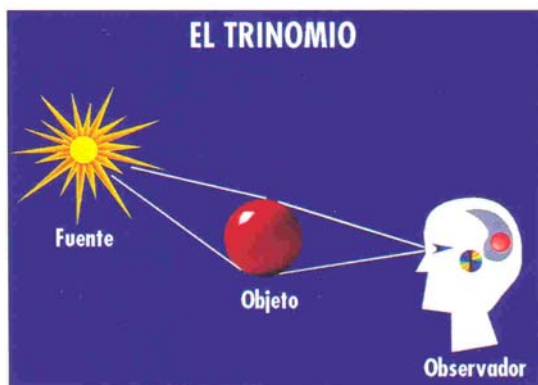
Existeixen uns fonaments bàsics de la tecnologia del color el coneixement dels quals és essencial per a totes aquelles persones que tracten o treballen amb color. Tota la tecnologia avançada té de fonaments aquests coneixements bàsics.

Els principis bàsics sense els quals no es pot aplicar amb èxit la tecnologia del color són els següents:

- El color és una percepció. Si es canvia qualsevol condició (font de llum, objecte, observador, etc.), el color canvia.
- Les mostres que es mesuren, visualment o instrumentalment, han de ser representatives de tota la partida.
- Les dades són informació, no coneixement.

3.1.1. L'estímul físic

El color és el resultat de la interacció d'una font lluminosa, un objecte i el sistema visual (ull i cervell). (Fig.4)



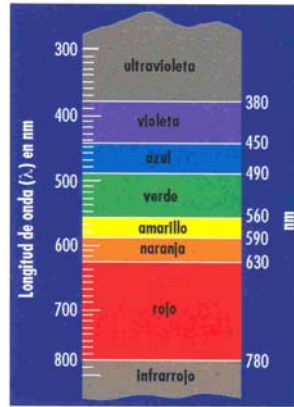
Los 3 elementos del Trinomio : fuente - objeto - observador

Fig. 4⁵: Font/Objecte/Observador

Existeixen moltes maneres de produir estímuls de color. Nassau (1983) va definir quinze maneres de produir color, entre elles la incandescència, les excitacions de gas, la refracció dispersa, la difracció, etcètera.⁶

3.1.2. Fonts de llum

La radiació visible és una forma d'energia. La zona de radiació que podem veure és la corresponent a la part visible (llum). La llum s'especifica per la seva longitud d'ona (380 nm – 780 nm). (Fig. 5)

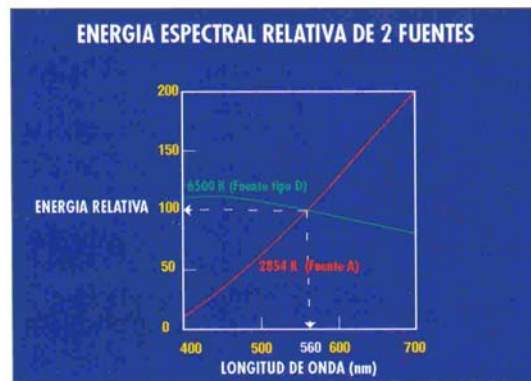


El espectre visible - Las longitudes de onda se expresan en nm

Fig. 5⁷: Espectre visible

Les fonts de llum més habituals són el sol, les bombetes, els fluorescents i algunes altres fonts que també emeten llum blanca o quasi blanca.

Els il·luminants es representen en gràfiques o corbes de distribució del seu poder espectral (poder o energia relatiu *versus* longitud d'ona).

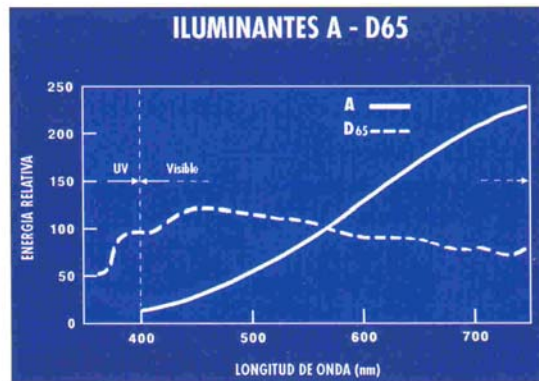


Fuentes luminosas y temperatura de color.
Ejemplo : 2 fuentes de temperatura de color de 2854 K y 6500 K

Fig. 6⁸: Fonts lluminoses i temperatura de color

El color d'un objecte o d'una llum no ens indica res de la distribució del poder espectral de l'il·luminant, però conèixer aquesta distribució (del poder espectral) sí que ens permet descriure el color d'un objecte. (Fig. 6)

La Comissió Internacional d'Il·luminació (CIE) ha definit una sèrie de distribucions de poder espectral que referencia com a il·luminants. Exemples: il·luminants A (llum incandescent), il·luminants D (llum natural del dia), il·luminants F (fluorescents), etcètera. (Fig. 7)



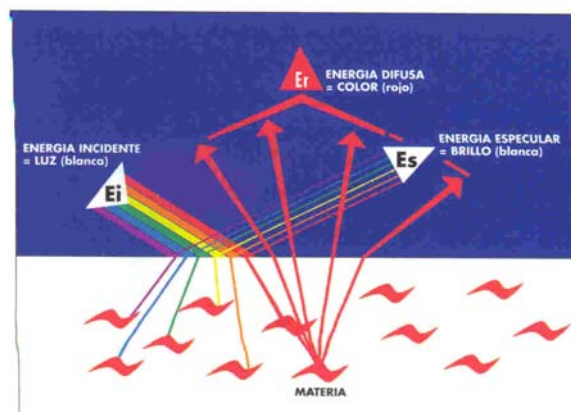
Principales iluminantes patrón : A, D65

Fig. 7⁹: Principals il·luminants patró

En el camp dels tèxtils, dels plàstics i de les pintures s'ha escollit com a il·luminant estàndard el D65. En arts gràfiques i computació s'utilitza l'il·luminant D50.¹⁰

3.1.3. Substrat

Quan la llum incideix en un substrat poden tenir lloc varis fenòmens: (Fig. 8)



Interacción de la luz con la materia. Ejemplo : muestra roja

Fig. 8¹¹: Interacció llum-matèria

- **Transmissió**

La llum travessa el substrat o objecte sense patir cap variació. Els substrats són materials denominats *transparentes*.¹²

- **Absorció**

Es perd la radiació com a llum visible. S'absorbeix en el substrat.¹³

- **Reflexió o dispersió (scattering)**

La reflexió es produeix quan el raig de llum incident es reenvia en una o en moltes direccions. Aquests fenomen és molt comú i important en la natura. La dispersió de les molècules de l'aire és la causa del color blau del cel, i la dispersió de partícules més grans és la causa del color blanc dels núvols, dels fums i de la majoria de pigments blancs. Quan la dispersió és gran es parla d'una reflexió difusa de la llum. (Fig. 9)



Fig. 9 ¹⁴: Relació llum reflexada

Si una part de la llum es dispersa i l'altra es transmet pel material, a aquest material se l'anomena *translúcid*. Si no hi ha cap transmissió de llum, el material és opac.

La reflectància que exclou la reflectància difusa és la reflectància especular, com en el cas dels miralls. ¹⁵

El difusor perfecte (norma ASTM E/284) és una superfície ideal que no absorbeix ni transmet la llum, però la reflecteix tota d'una manera difusa. ¹⁶

- **Fluorescència**

Els materials fluorescents reenvien la llum absorbida a longituds d'ona més altes. La llum emesa és difusa. Els agents de blanqueig òptic (FWA: *fluorescent whitening agent*) absorbeixen radiació ultraviolada d'entre 300 nm i 400 nm i la remetent a 400 nm i 500 nm. S'utilitzen en paper i en teixits blancs per augmentar-ne la lluminositat. Els productes fluorescents absorbeixen i reenvien en la zona de l'espectre visible. ¹⁷

- **Fosforescència**

Materials que emmagatzemen la llum absorbida i la reenvien un període de temps després. Es troben en làmpades fluorescents i en dispositius CRT. ¹⁸

3.2. Percepció del color



Fig. 10¹⁹

La conversió de l'energia de la llum en el nom d'un color, com per exemple vermell, blau, etc., és extraordinàriament complexa. Requereix coneixements d'òptica, de detectors, de processos neurals i de processos cognoscitius.

La llum que ens entra als ulls va a la part posterior de l'ull, a la retina, on els receptors específics de la llum absorbeixen una proporció determinada de la llum incident i generen una senyal que serà interpretada pel cervell.²⁰ (Fig. 12)

Hi ha dues classes de receptors —bastons i cons—, el nom dels quals deriva de la seva forma. Els bastons detecten quantitats de llum molt petites, com per exemple la llum existent al començament i al final del dia. Com que només existeix una classe de cèl·lula d'aquest tipus, només es perceben tons de grisos. Quan l'estímul lluminós és més fort (en ple dia o en una habitació il·luminada), són els cons les cèl·lules que estan activades. Els cons són els nostres receptors del color. Les nostres sensacions del color són el resultat de tenir tres tipus de cons que responen a diferents longituds d'ona. Els estímuls que provoquen la percepció de colors diferents tenen diferents senyals per als cons. *L*, *M* i *S* representen els tres cons amb els seus tres pics de sensibilitat en la regió de longitud d'ona llarga (*L: long*), mitjana (*M: middle*) i curta (*S: short*).²¹ (Fig. 11)

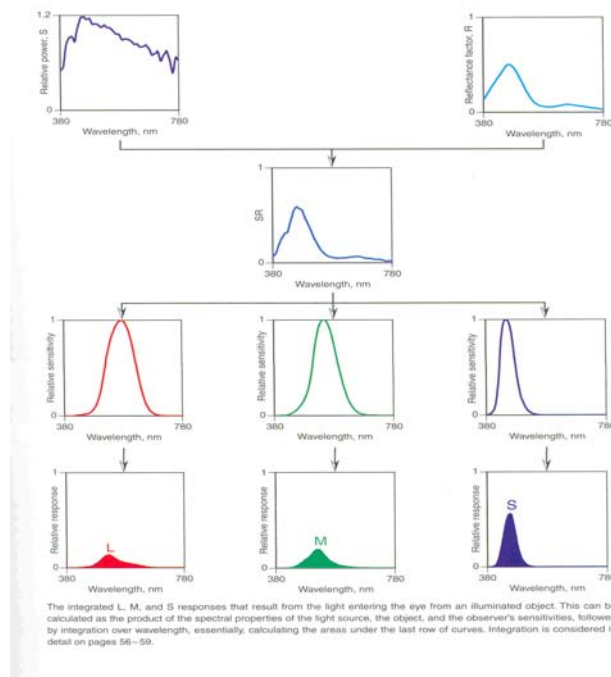
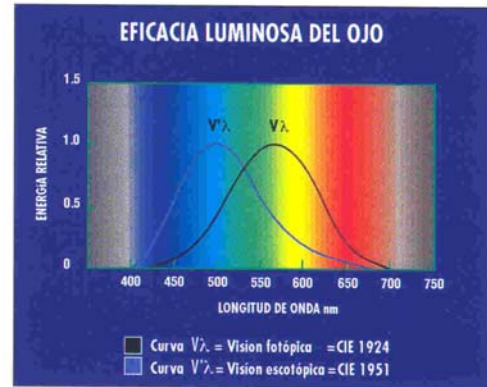


Fig. 11²²: Llum recepció visual



Efecto BEZOLD-BRUIKE Cambio de la apariencia y del color en función de la luminancia

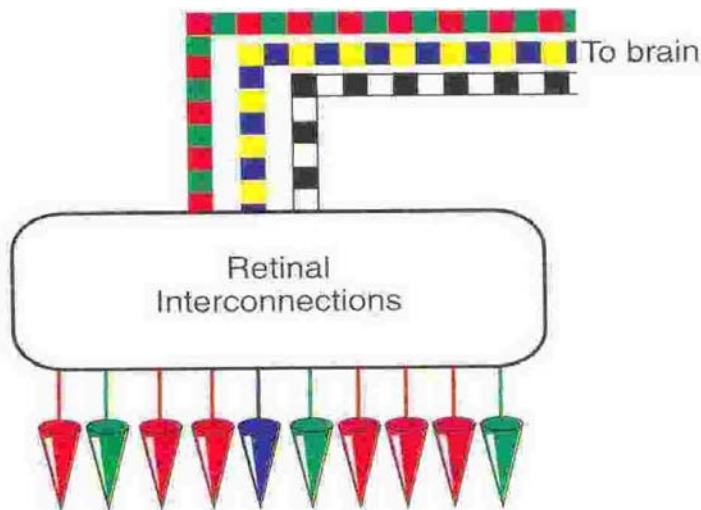
Fig. 12²³: Efecte Bezold-Bruke



Eficacia luminosa relativa del ojo
 Curva $V(\lambda)$ = visión fotópica / diurna (CIE 1924)
 Curva $V'(\lambda)$ = visión escotópica / nocturna (CIE 1951)

Fig.13²⁴: Eficàcia Iluminosa de l'ull

Aquests cons, com qualsevol altre detector de radiació, integren la llum de totes les longituds d'ona incident en cada un d'ells. Aquesta integració de totes les longituds d'ona incidents redueix l'espectre de la llum incident a tres senyals, una per cada tipus de con; això s'anomena tricromia (*trichromacy*) o teoria tricromàtica, i ja va ser exposada per primer cop al segle XVIII.²⁵ (DFig. 14)



Cones interconnect in the retina, eventually leading to opponent-type signals.

Fig. 14²⁶: Interconexions retinals

La teoria tricromàtica explica una propietat important del sistema visual: el metamerisme, que és un fenomen en el qual diferents estímuls espectrals donen una mateixa sensació de color. És possible fer el mateix color amb característiques físiques diferents. Gràcies al metamerisme, la reproducció del color és possible. El metamerisme també pot ser un inconvenient en el sentit que materials diferents necessiten colorants diferents per tenir el mateix color, per exemple, els diferents components de l'interior d'un cotxe. Si els colorants no se seleccionen amb molta cura i s'obtenen colors metamèrics, que només s'igualen amb un determinat il·luminant, els materials presenten diferents colors si es canvia l'il·luminant, per exemple, llum de dia i il·luminació artificial (del comerç on es compra el producte, per esmentar un cas possible).²⁷

(Fig. 15)

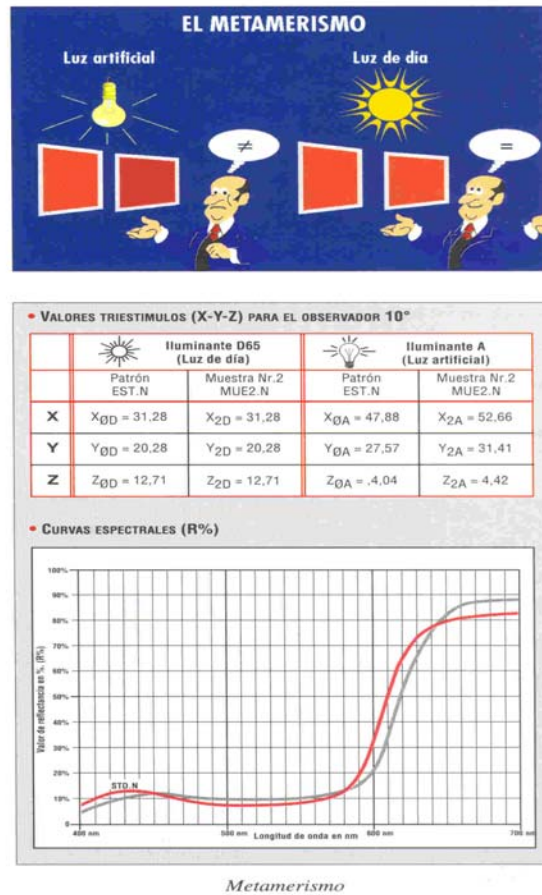


Fig. 15²⁸: Metamerisme

Els cons s'interconnecten amb la retina mitjançant tres canals, anomenats *canals* o *senyals oposats*, i que són blanc-negre, groc-blau i verd-vermell.

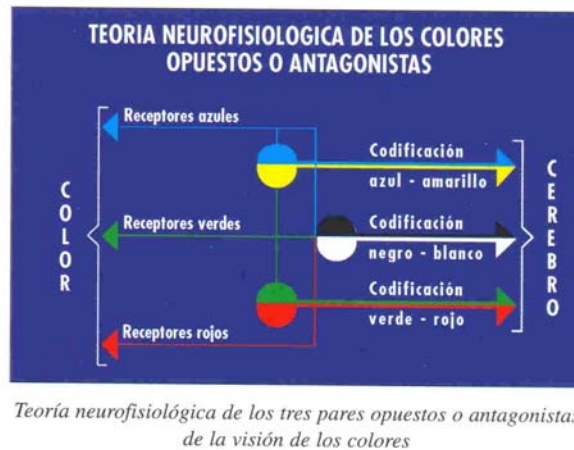
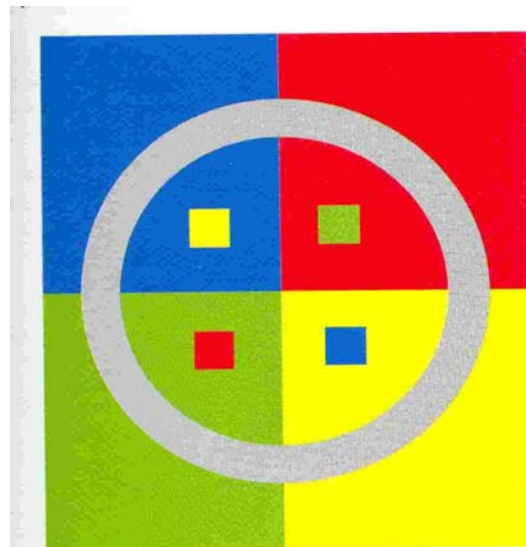


Fig. 16²⁹: Colors oposats o antagonistes

Els senyals oposats passen de la retina a la part posterior del cervell a través del nervi òptic. Aquests senyals al cervell s'interpreten mitjançant un procés cognoscitiu i el seu resultat és la sensació de color que té l'observador.³⁰ (Fig. 16)



We can easily demonstrate the interconnections that occur in the retina by surrounding a color with different colors. Cut two thin pieces of paper and lay them across the gray circle, dividing it into quarters. Notice how the color of each quarter circle is different. Each small square has been produced with the identical amount of ink as its larger opposite square, yet the colors of the small and large squares appear different. (See also pages 24 and 25.)

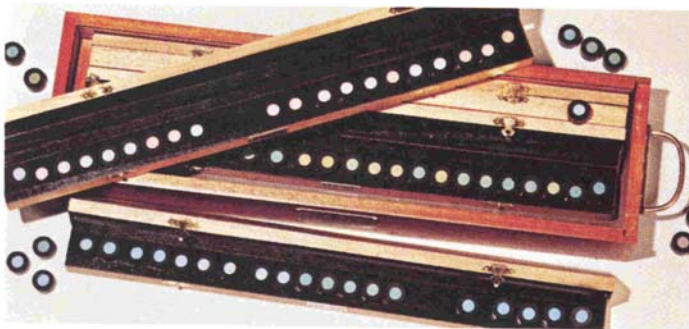
Fig. 17 ³¹: Interconnexions a la retina

Desgraciadament, existeix un ample marge de variabilitat en la visió del color en l'espècie humana. Els compostos químics i les formes físiques que constitueixen els receptors de color varien entre la població. Cada persona té diferents propietats d'absorció i de reflexió a la pupil·la. La quantitat de pigments també varia d'una persona a una altra. En resum, la visió del color entre observadors amb una visió normal varia significativament. La causa més important d'aquesta variabilitat és l'engrogiment de la pupil·la a causa de l'exposició a la radiació ultraviolada al llarg del temps. (Fig. 17)

Aproximadament entre un 5 % i un 8 % d'homes i un 0,025 % i un 0,5 % de dones tenen una visió defectuosa del color. Aquestes diferències en percentatge s'expliquen perquè aquests defectes en la visió tenen una base genètica. Òbviament, qualsevol persona relacionada professionalment amb el món del color ha de passar tests específics per comprovar si la seva visió del color és la correcta o l'estàndard. Els tests més utilitzats són el d'Ishihara i el de Farnsworth Munsell 100. (Fig. 18) (Fig. 19)



Fig. 18 ³⁵: Exemple de test d'Ishihara



Farnsworth–Munsell 100 hue test. Observers are instructed to order the colored caps in hue. Observers with color-vision deficiencies will make systematic errors, enabling diagnoses.

Fig. 19 ³⁶: Test de Farnsworth-Munsell

La conseqüència més important de la variabilitat en la visió del color és que en colors metamèrics la diferència del color observat per diferents persones pot ser significativa. Per aquesta raó la tecnologia del color es basa en utilitzar observadors amb propietats considerades de mitjana estadística de la visió del color. Aquests observadors es denominen *observadors estàndard*. A més, els tècnics del color tenen una preocupació especial a produir colors que no siguin metamèrics i d'aquesta manera minimitzar la problemàtica de la variabilitat en la visió del color. ³⁴

3.3. Descripció del color

**What basic colour name would you visualize
If a colored product is named "Quite Refuge"
Or "Calm Air"?³⁵**



Fig. 20³⁶

Per descriure el color es busquen substantius i/o adjectius que tinguin significats universals i intuïtius.

Es tracta de determinar si les categories de color es poden definir mitjançant especificacions físiques o si la classificació dels colors és una interpretació subjectiva traduïda mitjançant el llenguatge.

Existeixen tres teories que es poden aplicar en aquest cas:

- El **realisme pur**: les coses existeixen independentment de la nostra percepció. El color és un atribut específic dels objectes independentment de la percepció que en tinguem. Exemple: un llibre de color blau i un llibre de color verd.
- El **relativisme**: tot el que es percep del món exterior és sempre una qüestió de perspectiva. Els termes del color no sempre tenen una correspondència directa o una mateixa definició en tots els idiomes. Exemple: els gal·lesos denominen igual el blau i el verd (*glas*). Les categories dels colors són relatives i la manera com es descriuen o substantiven els colors afecten la seva percepció. Per exemple, en rus no existeix una única paraula que indiqui el color porpra. Els relativistes segueixen les hipòtesis de Sapir Whorf, segons les quals cada idioma imposa una visió particular del món segons la seva estructura semàntica pròpia. Les categories del color provindrien d'aquestes categories lingüístiques.
- L'**universalisme**: defensa que existeixen realitats o veritats universals. Així doncs, les categories de color tindrien qualitats inherents i essencials que no dependrien de les percepcions dels observadors humans. Totes les estructures lèxiques i gramaticals dels idiomes són isomòrfiques, és a dir, intercanviables. Els noms dels colors que configuren les categories del color comparteixen una estructura profunda més enllà de les cultures i dels idiomes. Aquesta noció de categories preseleccionades va ser exposada per primer cop per Kant.

L'estudi de la denominació del color versus la percepció del color ens mostra que en realitat el que s'expressa en el nom d'un color és una propietat externa d'un objecte, no de la llum. Per exemple, els conceptes de clar i fosc són qualitats d'una superfície de color i no de la llum, que en principi és només més o menys intensa.

Segons Berlin i Kay, s'han identificat onze noms bàsics de color:

- **Blanc**
- Gris
- Negre
- Vermell
- **Groc**
- Verd
- Blau
- Taronja
- Porpra
- Rosa
- Marró



Fig. 21 ³⁷

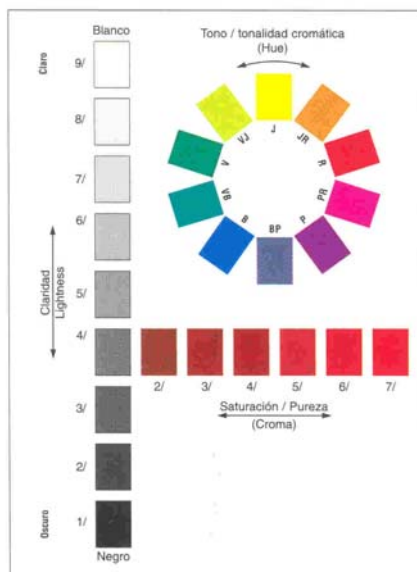
Així i tot, necessitem descripcions addicionals per aconseguir més precisió a l'hora d'utilitzar els noms bàsics dels colors. A més és útil organitzar de manera lògica el pas d'un color bàsic a un altre.

El color dels objectes il·luminats uniformement es pot descriure pel seu to, per la seva claredat (lluminositat) i per la seva cromà.

To: atribut de la percepció visual d'una zona que correspon a un dels colors següents: vermell, groc, verd o blau, o bé a una combinació dels parells adjacents d'aquests colors situats en un cercle tancat (CIE 17.4). ³⁸

Claredat (lluminositat): atribut pel qual un color percebut es considera equivalent a un gris d'una de les sèries que van del negre al blanc (ASTM E 284). ³⁹

Cromà: atribut utilitzat per indicar el grau de partida de color o la quantitat de color, des d'un gris de la mateixa claredat (ASTM E 284). ⁴⁰ (Fig. 22)



Los 3 factores de clasificación natural de los colores

Fig. 22 ⁴¹: Classificació natural dels colors

Com que un color pot ser especificat per tres propietats o quantitats (coordenades de color), els colors es poden organitzar o ordenar en un sistema tridimensional o espai de color.

Qualsevol mètode de descripció o especificació del color ha d'anar acompanyat d'un sistema de classificació de colors. (Fig. 23)

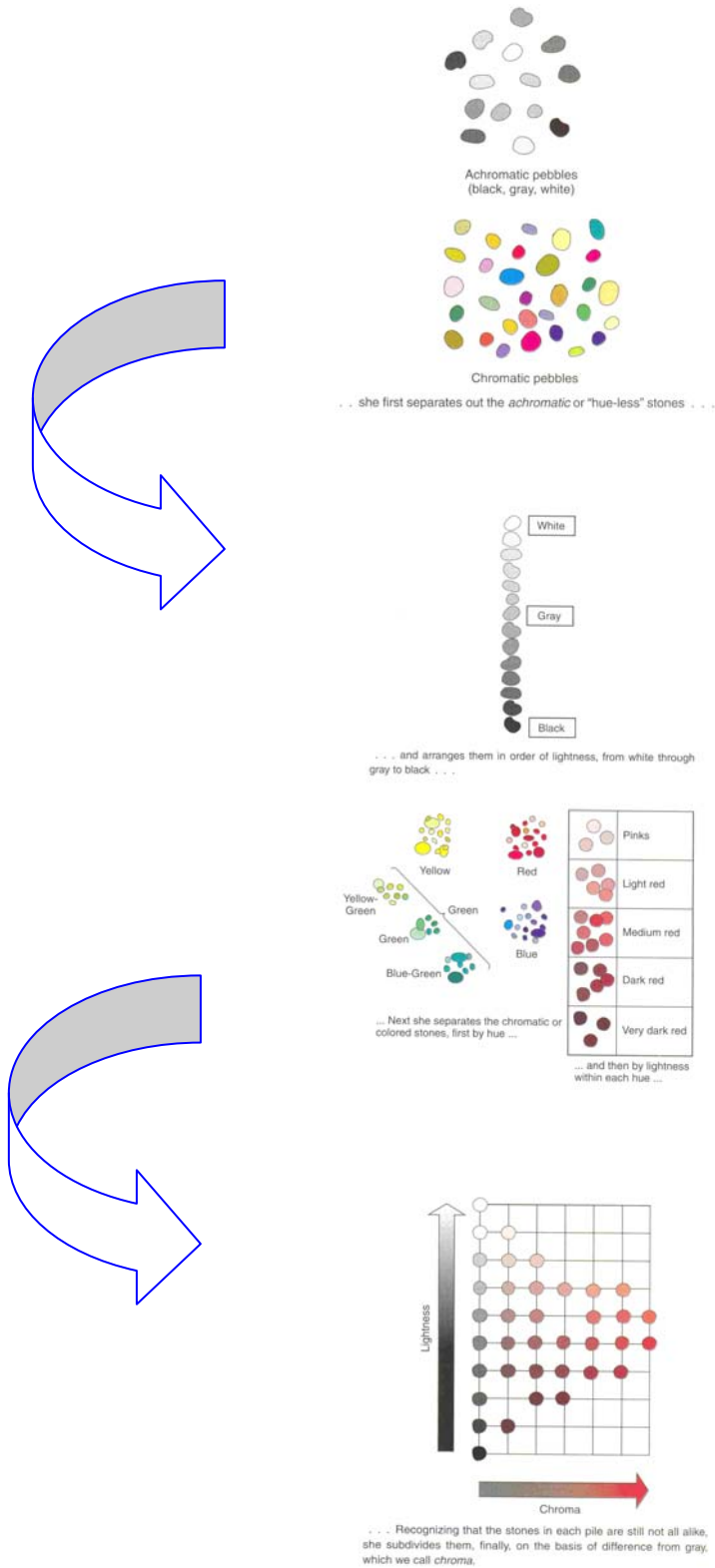


Fig. 23 ⁴²: Mètode de descripció del color

Alguns sistemes de descripció del color ja es van plantejar fa centenars d'anys; Aristòtil, per exemple, va proposar dotze colors o més en una escala numèrica, des del fosc més intens fins al clar més lluminós.

Newton va descriure la correlació entre set colors i els set tons de l'escala musical occidental, indicant la preocupació que el nombre total de colors havia d'encaixar amb un ordre o un sistema ordenat superior i diví.

Un dels casos històrics més importants és el diccionari de termes llatins del color (*Libellus de Coloribus*) fet per Antonio Telesio l'any 1528 i que va ser el més complet del seu temps. El llibre conté un índex alfabètic de 115 termes llatins de color. Telesio es va basar en textos clàssics de Virgili, Ciceró, Horaci, Ovidi, Varro, Sallust i Aristòtil.⁴³

A partir d'aquests autors, Telesio va establir categories de color segons el significat i l'aplicació del terme de color. Dotze d'aquestes categories es basaven en similituds en l'aparença. Les dotze categories de colors bàsics segons Telesio eren:

- **Blau** (*caruleus*)
- Gris (*casius*)
- Negre (*ater*)
- **Blanc** (*albus*)
- **Marró** (*pullus*)
- **Taronja** (*ferrugineus*)
- **Taronja vermellós** (*rufus*)
- **Vermell intens** (*ruber*)
- **Rosa** (*roseus*)
- **Porpra** (*puniceus*)
- **Groc** (*fulvus*)
- **Verd** (*viridis*)



Fig. 24⁴⁴

Aquestes categories de color són les mateixes que les elegides per Berlin i Kay.

Les categories de Telesio tenien una lògica visual que va ser predecessora del primer cercle de color que es coneix, i que es troba al llibre *Physica*, de Forsius, del 1611.

El lèxic de Telesio va ser el primer llibre imprès que es va dedicar exclusivament al tema del color. Durant dos segles va ser el diccionari més extens sobre el tema.



Fig. 25⁴⁵

3.3.1. Hipòtesi de Berlin i Kay



Fig. 26 ⁴⁶

Berlin i Kay volien determinar si existia un conjunt de noms bàsics de color que representessin la mateixa regió de l'espai de color en qualsevol idioma. Això significaria que els noms dels colors són universals i que sempre existeix una traducció o correspondència entre els noms dels colors en els diferents idiomes.

La idea central del seu estudi és que les cultures condicionen l'idioma, i l'idioma condiona la percepció de les categories de color. Així i tot, s'ha de tenir necessàriament en compte els processos biològics que tenen lloc en la percepció del color, especialment els processos de colors oposats que van ser descrits per primer cop per Hering. El resultat d'aquestes consideracions és que es pot establir un paral·lelisme entre els processos biològics i els lingüístics dividint la teoria de Berlin i Kay en dos components:

- Els primers sis termes de color de Berlin i Kay, i que a la vegada es corresponen als sis primaris de Hering:
 - Negre
 - Blanc
 - Vermell
 - Verd
 - Groc
 - Blau
- Cinc termes addicionals de color que juntament amb els anteriors constitueixen els onze termes bàsics de color de la classificació de Berlin i Kay:
 - Marró
 - Porpra
 - Rosa
 - Taronja
 - Gris



Fig. 27 ⁴⁷

Berlin i Kay van definir un terme bàsic de color en dos nivells (termes de nivell I i termes de nivell II):

- Un terme de **nivell I** ha de tenir quatre propietats:
 1. Ha de ser general, s'ha de poder aplicar a diferents objectes. El seu significat no es pot englobar en altres termes. En són exemples el carmesí, l'escarlata, etcètera.
 2. Ha de ser representatiu i àmpliament utilitzat en un idioma determinat.
 3. Ha de ser gramaticalment simple, és a dir, no pot ser una paraula composta. Per exemple, verd-blavós.
 4. No es pot restringir a un sol context d'aplicació. Per exemple, ros/rossa.

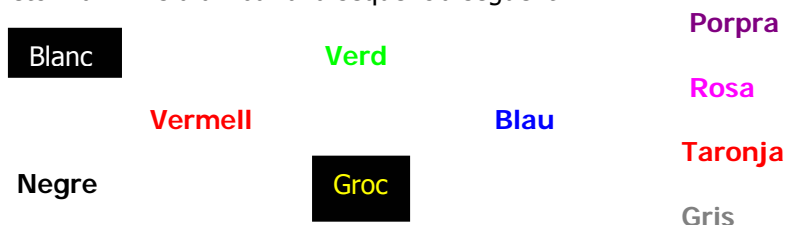
Utilitzant aquests quatre criteris, Berlin i Kay van definir els seus onze colors bàsics, que es corresponen amb onze categories separades de color. Els colors acromàtics són el blanc, el negre i el gris. Els sis colors cromàtics, coneguts també com els colors del prisma de Newton, són el vermell, el taronja, el verd, el blau i el porpra. El terme *porpra* de Berlin i Kay substitueix els termes de *violeta* i d'*indi* de Newton. Els colors no prismàtics són bàsicament variacions en lluminositat i saturació: el marró i el rosa.

- Un terme de **nivell II** és qualsevol terme que no entra en la classificació de nivell I però pot ser definit per aquests termes de nivell I. Per exemple, un turquesa és un verd-blavós.

Eco va determinar que la llengua anglesa consta d'aproximadament 3.000 paraules o termes en ús que es refereixen al color.

Les cultures menys desenvolupades tecnològicament tenen pocs termes bàsics de color, i a mesura que evolucionen incorporen més termes de color al seu vocabulari. Aquest fenomen va portar Berlin i Kay a considerar que els termes o noms dels colors evolucionen seguint un esquema de classificació jeràrquica.

Després d'estudiar persones de 20 idiomes diferents i d'examinar uns 78 idiomes més mitjançant textos de literatura, Berlin i Kay van deduir que només hi havia realment onze termes bàsics de color. Si en un idioma n'hi havia menys, la seqüència evolutiva era la següent: si tenien dos termes bàsics (com en el dani de Papua), blanc i negre; si en tenien tres, blanc, negre i vermell; etc. I així fins a arribar a la seqüència següent:



D'aquesta manera, si onze colors poden combinar-se de 2.048 maneres diferents, la hipòtesi de Berlin i Kay limita aquestes combinacions a només 33.

Berlin i Kay també van descobrir que si bé no totes les cultures tenen els onze termes bàsics de color, quan tenen algun terme, aquest coincideix amb l'ordre de les altres cultures.

3.3.2. Sistemes de descripció del color

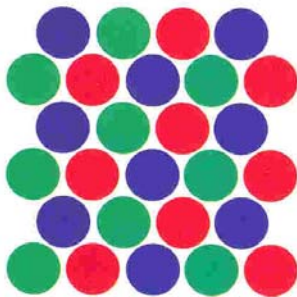
Es consideren principalment tres tipus de sistemes de descripció del color:

- De *mescles de color* (basat en la física del color)
- De *percepció del color* (basat en l'experimentació visual)
- D'*igualació del color* (basat també en l'experimentació visual)

3.3.2.1. Sistemes de descripció del color basats en la mescla de colors

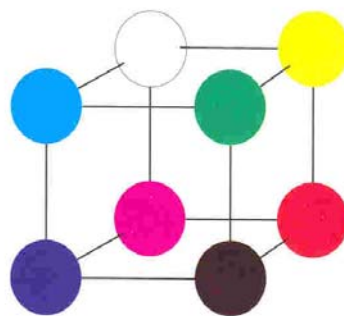
Un sistema basat en la mescla de colors mostra les relacions entre colors primaris i les seves mescles. Per exemple, en la impressió sobre paper s'utilitzen normalment quatre primaris: cian, magenta, groc i negre. La col·lecció de colorants utilitzats en un procés de coloració concret es denomina col·lecció primària (*primary set*). Encara que molts processos i sistemes de color es basen en tres primaris, existeix una tendència, cada cop més habitual, d'incrementar el nombre de primaris i així augmentar el nombre de colors resultants, o gamma de colors, amb la millora conseqüent de possibilitats d'igualació de colors. (Fig. 28)

L'elecció dels colors primaris depèn del mètode de coloració. El mètode més senzill és la mescla de llum de colors. Un exemple és la part interior de les pantalles CRT, en què es poden distingir tres zones o àrees diferents, que corresponen al blau, al vermell i al verd. Com que cada àrea, o píxel, és més petita que la resolució màxima de l'ull a distàncies estàndard d'observació, els nostres receptors fan la mitjana de la llum percebuda. Quan la quantitat dels tres primaris (vermell, blau i verd) són mínimes, en resulta el color negre. Quan la quantitat dels tres primaris és màxima, en resulta el color blanc. Augmentant o disminuint individualment les quantitats dels primaris o de les seves combinacions en resulta una ordenació sistemàtica de colors. Això es representa en el que s'anomena un cub de colors RGB. (Fig. 29)



Color CRT displays consist of three different types of phosphors coated onto the inside of the glass faceplate. Because each colored area forming a picture element, or pixel, is smaller than the eye's maximum resolution at typical viewing distances, the light is averaged by our receptors.

Fig.28⁴⁸: Color CRT



The colors produced by CRT displays are often shown as a cube in which each point represents combinations of the maximum and minimum emission of each primary.

Fig.29⁴⁹: Disposició dels colors CRT

Mitjançant programari d'ordinador es poden fer talls del cub per obtenir una selecció dels colors. Sovint es fa rotar el cub de manera que el color negre quedi a sota i el color blanc a sobre, i la figura resultant és un hexàgon. (Fig. 30)

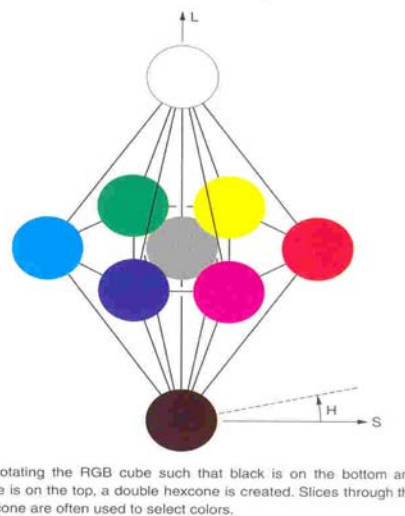


Fig. 30⁵⁰: Cub RGB

Abans de les pantalles de color els sistemes de mesclades additives només tenien interès teòric. Normalment les mesclades de color es feien mitjançant colorants, pintures, tints tèxtils o tintes per a impremta. Els primers d'aquests sistemes van ser els dissenyats per Ostwald, Jacobson i Granville.⁵¹

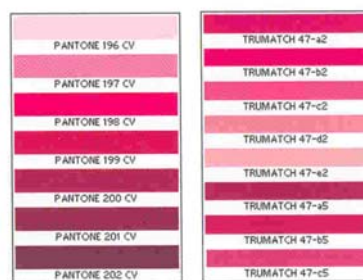
La indústria de les arts gràfiques ha creat i utilitzat molts sistemes de mesclades de colors. Aquests sistemes es representaven en llibres on es mostraven totes les mesclades de colors fetes amb tintes (cian, magenta, groc i negre):

True Color Process Guide. Fet al 1950 i amb 18.000 colors.⁵²

Pantone Matching System. Sistema organitzat pel to. Basat en 14 tintes bàsiques.⁵³ (Fig. 31)

Trumatch. Sistema organitzat pel to. Molt similar al *Pantone*.⁵⁴

Els sistemes de mescla de colors no serveixen per a l'especificació de la percepció del color. La relació entre intervals iguals en mesclades i en la percepció del color és no lineal.



Colors can be selected through computer graphics color pickers that represent ink mixtures.

Fig. 31⁵⁵ : Mostres Pantone i Trumatch

3.3.2.2. Sistemes de descripció del color basats en la percepció del color

Els sistemes de mescla de color van evolucionar a partir de la definició d'una sèrie de colors primaris i d'un procés de coloració. Els sistemes de percepció del color evolucionen des de la definició d'una gamma de percepcions. Així doncs, aquests sistemes comencen al cervell. Les percepcions utilitzades han de ser consistents i unívokes per a totes les persones a les quals representin.

S'ha de distingir entre un sistema ordenat de colors i la representació d'un sistema ordenat de colors: un sistema ordenat de colors és un sistema conceptual de percepcions de colors organitzades, i la representació d'un sistema ordenat de colors és un sistema físic que mostra un sistema ordenat de colors. Quan es volen mostres que representin el sistema s'han de tenir en compte els punts crítics exposats per McCamy:

- Il·luminació i entorn d'observació. Totes les condicions d'observació de la mostra (distribució espectral de la font lluminosa, geometria d'observació, etc.) han de ser especificades exhaustivament.
- Elecció del material de les mostres.
- Els colorants han de ser estables, és a dir, no hi ha d'haver canvis de color amb la humitat i/o la temperatura, els engroguiments, etcètera.
- Evitar mostres metamèriques.
- L'ordenació dels colors s'ha de fer basant-se en una mesura del color feta amb gran cura i precisió.

Desgraciadament, no existeix una única representació que compleixi tots aquests requeriments tècnics. Com a conseqüència existeixen diverses col·leccions de colors per fer especificacions.⁵⁶

A pesar de tots els inconvenients esmentats, els sistemes d'ordenació de color són una eina molt important i útil en la tecnologia del color.

3.3.2.2.1. El sistema de colors de Munsell

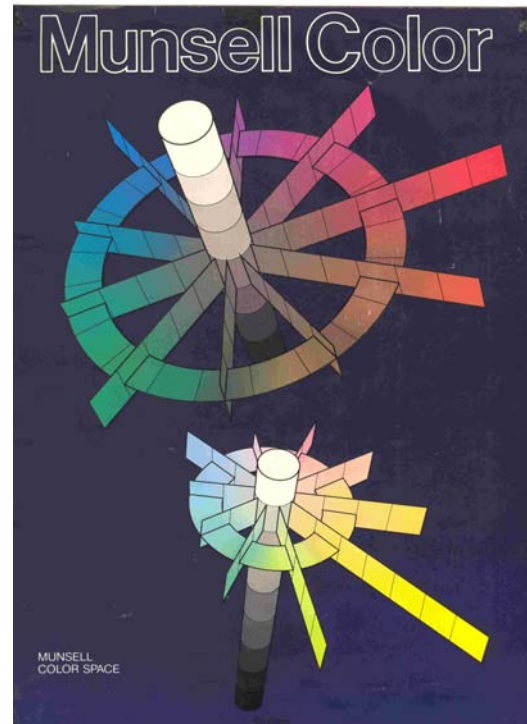


Fig. 32 ⁵⁷: Sistema de Munsell

El sistema de colors de Munsell es va desenvolupar l'any 1905 com una eina d'ajuda per a estudiants d'art. El seu mèrit consistia tant a ser un sistema numèric com a ser una ordenació física dels colors (*Atlas dels colors de Munsell*, 1915). El seu principi rector era l'uniformitat de l'espai visual.

Munsell va dividir l'espai tridimensional de colors en to, claredat i croma, als qual va anomenar to Munsell, valor Munsell i croma Munsell, respectivament. La classificació numèrica consisteix en 10 tons principals i 10 valors basats en el sistema decimal. Els 10 tons són:

- Vermell (R)
- Groc-vermell (YR)
- **Groc** (Y)
- Verd-groc (GY)
- Verd (G)
- Blau-verd (BG)
- Blau (B)
- Porpra-blau (PB)
- Porpra (P)
- Vermell-porpra (RP)

Els 10 tons estan representats en un cercle.

Els tons anomenats principals són: R, Y, G, B i P.

Cada to principal es pot dividir en 10 subtons: 1R, 2R... 9R i 10R. D'aquesta manera el to queda dividit en 100 valors. Aquest sistema proporciona més igualtat visual entre mostres o intervals de mostres veïnes que els sistemes basats en 4 tons principals (vermell, verd, groc i blau). (Fig.32)

Els colors específics dels cinc principals tons del sistema de Munsell van ser determinats visualment. Aquests tons es van ajustar per tenir el mateix valor de Munsell i la mateixa cromà de Munsell, i formen un to neutre quan es mesclen utilitzant un disc giratori, per exemple.

El valor de Munsell varia des del negre (0) fins al blanc (10). Els colors acromàtics es defineixen amb N , per exemple, $N0$, $N1$... $N10$.

Per a un to i un valor definits, els colors formen escales de valors de cromà creixents i amb diferències iguals entre mostres veïnes. Les mostres que complien aquests criteris es van seleccionar pel mètode del passa / no passa (*pass/fail*).

Munsell va voler representar el seu espai tridimensional de mostreig de colors en una esfera. Però limitar la gamma de colors a una esfera té el problema que per a alguns pigments els valors màxims de cromà tenen valors diferents de claredat. Finalment en va resultar el sòlid de colors de Munsell, en el qual cada to arriba a la seva màxima cromà en cada valor. L'Atlas es va fer en paper mat pintat. (Fig. 33)

L'Atlas original s'ha perfeccionat fins a arribar a l'actual. (Fig. 34)

La notació de Munsell es defineix com:

$H \ V \ C$,

on H és el to, V representa el valor i C és la cromà.⁵⁸

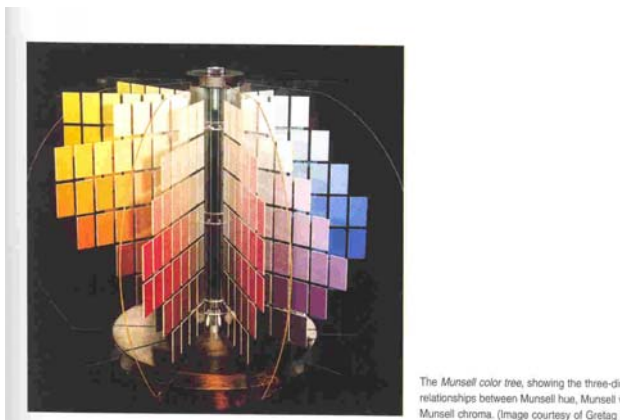


Fig. 33⁵⁹ : Arbre de colors de Munsell

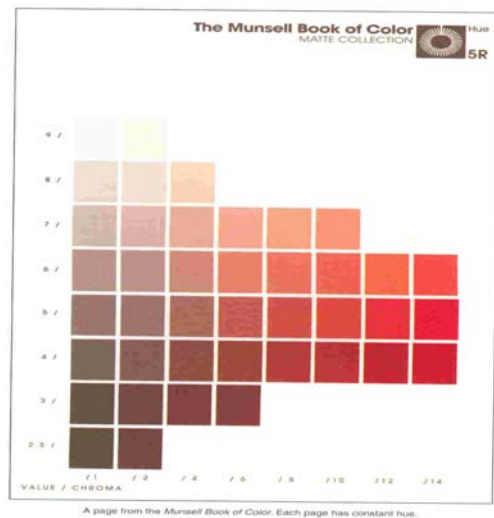
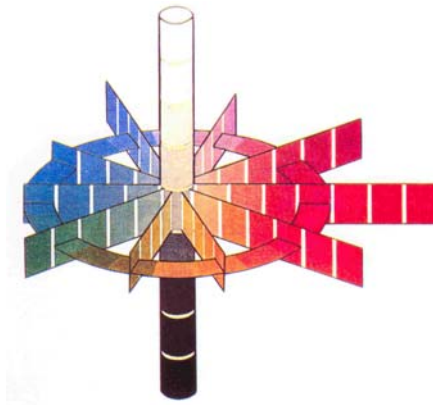


Fig. 34⁶⁰: Llibre de colors de Munsell



LAMINA VIII

Tono, valor y croma de Munsell. El polo central representa la escala del VALOR. Las bandas que señalan desde el centro representan al Chroma en pasos iguales y crecientes. La banda circular muestra los tonos en su propia secuencia. (Billmeyer 1981)

Fig. 35 ⁶¹: Làmina de Munsell



Fig. 36 ⁶²: Productes del sistema de classificació de color de Munsell

3.3.2.2.2. El sistema NCS (Natural Color System)

La fisiologia de l'ull implica els canals oposats de negre-blanc, vermell-verd i blau-groc. Això té com a conseqüència sis colors elementals:

- Negre (*S*, *swarthy*)
- **Blanc** (W)
- **Groc** (Y)
- **Vermell** (R)
- **Blau** (B)
- **Verd** (G)

Hering considerava aquests colors elementals com a naturals. Les idees de Hering van ser interpretades per Johanson el 1930, que va crear el sistema natural de color. Hesselgren va fer experiments visuals per obtenir una representació del sistema de color natural de Johanson. Els seus resultats constitueixen l'Atles de Color de Hesselgren. Aquest Atlas però, tenia irregularitats visuals, envelliment de les mostres, etc. La Fundació Sueca del Centre de Color, fundada el 1964, va revisar l'Atles de Hesselgren amb nous experiments visuals i incorporant-hi especificacions i mesures colorimètriques. Després de quinze anys de recerca i desenvolupament, l'any 1979 es va presentar l'Atles Suec de Color, basat en el Sistema de Color Natural (NCS). (Fig. 37)

El principi de definició de color de l'NCS és la semblança de colors elementals de Hering, expressada en percentatges. Els colors elementals es poden organitzar en un hexàgon en el qual són possibles diferents combinacions segons les teories dels oponents de Hering. Per exemple, el blau elemental es pot combinar amb verd, vermell, negre i blanc, però no amb el groc, i de la mateixa manera el vermell no es pot combinar amb el verd. (Fig. 38)

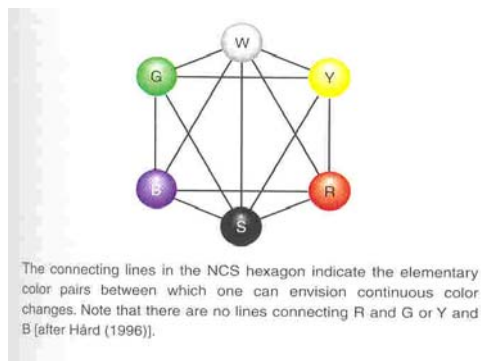


Fig. 37⁶³: Hexàgon NCS

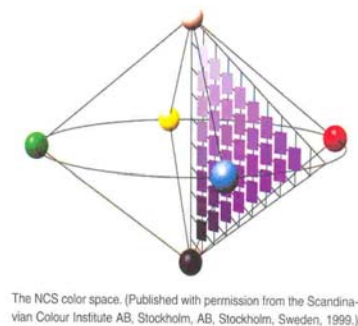
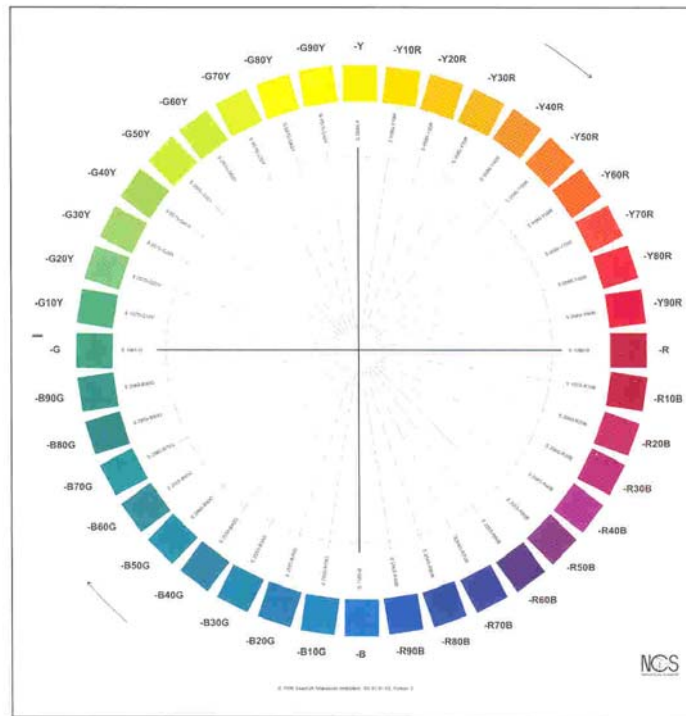


Fig. 38⁶⁴: Espai de color NCS

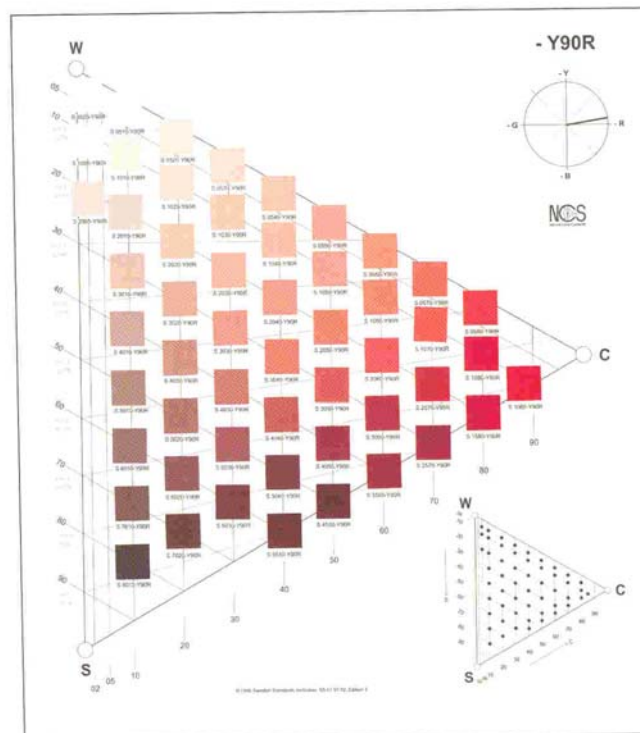
Els colors elementals normalment es representen en un espai de colors tridimensional del qual en resulta el to NCS, la foscor (o la claredat) NCS i la cromaticitat NCS. Tallant l'espai tridimensional amb una blancor o claredat constant s'obté un cercle de tonalitat. Un to determinat es defineix com el percentatge entre els dos colors elementals adjacents. Per exemple, el color Y20R es troba entre el 100Y i el 100R, i posseeix un 80 % de Y i un 20 % de R. Si els talls en l'espai de colors es fan per to constant, s'obté un triangle de color NCS. En aquests triangles, la cromaticitat (*c*), la foscor (*s*) i la claredat (*w*) es calculen i s'expressen en percentatges. Com que aquests tres paràmetres sempre sumen 100, només s'indiquen la cromaticitat i la foscor. Així doncs, en el sistema NCS un color es defineix pel seu to, per la seva foscor i per la seva cromaticitat. Per exemple, per al color 10, 80, *G*, el primer nombre n'indica la foscor, el segon nombre la cromaticitat i la lletra final el to. (Fig. 39)

El sistema NCS es presenta principalment en paper mat i brillant. Com que és un estàndard suec i noruec, molts materials, com ara pintura decorativa, materials de construcció i pintures artístiques, tenen especificacions de color en el sistema NCS. ⁶⁵ (Fig. 40)



Bisecting the NCS color space at constant blackness reveals the NCS color circle. The distance from the center to the circle represents chromaticness.

Fig. 39 ⁶⁶: Cercle de color NCS



Page from the NCS Colour Atlas.

Fig. 40 ⁶⁷: Pàgina del Atlas de color NCS

3.3.2.2.3. El sistema OSA d'escalles de color uniformes

Tant el sistema Munsell com l'NCS són cilíndrics, amb un eix central de lluminositat que està envoltat de plans cromàtics organitzats en cercles de tonalitat. En aquests sistemes, per a cada to, les interrelacions amb els altres colors tenen un espai visual igual. Això es contradiu amb el fet que els colors més cromàtics estan més separats dels altres que els menys cromàtics. De l'any 1947 al 1974 un subcomitè de l'Optical Society of America va desenvolupar un nou sistema de color que solucionava aquesta deficiència. Aquest sistema s'anomena *OSA d'escalles de color uniformes*. En l'anàlisi de geometries cristal·lines existeix una estructura que representa la uniformitat espacial en tres dimensions, el cuboctaedre. En aquesta geometria, cada punt està rodejat de 12 punts equidistants. El cuboctaedre es posiciona en un espai tridimensional amb les dimensions de lluminositat (L), groc-blau (j) i vermell-verd (g). Es van fer experiments visuals per determinar colors específics que integressin els criteris del sistema (es van especificar 558 colors). El fet que aquest sistema sigui complex i que no es pugui ordenar per valors de to o de cromà constants n'ha limitat l'ús. ASTM ha publicat una pràctica d'ús normalitzada per fer-lo servir (ASTM E 1360). A més, últimament s'han desenvolupat programaris que representen aquest sistema.⁶⁸ (Fig. 41) (Fig. 42) (Fig. 43)

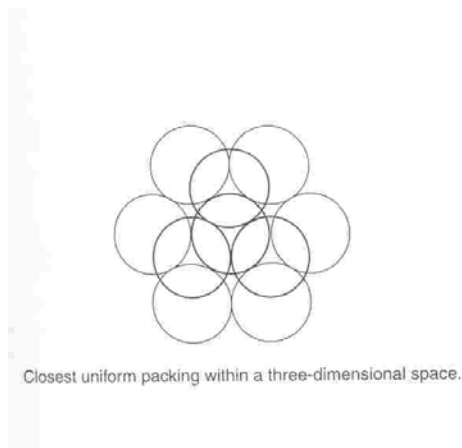


Fig. 41⁶⁹: Espai tridimensional

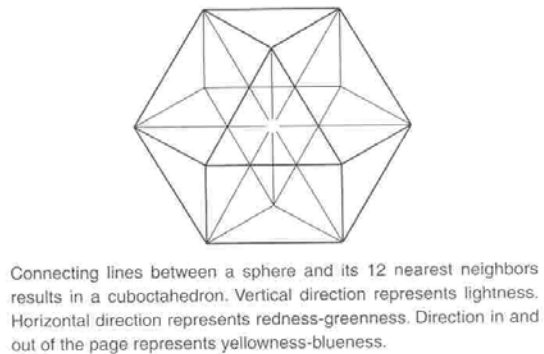


Fig. 42⁷⁰: Octaedre cúbic

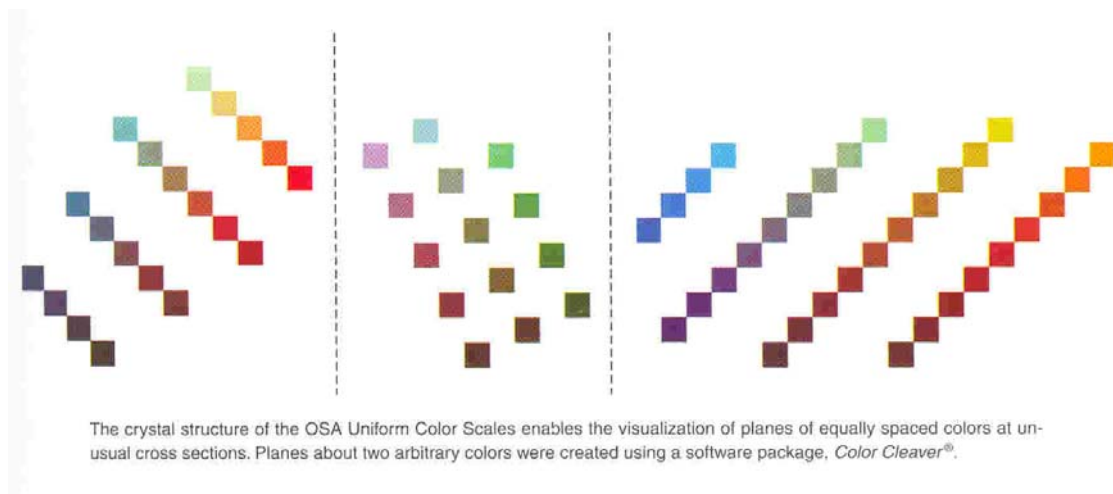


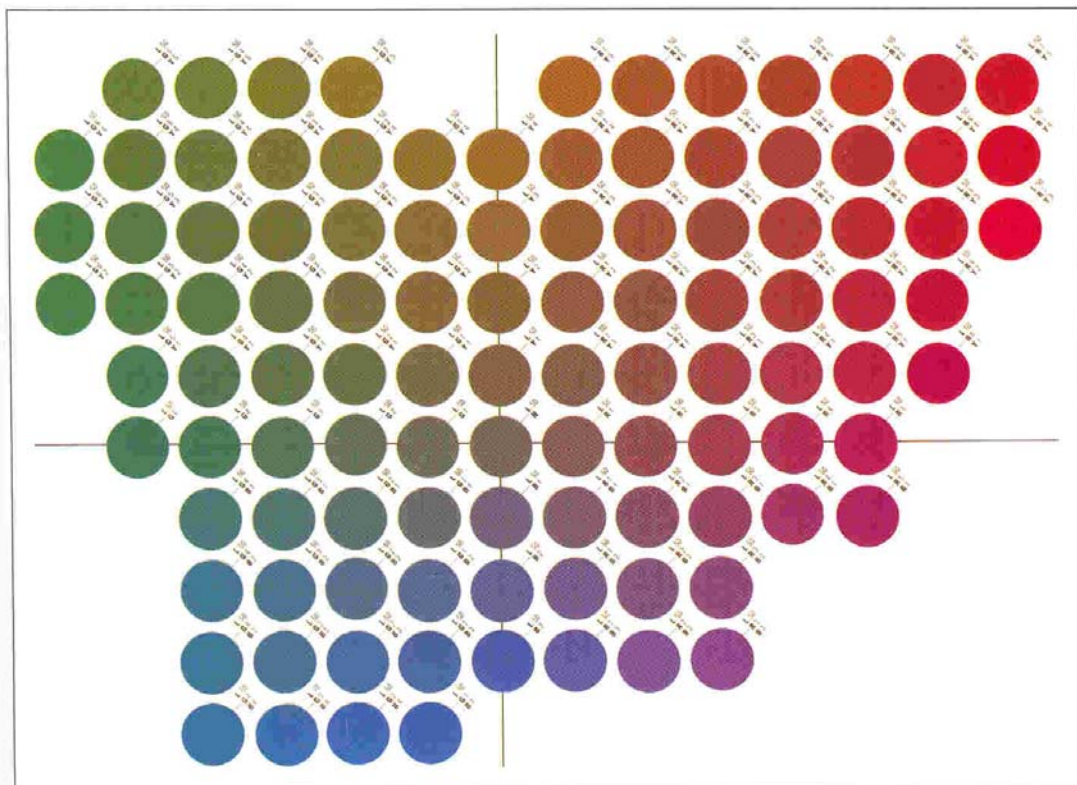
Fig. 43⁷¹: Escalles de color uniforme OSA

3.3.2.2.4. El sistema *colorcurve*

El sistema *colorcurve* és un sistema híbrid basat en sistemes de mescla de colors i de percepció de colors (ASTM E 1541). L'espai de diferències de color CIELab s'utilitza com una aproximació a un sistema uniforme d'ordenació visual de color. El sistema *colorcurve* representa les mostres de dimensió rectangular del sistema CIELab: claredat, vermell-verd i groc-blau. Les coordenades CIELab s'utilitzen com a punt de partida d'un sistema de mescla de colors.

Per a una determinada claredat es defineixen vuit mescles de color, situades en els eixos vermell-verd i groc-blau, amb increments constants de to i a un valor constant de cromà. Es defineix també una novena mescla, un gris compost de pigments blancs i negres. Cada mescla es defineix per la seva corba espectral. Donat un determinat quadrant, les tres mescles i el gris corresponent s'intermesclen en proporcions additives iguals creant una graella de colors, cada una de les quals té la seva corba espectral corresponent.

Encara que el sistema *colorcurve* és només un espai aproximadament uniforme, té l'avantatge de poder-se representar en una gran quantitat de materials sense dificultats metamèriques resultants de condicions incontrolades d'observació i d'il·luminació. Com que cada especificació *colorcurve* té la seva corba de reflectància, es poden seleccionar corbes que tinguin metamèria mínima, és a dir, es poden fer reproduccions de colors espectrals o quasi espectrals. (Fig. 44)



A page from the *Colorcurve Master Atlas* at medium lightness.

Fig. 44 ⁷²: Pàgina del Atlas Colorcurve

3.3.2.3. Sistemes de descripció del color basats en la reproducció del color: el sistema CIE

Una manera de simplificar l'especificació d'un color és reduir el problema a la reproducció del color. El color reproduït ha de ser igual a la referència o mostra original sota les mateixes condicions d'observació i/o mesurament.⁷³

3.3.2.3.1. La colorimetria i el sistema CIE

El color està associat a les ones electromagnètiques, i més concretament a la seva distribució espectral en l'espectre visible (de 400 nm a 700 nm). (Fig. 45)

L'absorció selectiva de les radiacions de certes longituds d'ona determina el color dels objectes. Les radiacions que no s'absorbeixen són reflectides o transmeses pels objectes, de manera que són visibles pels observadors.⁷⁴ (Fig. 46)

Muestra : bola de billar roja
Medición en geometría : d/8°
con energía especular incluida (brillo)

Longitud de onda en nm (λ en nm)	Valor de reflectancia en % (R %)
400	8,17
410	10,47
420	12,87
430	13,67
440	13,76
450	12,92
460	11,46
470	10,11
480	9,10
490	8,40
500	8,12
510	8,14
520	8,25
530	8,45
540	8,84
550	9,50
560	10,63
570	12,36
580	15,97
590	26,40
600	45,11
610	62,43
620	72,43
630	77,21
640	79,64
650	81,01
660	81,81
670	82,30
680	82,64
690	83,01
700	83,19

N.B : mediciones efectuadas con un espectrofotómetro de geometría d/8° de Datacolor Internacional

Fig. 45 ⁷⁵: Valors reflectància

Valores de reflectancia en % de la bola roja, al paso de 10 nm

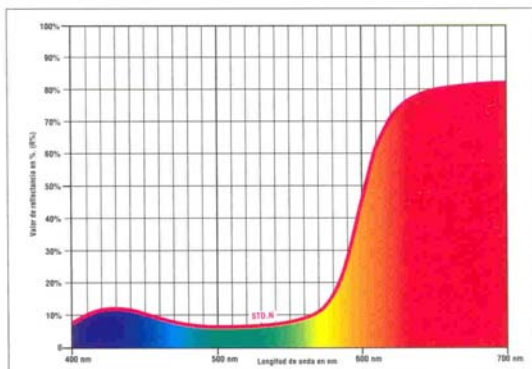


Fig. 46 ⁷⁶: Corba espectral

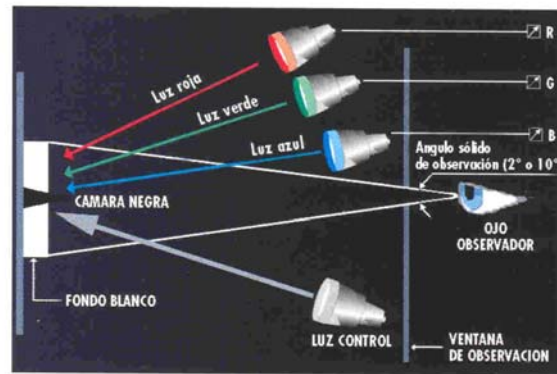
Curva espectral de la bola roja.
"La imprenta de este color"

La base científica del mesurament del color es basa en l'existència de tres grups diferents de senyals que es generen a l'ull d'un observador humà. Les respostes espectrals a aquests tres tipus de receptors de l'ull, en funció de la longitud d'ona, són ben coneguts actualment. Per poder identificar la resposta dels estímuls de color mitjançant valors numèrics, els valors de les funcions colorimètriques de l'ull s'han normalitzat i s'han incorporat a la definició de l'observador patró de la CIE.

L'observador patró, així com l'il·luminant patró, és en realitat una taula de valors numèrics, representativa d'un observador humà mitjà normal, però les respostes no són les específiques d'un observador en concret.

Per definir l'observador patró, base de tot mesurament i de tot càlcul colorimètric, es van dur a terme una sèrie d'experiències sobre observadors humans que no presentaven cap anomalia de la visió.

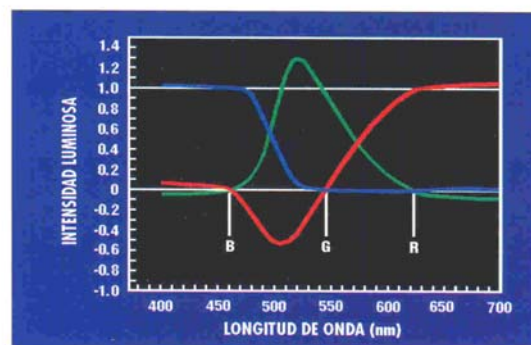
Es va demanar a aquests observadors que, a partir d'una síntesis additiva de tres fonts de llums primàries, fessin igualacions de colors en relació amb una llum de control. En aquesta experiència, l'observador podia ajustar el nivell energètic de cada llum primària (vermell-verd-blau). L'experiència consistia, per a l'observador, a ajustar la mescla de les tres primàries al mateix nivell d'aparença que la llum de control projectada a la pantalla, modificant el nivell energètic de cada una de les tres fonts primàries de color. La quantitat d'energia per a cada ajust de la llum de control i per a cada longitud d'ona va proporcionar coneixements de les respostes de les tres funcions cromàtiques de l'observador humà per a tot l'espectre visible (funcions de resposta r , g , b de l'ull de l'observador humà). (Fig. 47)



Experiencia de síntesis aditiva de luces.

Fig. 47⁷⁷: Síntesis aditiva de llums

A partir de les funcions tricromàtiques r , g , b reals es van desenvolupar transformacions matemàtiques, seleccionant tres nous patrons primaris —patró x , patró y , patró z — que van permetre la identificació d'un estímul de color basat en tres nombres. Qualsevol transformació hauria pogut ser vàlida, però l'objectiu era obtenir els màxims avantatges, especialment per a la simplificació dels càlculs.⁷⁸ (Fig. 48)



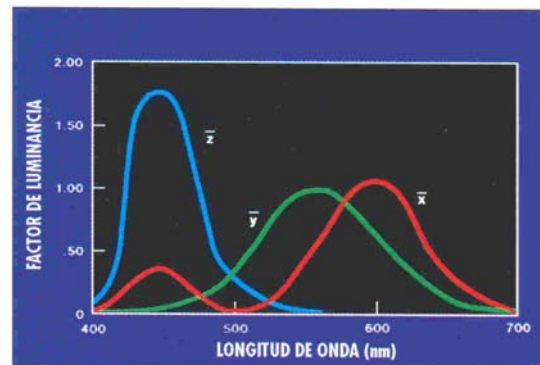
Funciones tricromáticas r g b del observador humano.

Fig. 48⁷⁹: Funcions tricromàtiques

Partint d'aquesta base es va establir una transformació matemàtica amb les característiques principals següents:

- Eliminació en les equacions dels valors negatius, difícilment tractables per l'electrònica d'aquella època (1931).
- Elecció d'un nou sistema de tres primàries "imaginàries" (X-Y-Z), de manera que l'*spectrum locus* (lloc geomètric de l'espectre) estigués inscrit dins del triangle definit per aquestes tres primàries.
- La funció \bar{y} va ser escollida i calculada perquè fos equivalent a la funció d'eficàcia lluminosa $V(\lambda)$ (CIE 1924) a fi de simplificar els càlculs.

- La funció \bar{z} va ser escollida perquè fos igual a 0 per a la major part de l'espectre visible, així com per simplificar els càlculs.
- Els càlculs es van fer per a una font d'energia igual que el conjunt de l'espectre i de manera que les superfícies de cada funció — \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} — fossin iguals.
- El resultat d'aquesta transformació és un conjunt de funcions colorimètriques CIE — \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} — que no representen funcions reals sinó mitjanes, representatives d'un observador mitjà. (Fig. 49)



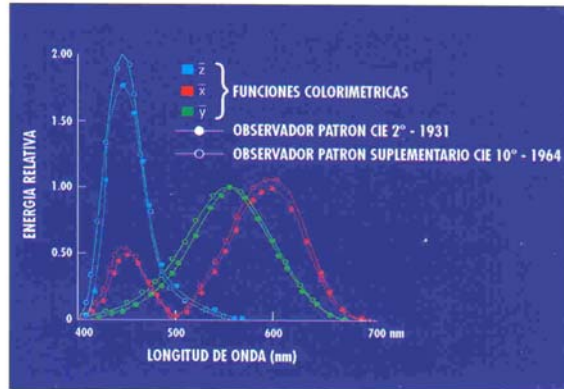
Funciones colorimétricas \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} del observador patrón 2° (CIE 1931).

Fig. 49⁸⁰: Funcions colorimètriques

L'observador CIE 1931 es va basar en una experiència que va utilitzar un angle sòlid d'observació de 2° per determinar una resposta mitjana de l'observador humà. Els treballs de Jacobsen (1948) i de Judd (1949) van demostrar que els resultats dels càlculs colorimètrics sota un angle de 2° no eren exactament iguals a l'observació visual per a les longituds d'ona curta (especialment per al color porpra), ja que la superfície de la retina sensibilitzada (especialment la fòvea) potser era insuficient.

El 1960 la CIE va proposar un observador patró suplementari sota un angle sòlid de 10°. D'aquesta manera la correlació obtinguda amb l'avaluació visual és millor.⁸¹

Va ser l'any 1964 que les funcions \bar{x}_{10} , \bar{y}_{10} , \bar{z}_{10} d'aquest nou observador patró suplementari van ser adoptades definitivament per la CIE.



Funciones colorimétricas \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} del observador 2°- 1931 y Observador 10° 1964

Fig. 50⁸²: Observadors 2° i 10°

La utilització de les funcions colorimètriques \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} de l'observador patró permet convertir una corba espectral en tres nombres denominats *valors triestímuls XYZ* que estableixen la identificació del color d'un objecte o d'una font de llum en base a tres valors numèrics. (Fig. 50)

Per exemple, la fórmula del càlcul per al valor triestímul X és:

$$X = \sum_{400}^{700} E(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \Delta \lambda,$$

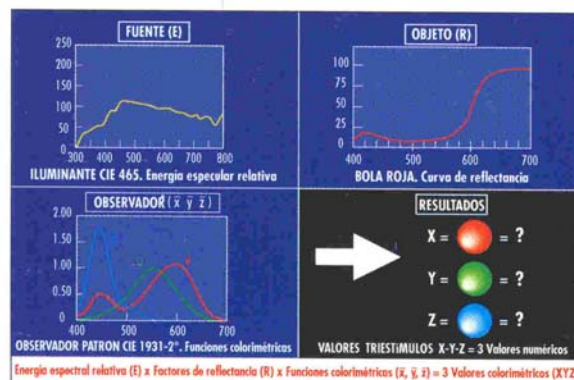
on

E = energia de la font (il·luminant)

R = factor de reflectància de l'objecte

\bar{x} = funció colorimètrica de l'observador patró

λ = valor de la longitud d'ona



Principio de cálculo de los valores triestimulares XYZ

Fig. 51⁸³: Valors XYZ

Els càlculs per a Y i Z es fan de la mateixa manera que per a X , segons el mateix procediment, substituint \bar{x} , per \bar{y} i per \bar{z} . (Fig.51)

Longitud de onda en nm	Coeficiente de Distribució para el Observador estándar CIE 1931 2° y el iluminante D65 para Δλ = 10 nm			Factor de Normalizaci6n del patr6n	Productos Triestímulos X - Y - Z		
	\bar{x},E	\bar{y},E	\bar{z},E		X = $\bar{x},E \cdot R$	Y = $\bar{y},E \cdot R$	Z = $\bar{z},E \cdot R$
380	0.007	0.000	0.031	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
390	0.022	0.001	0.104	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
400	0.112	0.003	0.532	0.0817	0.0092	0.0002	0.0435
410	0.377	0.010	1.796	0.1047	0.0395	0.0010	0.1880
420	1.189	0.035	5.711	0.1287	0.1530	0.0045	0.7350
430	2.330	0.095	11.370	0.1367	0.3185	0.0130	1.5543
440	3.458	0.228	17.343	0.1376	0.4758	0.0314	2.3864
450	3.724	0.421	19.627	0.1292	0.4811	0.0544	2.5358
460	3.243	0.669	18.614	0.1146	0.3716	0.0767	2.1332
470	2.124	0.989	13.998	0.1011	0.2147	0.1000	1.4152
480	1.048	1.524	8.915	0.0910	0.0954	0.1387	0.8114
490	0.330	2.142	4.791	0.0840	0.0277	0.1799	0.4024
500	0.051	3.343	2.815	0.0812	0.0041	0.2715	0.2286
510	0.095	5.132	1.614	0.0814	0.0077	0.4177	0.1314
520	0.628	7.041	0.775	0.0825	0.0518	0.5809	0.0639
530	1.687	8.785	0.430	0.0845	0.1426	0.7423	0.0363
540	2.869	9.425	0.201	0.0884	0.2536	0.8332	0.0178
550	4.267	9.796	0.086	0.0950	0.4054	0.9306	0.0082
560	5.625	9.415	0.037	0.1063	0.5979	1.0008	0.0039
570	6.947	8.678	0.019	0.1236	0.8586	1.0726	0.0023
580	8.304	7.885	0.015	0.1597	1.3291	1.2592	0.0024
590	8.612	6.352	0.009	0.2640	2.2736	1.6769	0.0024
600	9.046	5.374	0.007	0.4511	4.0807	2.4242	0.0032
610	8.499	4.264	0.003	0.6243	5.3059	2.6620	0.0019
620	7.089	3.161	0.002	0.7243	5.1346	2.2895	0.0014
630	5.062	2.088	0.000	0.7721	3.9084	1.6121	0.0000
640	3.547	1.386	0.000	0.7964	2.8248	1.1038	0.0000
650	2.147	0.810	0.000	0.8101	1.7393	0.6562	0.0000
660	1.252	0.463	0.000	0.8181	1.0243	0.3788	0.0000
670	0.680	0.249	0.000	0.8230	0.5596	0.2049	0.0000
680	0.347	0.126	0.000	0.8264	0.2868	0.1041	0.0000
690	0.150	0.054	0.000	0.8301	0.1245	0.0448	0.0000
700	0.077	0.028	0.000	0.8319	0.0641	0.0233	0.0000
710	0.041	0.015	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
720	0.017	0.006	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
730	0.009	0.003	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
740	0.005	0.002	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
750	0.002	0.001	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
760	0.001	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
770	0.001	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
780	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Total (Σ)	95.021	99.999	108.845		X = 33,16	Y = 20,89	Z = 12,71
Coordenadas Tricromáticas					$x = \frac{X}{X+Y+Z} = 0,4967$	$y = \frac{Y}{X+Y+Z} = 0,3129$	$z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 0,1904$

Fig. 52⁸⁴: Càlcul de XYZ

Càlculo del punto de color en XYZ bajo el iluminante D65 y el observador 2° a Dλ de 10 nm de la bola roja



Valores triestímulares XYZ de la bola de billar para D65 /2°

Fig. 53⁸⁵: Valors concrets de XYZ

D'aquesta manera, els valors triestímuls XYZ dels sistema CIE 1931 que són específics de cada color permeten identificar aquest color amb gran precisió, però la correlació directa amb l'avaluació visual és molt difícil. Encara que el valor Y és molt similar a l'observació de la claredat, per als valors X i Z l'aproximació als criteris de to i de saturació de la classificació visual és molt difícil. (Fig. 52)

La CIE va recomanar un diagrama de cromaticitat per identificar els aspectes cromàtics amb independència de la claredat. Per aconseguir-ho va proposar la utilització de les coordenades tricromàtiques x , y , z i va recomanar l'ús de x i y per precisar la cromaticitat del color. Per proporcionar una representació visual gràfica, la CIE va proposar un diagrama de cromaticitat que utilitza els valors x i y com a eixos. En aquest diagrama de cromaticitat, les coordenades tricromàtiques dels colors purs de l'espectre visible formen una corba en forma de ferradura de cavall o *spectrum locus*. (Fig. 53)

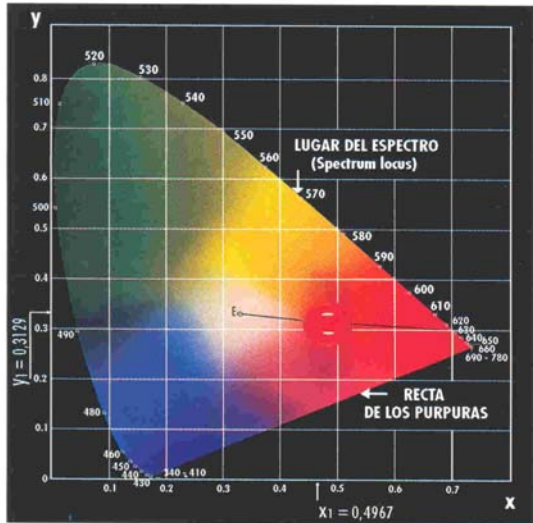


Fig. 54⁸⁶: Triangle de colors CIE

Triángulo de los colores CIE 1931 - Diagrama de cromaticidad.

A l'interior d'aquest diagrama, denominat també *triangle dels colors*, es representen tots els colors possibles (en llum), i cada punt a l'interior d'aquesta superfície té una cromaticitat diferent. A la part central del diagrama es troba el punt blanc neutre ($x = 0,333$, $y = 0,333$) de la font amb la mateixa energia. (Fig. 54)

Un dels mètodes per definir i identificar més fàcilment un color en el diagrama CIE 1931, a més d'utilitzar els valors triestímuls (XYZ o x, y), consisteix a definir la longitud d'ona dominant i la puresa colorimètrica. Aquest mètode ofereix més correlació entre els valors numèrics de la colorimetria i l'observació visual perquè permet identificar un color en termes de to i de saturació, com la classificació visual. La longitud d'ona dominant és la corresponent a la mescla additiva del color definit. D'aquesta manera identifica el to del punt de color pur. La puresa colorimètrica és el percentatge de contribució del color pur en la mescla. Una puresa d'1 correspon al color pur (color d'espectre) i una puresa de 0 correspon al color de l'il·luminant (llum blanca). La longitud d'ona dominant no és una propietat física, sinó que s'obté mitjançant el càlcul de les coordenades tricromàtiques x i y a partir de la corba espectral del color que es mesura. No té cap relació amb la modificació de la corba espectral, sinó que és una especificació psicofísica del color que permet una identificació senzilla del to dominant. (Fig. 55)

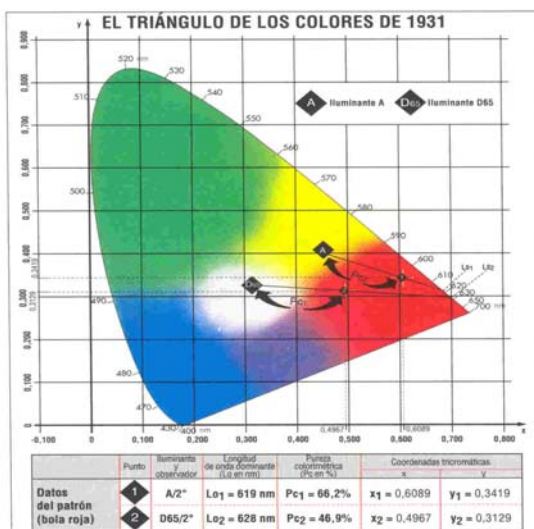
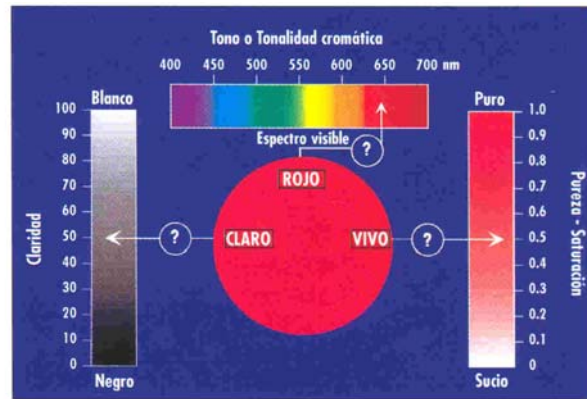


Fig. 55⁸⁷: Triangle de colors CIE (A/D65)

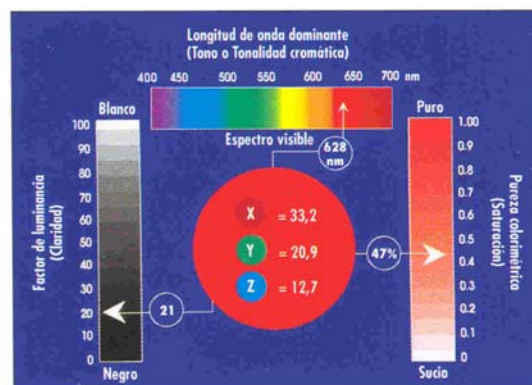
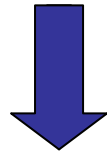
Longitud de onda dominante y pureza colorimétrica bajo los iluminantes A y D65

El sistema XYZ, establert per la CIE l'any 1931, és la base científica de la colorimetria moderna i permet definir un color en termes numèrics d'una manera completament objectiva i independent de l'observador humà. (Fig. 56) (Fig. 57)



Los 3 factores de percepción visual : tono / tonalidad cromática (rojo) - saturación / pureza (vivo) - claridad (claro)

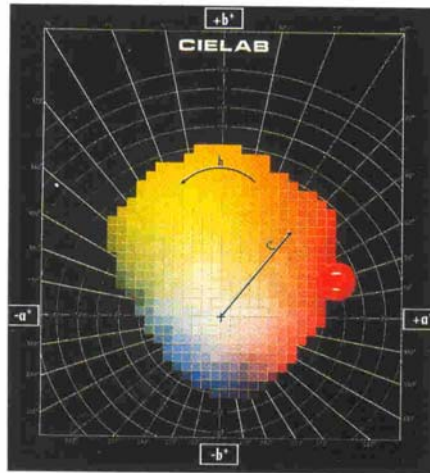
Fig. 56⁸⁸: Factors de percepció visual



Los 3 factores de percepción (claridad - tono - pureza) - ¡Valores numéricos!

Fig. 57⁸⁹: Valors numèrics dels factors de percepció visual

L'espai CIE 1976, denominat *sistema CIELab*, es basa en una transformació matemàtica del sistema CIE 1931. Mitjançant aquesta transformació es buscava obtenir un espai uniforme en diferències de colors i, a més a més, obtenir un sistema molt més fàcil d'interpretar i més fàcil de referenciar. En l'espai CIELab hi ha el mètode d'identificació tridimensional, basat en la teoria dels tres parells antagonistes (blanc-negre, vermell-verd, groc-blau) de la visió dels colors. (Fig. 58)



Espacio CIELAB. Plan de cromaticidad

Fig. 58⁹⁰: Espai CIELab



Espacio CIELAB. Método de identificación.

Fig. 59⁹¹: Coordenades Lab

Com a conseqüència de la seva transformació, l'espai CIELab no té diagrama de cromaticitat.

A pesar de ser més uniforme que l'espai inicial del 1931, l'espai CIELab no és estrictament uniforme en l'apreciació psicosensoial dels colors, però és més senzill a l'hora d'interpretar un punt de color i les diferències cromàtiques. (Fig. 59)

La fórmula de transformación y de cálculo del espacio CIE 1976 (CIELAB) a partir de XYZ (CIE 1931) es:

■ Coordenadas colorimétricas : L*a*b*

$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$ para $Y/Y_n > 0,008856$
 $L^* = 903,3 (Y/Y_n)$ para $Y/Y_n \leq 0,008856$
 $a^* = 500 [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)]$
 $b^* = 200 [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]$

con :

- para $Y/Y_n, X/X_n$ y $Z/Z_n > 0,008856$
 $f(X/X_n) = (X/X_n)^{1/3}$
 $f(Y/Y_n) = (Y/Y_n)^{1/3}$
 $f(Z/Z_n) = (Z/Z_n)^{1/3}$
- para $Y/Y_n, X/X_n$ y $Z/Z_n \leq 0,008856$
 $f(X/X_n) = 7,787 (X/X_n) + 16/116$
 $f(Y/Y_n) = 7,787 (Y/Y_n) + 16/116$
 $f(Z/Z_n) = 7,787 (Z/Z_n) + 16/116$

Los componentes tricromáticos X_n, Y_n, Z_n son los de un color de superficie elegido como estímulo blanco nominal. Este estímulo corresponde habitualmente a la distribución espectral de energía de uno de los iluminantes patrones CIE, por ejemplo D65 o A. En esas condiciones, X_n, Y_n, Z_n son los componentes tricromáticos del iluminante patrón donde Y_n es igual a 100. Por ejemplo : para D65/10° : $X_n = 94,81, Y_n = 100,000, Z_n = 107,304$.

Cuando se desea expresar los elementos de las diferencias de color en función de los componentes correspondientes a los atributos : claridad, tono, saturación - croma, se utilizan los términos definidos a continuación :

■ Claridad CIE 1976 : L*
 Es la magnitud L^* definida por la relación :
 $L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$ para $Y/Y_n > 0,008856$
 $L^* = 903,3 (Y/Y_n)$ para $Y/Y_n \leq 0,008856$

■ Saturación - Croma CIE 1976 : C*
 Es la magnitud C^* definida por la relación :
 $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$

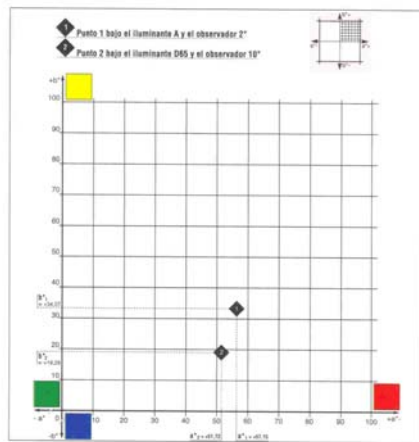
■ Angulo de tono CIE 1976 : h
 Es la magnitud definida por la relación :
 $h = \text{arc tg } (b^* / a^*)$

Fig. 60⁹²: Fórmulas CIE 1976

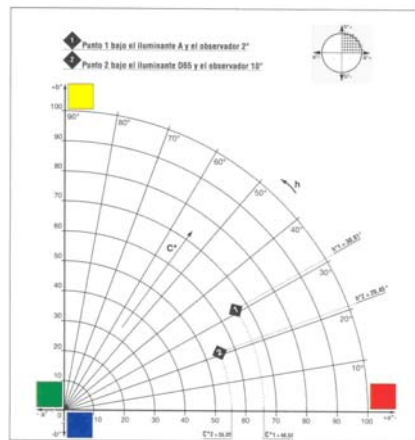
El sistema CIELAB también tiene las propiedades de un espacio euclidiano. Cada uno de sus puntos puede referenciarse por :

- sus coordenadas rectangulares L^*, a^*, b^* donde:
 - L^* representa la claridad,
 - a^* representa el componente cromático rojo-verde,
 - b^* representa el componente cromático amarillo-azul.

- o por sus coordenadas polares L^*, C^* y h donde:
 - L^* sigue representando la claridad,
 - C^* representa el croma o la saturación,
 - h representa el ángulo de tono o la tonalidad cromática.



Posicionamiento de puntos de color en coordenadas rectangulares $L^* a^* b^*$ del sistema CIELAB

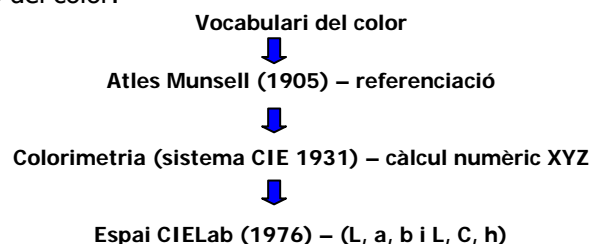


Posicionamiento de puntos de color en coordenadas cilíndricas $L^* C^* h$ del sistema CIELAB

Fig. 61⁹³: Coordenadas L, a, b

En resum, gràcies a l'espai CIE 1931 i les seves posteriors modificacions, s'ha passat de la interpretació visual del color a la colorimetria. (Fig. 60) (Fig. 61)

Evolució de la definició del color:



Així doncs, des de l'aparició de la colorimetria moderna hem passat del tractament subjectiu al tractament objectiu en la definició del color. (fig. 62)

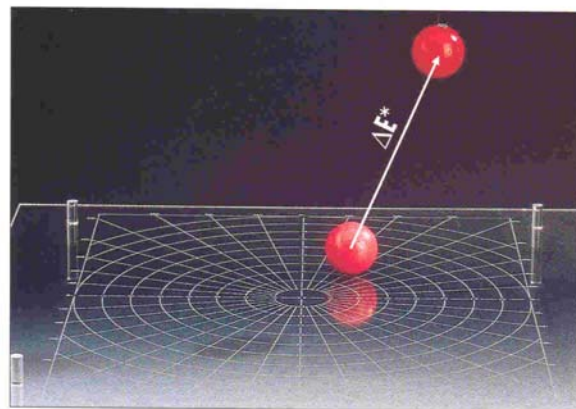


*Del color... a la colorimetría
Del vocabulario... al sistema CIE 1931...
y al espacio CIELAB 1976
De lo subjetivo... a lo objetivo y a la medición*

Fig. 62⁹⁴: Resum valors c/vermell d'exemple

3.3.2.3.2. Diferències de color (fórmules matemàtiques)

El fet de buscar un espai de color uniforme també té per finalitat permetre l'avaluació de les diferències de color a través de la mesura de la distància geomètrica que separa els punts de color dins d'aquest espai. La distància geomètrica entre dos punts serà calculada per una relació que fa intervenir la seva projecció espacial sobre cada una de les tres principals variables del sistema colorimètric. (Fig. 63)



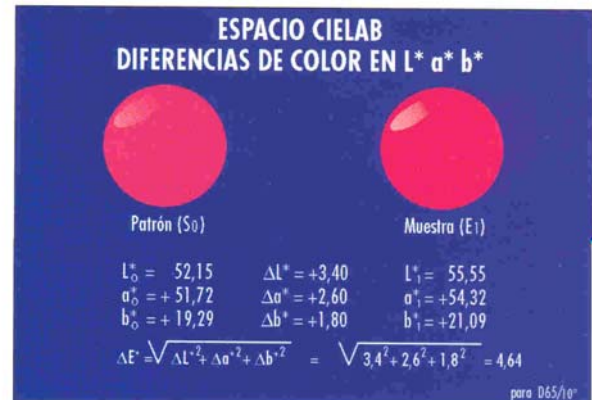
Diferencia total del color (DE) entre dos bolas rojas*

Fig. 63⁹⁵: Diferència total de color

En el sistema CIELab la diferència total de color (ΔE^*) integra la diferència de les tres variables independents: ⁹⁶

En coordenades rectangulars (L^* , a^* , b^*): (Fig. 64)

- Diferència de claredat: ΔL^*
- Diferència cromàtica vermell-verd: Δa^*
- Diferència cromàtica groc-blau: Δb^*

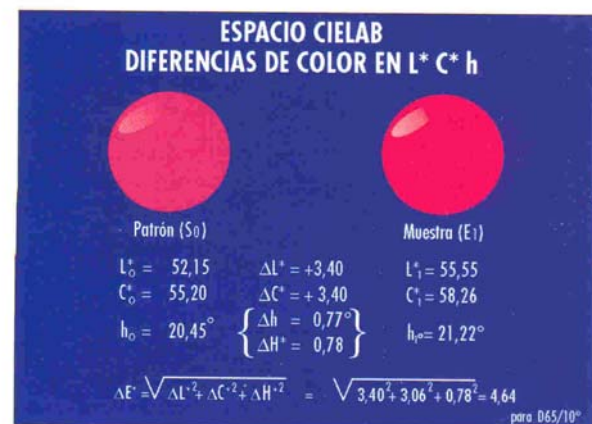


Espacio CIELAB. Diferencias de color en L^ a^* b^**

Fig. 64 ⁹⁷: Diferències de color Lab

En coordenades polars (L^* , C^* , h): (Fig. 65)

- Diferència de claredat: ΔL^*
- Diferència de cromà/saturació: ΔC^*
- Diferència d'angle de to: Δh

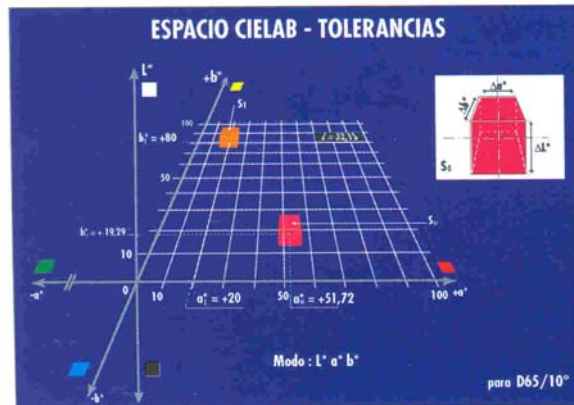


Espacio CIELAB. Diferencias de color en L^ C^* h*

Fig.65⁹⁸: Diferències de color LCh

L'expressió de les **diferències de color en coordenades rectangulars (L^* , a^* , b^*)** ens retorna al concepte dels colors antagonistes en la visió: ⁹⁹ (Fig. 66)

- Variació vermell-verd amb projecció de la diferència sobre l'eix a^* .
- Variació groc-blau amb projecció de la diferència sobre l'eix b^* .



Toleràncies en coordenades rectangulars $L^* a^* b^*$ en el espai CIELAB

Fig. 66 ¹⁰⁰: Toleràncies espai CIELab

En expressar ΔL^* , la diferència de claredat, el signe de la diferència mostra el sentit de la variació en relació amb la percepció psicosensoiral:

- Valor negatiu: diferència cap al fosc (negre).
- Valor positiu: diferència cap al clar (blanc).

El signe de la diferència indica el sentit de la variació:

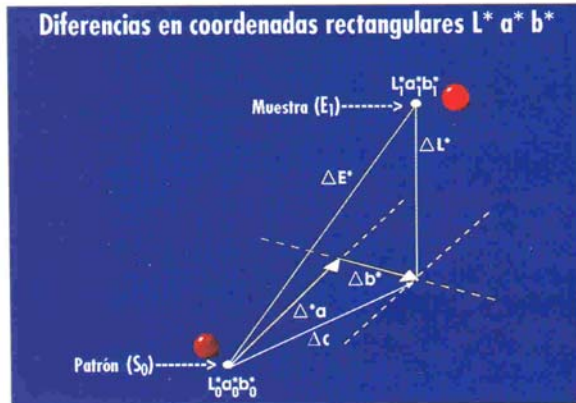
1. Δa^* positiu, més vermell.
2. Δa^* negatiu, més verd.
3. Δb^* positiu, més groc.
4. Δb^* negatiu, més blau.

Els valors Δa^* i Δb^* es poden completar amb una informació més global: la diferència de cromaticitat (Δc), que representa en la diferència de color total (ΔE^*) la variació cromàtica, és a dir, la variació que no és deguda a la claredat (ΔL^*). ¹⁰¹ (Fig. 67)

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta C^*)^2]^{1/2}$$

$$\Delta C^* = [(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

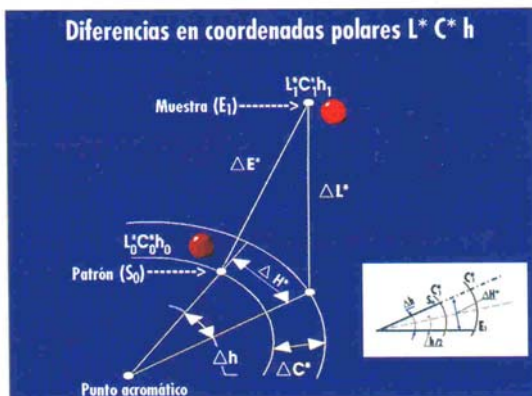


Diferencias en coordenadas rectangulares $L^* a^* b^*$ en el espacio CIELAB

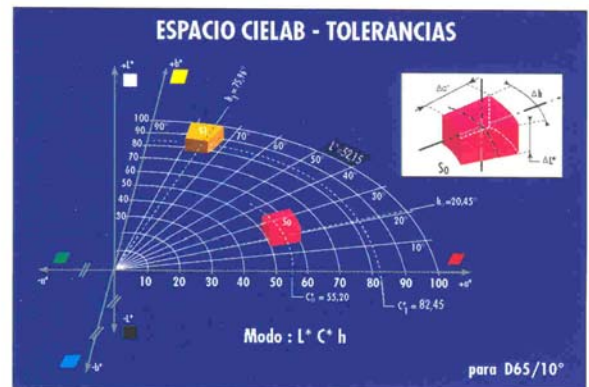
Fig. 67¹⁰²: Diferències en coordenades rectangulares Lab

En la pràctica, l'expressió de les diferències de color (L^* , a^* , b^*) és utilitzada sovint pels coloristes, que associen a les quatre direccions, vermell, verd, groc i blau, els colorants que constitueixen la fórmula que s'ha de corregir. Les diferències expressades d'aquesta manera permeten preveure el sentit de la correcció. (Fig. 68)

La utilització de **coordenades cilíndriques (L^* , C^* , h)** en l'espai CIELab permet expressar el color i les **diferències de color** tal com les constatem visualment i permet separar la diferència de to (Δh), la diferència de claredat (ΔL^*) i la diferència de saturació (ΔC^*) en la diferència total de color (ΔE^*).¹⁰³ (Fig. 69)



Diferencias en coordenadas cilíndricas $L^* C^* h$ en el espacio CIELAB



Tolerancias en coordenadas cilíndricas $L^* C^* h$ en el espacio CIELAB

Fig. 68¹⁰⁴: Diferències en coordenades LCh

Fig. 69¹⁰⁵: Toleràncies en coordenades LCh

La diferència total de color es descompon segons les seves components principals en: (Fig. 70)

- Diferència de claredat (ΔL^*), de valor i d'interpretació idèntiques a les de l'expressió en L^* , a^* , b^* .
- Diferència de cromàcia (ΔC^*), que representa la diferència de les distàncies des de cada punt de color fins a l'eix de claredat.

$$\Delta C^* = C^*_1 - C^*_0$$

donde C^*_0 = saturación del patrón
y C^*_1 = saturación de la muestra

N.B : - si ΔC^* es positivo, la muestra está más saturada que el patrón,
- si ΔC^* es negativo, la muestra está menos saturada que el patrón.

Fig. 70 ¹⁰⁶: Diferència de cromàcia

- Diferència d'angle de to (Δh), que representa la diferència angular en graus ($^\circ$) entre les direccions dels vectors que designen els dos tons a comparar. Aquest valor, transformat en diferència de distància per ser homogeni respecte als altres termes de la diferència, es converteix en la diferència de to, ΔH^* , en integrar-se en la diferència total de color: (Fig. 71)

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{1/2}$$

Fig. 71 ¹⁰⁷: Diferència de to

Aquesta descomposició de la diferència total de color retorna l'expressió de les diferències de color a l'avaluació visual en la classificació natural dels colors. Aquest és, doncs, el mètode més emprat en la pràctica, ja que és el més senzill d'utilitzar.

Les necessitats industrials de control de qualitat i l'automatització de l'acceptació de la conformitat han afavorit l'aprofitament dels coneixements més recents de la neurofisiologia de la visió.

Molts estudis sobre un nombre molt gran d'estimacions visuals han permès entendre i avaluar la sensibilitat dels criteris psicosensores de la visió dels colors. Aquests estudis han donat lloc a la definició dels factors psicòmètrics (coeficients de ponderació) de cada un dels criteris de classificació que seran integrats en el càlcul de la diferència total de color (DE).

Les indústries en les quals s'utilitzen molt les fórmules de les diferències de color van arribar a la conclusió que les fórmules de diferències CIE Lab a vegades generen errors.

Al Regne Unit es va elaborar una modificació de les fórmules CIE Lab que ha estat estudiada posteriorment mitjançant un gran nombre d'avaluacions visuals. Aquesta nova fórmula es denomina **CMC(L:c)** (Colour Measurement Committee of the Society of Dyers and Colourists). (Fig. 72)

Bàsicament, la fórmula CMC(L:c) es basa en la fórmula CIE Lab expressada en L^* , C^* , H^* , però es ponderen les diferències de claredat, cromàcia i to mitjançant termes correctors lligats també a la claredat, la cromàcia i el to. ¹⁰⁸

$$DE_{CMC} = \left[\left(\frac{\Delta L^*}{1S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{cS_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{S_H} \right)^2 \right]^{1/2}$$

■ donde para S_L
 - si $L^* < 16 \rightarrow S_L = 0,511$
 - si $L^* \geq 16 \rightarrow S_L = \frac{0,040975L^*}{1+0,01765L^*}$

■ donde para S_C
 $\rightarrow S_C = \frac{0,0638C^*}{1+0,0131C^*} + 0,638$

■ donde para S_H
 $\rightarrow S_H = (FT + 1 - F) S_C$

Donde $F = \left[\frac{C^{*4}}{C^{*4} + 1900} \right]^{1/2}$

y $T = 0,36 + |0,4 \cos(35 + h)|$
 Salvo si $164^\circ < h < 345^\circ$
 o $T = 0,56 + |0,2 \cos(168 + h)|$

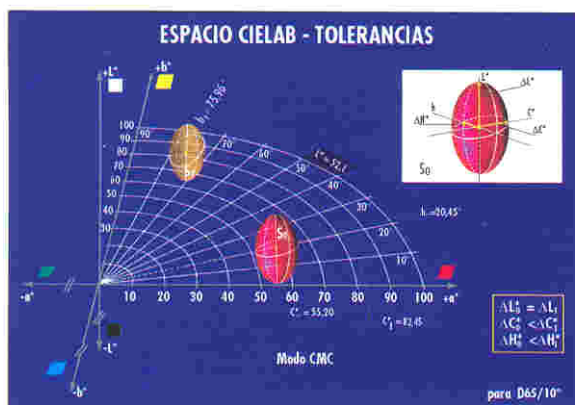
Nota: $|$ representa el valor absoluto

Fórmulas CMC

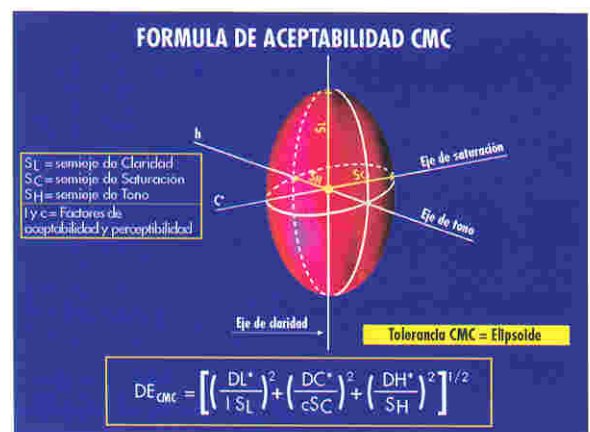
Fig. 72¹⁰⁹: Diferència de color CMC

Els termes correctors (S_L , S_C , S_H) han estat avaluats empíricament i s'expressen amb fórmules que permeten un càlcul previ. A més, dos factors suplementaris, l i c , poden modular els resultats segons l'acceptabilitat d'una diferència de color. (Fig. 73) (Fig. 74)

S'han fet diversos estudis comparatius entre les diferents fórmules per al càlcul de les diferències de color, entre ells el del Grup de Treball GT Color, que pertany a la Subcomissió de Solideses del CTN-40 i la seu del qual és a l'INTEXTER de Terrassa. En aquest estudi, publicat a la *Revista de Química Textil* (núm. 122, abril-juny 1995), es confirmava que el comportament de la fórmula CMC(2:1) és millor que el de la CMC(1:1) i que el de la CIELab.



Toleràncies de acceptabilitat en CMC en el espai CIELAB



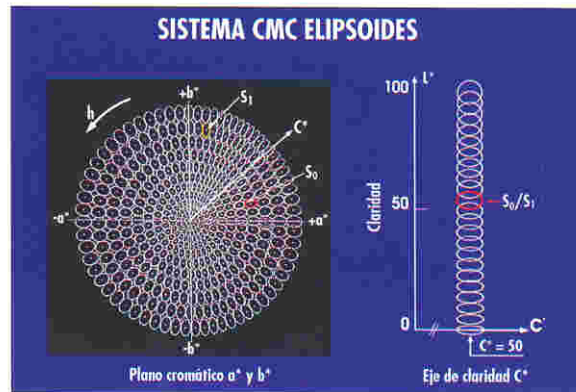
Principio del sistemas de aceptación CMC

Fig. 73¹¹⁰: Toleràncies CIELab

Fig.74¹¹¹: Acceptabilitat CMC

Els paràmetres k_i i c_i , ajustats per l'usuari, poden ser iguals a 1, i de fet és el cas més freqüent a l'hora d'avaluar la perceptibilitat de les diferències de color.¹¹²

Per estudiar els efectes d'aquests termes correctors es representen en el pla a^*b^* , per a una claredat constant, el·lipses que han estat calculades per indicar el lloc de les diferències visuals considerades de la mateixa importància. S'han representat també sobre l'eix L^* les el·lipses d'acceptabilitat de cromàcia constant ($C^*=50$), però de claredat variable de 0 a 100. S'observa que aquests càlculs no proporcionen un sistema de representació uniforme i no són un espai de color, sinó que permeten calcular diferències de color i d'acceptabilitat mitjançant un enfocament empíric i automàtic, amb independència del punt de color en l'espai de color CIELab. (Fig. 75)



Sistema CMC - Elipsoides de aceptabilidad con distribución en el plano cromático y el eje de claridad

Fig. 75¹¹³: Sistema CMC d'acceptabilitat

Un cop posades en pràctica les fórmules per a les mesures de les diferències de color, s'han constatat discordances significatives entre la diferència de color avaluada colorimètricament i la percepció visual d'aquesta diferència.

Hem de recordar que l'objectiu del sistema recomanat per a l'avaluació colorimètrica de la diferència de color és proporcionar un model de càlcul que concordi amb la percepció visual de les diferències indicades per un observador patró i de les condicions d'observació i il·luminació representatives de les aplicacions industrials (condicions de referència).

Dins d'aquest context de perfeccionament de les fórmules d'acceptabilitat i de diferència de color, la CIE va recomanar el 1994 una extensió de l'espai de color CIE 1976 (CIELab) i de la fórmula de diferència de color per a l'avaluació de les diferències de color industrials, amb factors de correcció de les diferències de claredat, saturació o cromàcia i to en la diferència total de color. (Fig. 76) (Fig. 77)

Aquesta fórmula modificada es denomina *fórmula CIE 94*.¹¹⁴

$$\Delta E^*_{94} = \left[\left(\frac{\Delta L^*}{k_L \cdot S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{k_C \cdot S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{k_H \cdot S_H} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Fig. 76¹¹⁵: Diferència de color CIELab 94

Els factors S_L , S_C , S_H representen respectivament els factors de ponderació de les diferències de claredat, cromàcia i to.

$$S_L = 1 \quad S_C = 1 + 0,045 C^* \quad S_H = 1 + 0,0015 C^*$$

Fig. 77¹¹⁶: Factors correctors

Els factors S_L , S_C , S_H són factors correctors que depenen de les condicions d'observació de les mostres, i normalment són iguals a 1 per a les condicions de referència. Generalment, en la indústria tèxtil s'utilitzen els factors $k_L = 2$ i $k_C = k_H = 1$.

Quan els factors que s'utilitzen són diferents a 1 cal indicar-ho en l'abreviatura de $\Delta E^*_{94}(k_L, k_C, k_H)$.

Després del desenvolupament de la fórmula CIE94, hi havia dues equacions diferents per a la diferència de color, la CMC($l:c$) i la CIE94. Aquestes dues fórmules s'havien calculat a partir de dos conjunts de dades experimentals diferents (el de Luo-Rigg i el de RIT-DuPont). (Fig. 78) (Fig. 79)

Si la fórmula de la diferència de color coincidís completament amb els resultats experimentals, la seva representació serien cercles de radi constant. En el cas de CMC($l:c$), i més en el cas de CIE, s'obtenen gràfics d'el·lipses experimentals. Això indica una coincidència baixa de les fórmules amb els resultats experimentals.

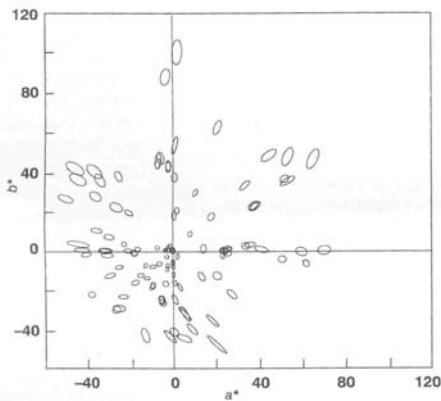


Figure 3 Luo and Rigg (BFD) experimental colour discrimination ellipses plotted in a^*b^* diagram

Fig. 78 ¹¹⁷: Discriminació color Luo i Rigg

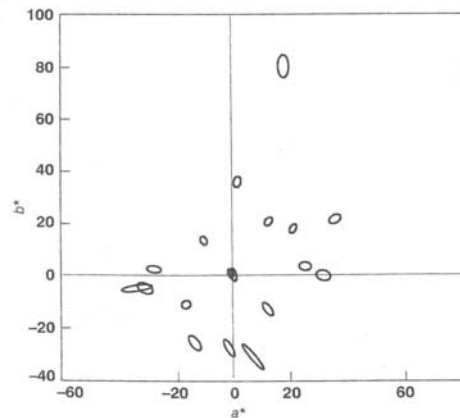


Figure 4 RIT-DuPont colour discrimination ellipses plotted in a^*b^* diagram

Fig. 79 ¹¹⁸: Discriminació color RIT-DuPont

En realitat, les el·lipses són molt petites per als colors neutres i s'incrementen a mesura que augmenta el valor de la cromàcia, i les diferències més grans són per als colors de la regió dels blaus.

Fent més comparacions, el resultat a què s'arriba és que ambdues fórmules, CMC($l:c$) i CIE, presenten discrepàncies en la predicció de la claredat i en la predicció de les diferències de color de les regions del gris i del blau, principalment.

A causa d'aquests resultats es va constituir un comitè tècnic de la CIE per trobar una nova fórmula que fos més bona. El resultat del seu treball és la fórmula per a les diferències de color **CIEDE2000**. (Fig. 80)

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C} \frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)}$$

where $S_L = 1 + \frac{0.015(\bar{L}' - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}' - 50)^2}}$

and $S_C = 1 + 0.045\bar{C}'$

and $S_H = 1 + 0.015\bar{C}'T$

where $T = 1 - 0.17 \cos(\bar{h}' - 30^\circ) + 0.24 \cos(2\bar{h}') + 0.32 \cos(3\bar{h}' + 6^\circ) - 0.20 \cos(4\bar{h}' - 63^\circ)$

and $R_T = -\sin(2\Delta\theta)R_C$

where $\Delta\theta = 30 \exp\left\{-\left[\frac{(\bar{h}' - 275^\circ)}{25}\right]^2\right\}$

and $R_C = 2\sqrt{\frac{\bar{C}'^7}{\bar{C}'^7 + 25^7}}$

and $L' = L^*$

$\alpha' = (1 + G)\alpha^*$

$b' = b^*$

$C' = \sqrt{\alpha'^2 + b'^2}$

$h' = \tan^{-1}(b'/\alpha')$

where $G = 0.5 \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^{*7}}{\bar{C}^{*7} + 25^7}}\right)$

Fig. 80 ¹¹⁹: Diferències de color CIEDE2000

Aquesta fórmula es va deduir de la combinació de les dues bases o conjunt de dades (Luo-Rigg i RIT-DuPont).

La fórmula CIEDE2000 és més complexa que les altres fórmules, però aquesta complexitat més gran està justificada per la millora dels resultats obtinguts (coincidència amb les valoracions experimentals) i la significativa millora estadística (la fórmula deriva de bases experimentals més amples i més representatives). (Fig. 81)

En general, la coincidència entre les el·lipses experimentals i les calculades per la fórmula és molt bona, especialment en la zona dels blaus.

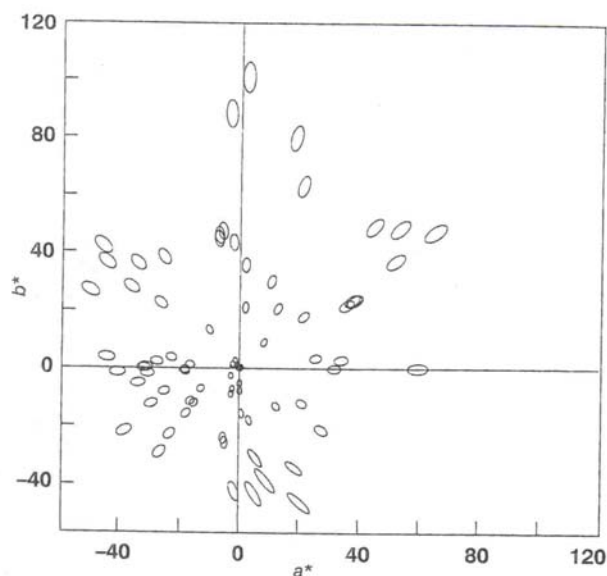


Figure 5 CIEDE2000 predicted ellipses corresponding to the colour centres of the BFD and RIT-DuPont experimental ellipses

Fig. 81 ¹²⁰: El·lipses fórmula CIEDE2000

Actualment es continuen investigant millores d'un espai de color totalment uniforme i se segueix buscant una fórmula de les diferències de color d'acceptabilitat senzilla i representativa de la percepció visual. Per tant, s'estan desenvolupant i proposant contínuament noves fórmules i nous espais de color.

Algunes de les propostes d'estudi són, per exemple: ¹²¹

- Totes les fórmules per a la diferència de color es deriven de les fórmules CIELab. Seria interessant poder tenir una fórmula que es basés en un nou espai uniforme de percepció del color derivat d'una nova teoria de la visió del color.
- Totes les fórmules proposades fins ara es basen en dades obtingudes sota les condicions experimentals d'observació definides per la CIE. Seria interessant integrar-hi paràmetres com ara la mida de les mostres, la separació entre les mostres, diferents fons d'observació, nivells il·luminació variables, etcètera.
- Les fórmules actuals prediuen les diferències de color entre mostres simples de color. Cada cop són més importants les diferències de color entre icones o imatges més complexes. S'hi han d'incloure, per exemple, factors d'avaluació de les variacions espacials d'imatges.

Totes les qüestions exposades anteriorment i moltes més asseguruen la continuïtat de la investigació en el camp de la colorimetria i de les seves aplicacions.

3.4. La psicologia del color



Fig. 82 ¹²²

El color final d'un producte de venda és el resultat d'un procés complex. Un cop s'ha decidit el color, la majoria dels problemes associats a aconseguir-lo (definició i control del color, colorants i/o pigments, etc.) es poden solucionar tècnicament i industrialment a un preu raonable. Per contra, en el procés de decisió del color o colors a aplicar a l'article, actualment només s'utilitzen els principis generals, la intuïció del dissenyador i la moda.

Els consumidors són extremadament sensibles al color quan compren. Per tant, actualment és necessària una millora en la investigació dels treballs sobre les preferències dels consumidors i la definició del color i la seva comunicació.

Les empreses utilitzen aquests factors per treure'n benefici en el disseny de productes, la publicitat, la imatge de la companyia, l'uniforme dels seus empleats, etcètera.

En la indústria tèxtil i de la moda, aconseguir el color correcte és un factor crític. Si no s'aconsegueix, les empreses perden quota de mercat i beneficis. Per aquestes raons s'han iniciat línies d'investigació centrades en les preferències dels consumidors segons les seves característiques (edat, sexe, país, etcètera).

Un exemple d'estudi de les percepcions del color dels consumidors és el de W. D. Wells i D. Prensky: ¹²³

COLOR	PERCEPCIÓ	EXEMPLES DE MÀRQUETING
Vermell	Poder, perill, excitació, apassionat	Extintors d'incendis Coca-Cola
Verd	Fresc, calma, natural	Gel d'afaitar Gillette "pell sensible" Productes d'alimentació Healthy Choice
Blau	Fresc, fred, trist	Laxant i antiàcid Phillips' Milk Tònic <i>aftershave</i> Brut Aqua
Negre	Fred, prestigi, sofisticat	Estilogràfiques Mont Blanc Whisky Johnnie Walker Black Label
Colors clars	Net, puresa	Rentaplats a mà Palmolive Sensitive Skin Begudes amb gas

En l'espectre de la llum els colors amb longituds d'ona llargues (vermells, taronges, grocs) tendeixen a provocar sensacions de calor en els consumidors. Un exemple d'aplicació són els seients vermells dels restaurants de menjar ràpid. Aquests establiments volen que els clients mengin ràpid i se'n vagin. En canvi, els colors amb longituds d'ona curtes (blaus, verds) s'associen a la frescor i induïxen moviments tranquils i lents. Els seients en un restaurant car probablement seran blaus o verds.

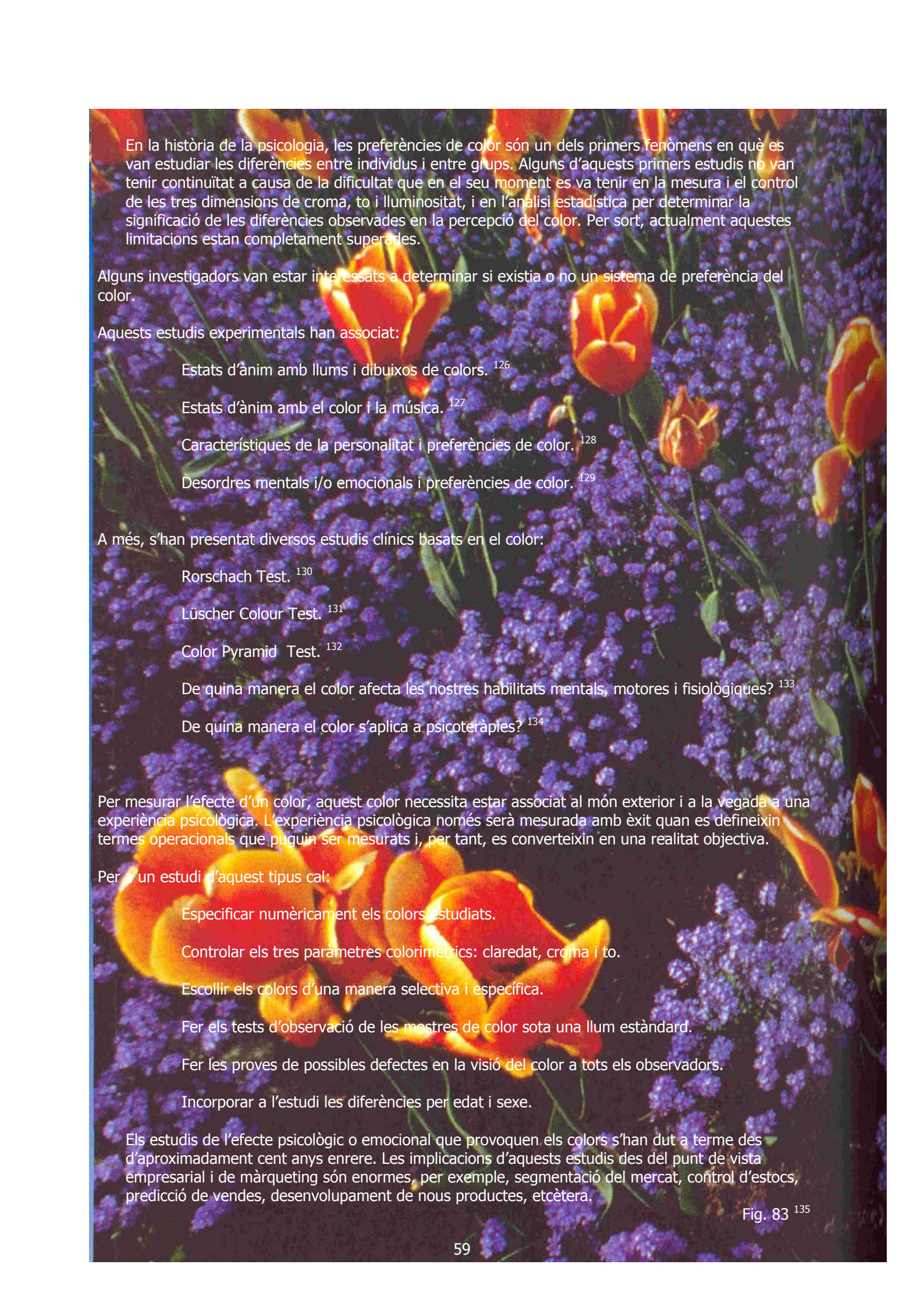
Els colors tenen connotacions diferents segons la cultura. Al sud-est asiàtic, el color blau clar simbolitza la mort i el dol. Pepsi-Cola va perdre la posició dominant davant de Coca-Cola quan van substituir les màquines expenedores de color blau fosc a blau clar.

Altres exemples de connotacions culturals del color són: ¹²⁴

COLOR		CONNOTACIÓ
Blanc	<i>Extrem Orient</i>	Mort i dol
	<i>EUA</i>	Felicitat i puresa
	<i>GB</i>	Mort (lliris blancs)
Porpra	<i>Països llatinoamericans</i>	Mort
Blau	<i>Holanda</i>	Feminitat
	<i>Suècia</i>	Masculinitat
	<i>EUA</i>	Masculinitat
Verd	<i>Malàisia</i>	Indica zones de la jungla amb perill de malària
Vermell	<i>Alemanya, Txad, Nigèria</i>	Mala sort, connotacions negatives
	<i>Dinamarca, Romania, Argentina</i>	Connotacions positives
	<i>Xina</i>	Vestuari femení
	<i>Gran Bretanya, França</i>	Vestuari masculí
Groc	<i>Mèxic</i>	Mort (flors grogues)
	<i>França</i>	Infidelitat (flors grogues)

Els colors també tenen un efecte psicològic en l'estat de l'individu. Com a exemple, l'estudi d'E. McKenna: ¹²⁵

COLOR	EFFECTE PSICOLÒGIC	EFFECTE TEMPERATURA	EFFECTE DISTÀNCIA
Violeta	Agressió, cansament	Fred	Molt a prop
Blau	Descans	Fred	Llunyà
Marró	Excitant	Neutral	Claustrofòbic
Verd	Molt tranquil	Fred/neutral	Llunyà
Groc	Excitant	Molt calent	A prop
Taronja	Excitant	Molt calent	Molt a prop
Vermell	Molt estimulant	Calent	A prop



En la història de la psicologia, les preferències de color són un dels primers fenòmens en què es van estudiar les diferències entre individus i entre grups. Alguns d'aquests primers estudis no van tenir continuïtat a causa de la dificultat que en el seu moment es va tenir en la mesura i el control de les tres dimensions de cromà, to i lluminositat, i en l'anàlisi estadística per determinar la significació de les diferències observades en la percepció del color. Per sort, actualment aquestes limitacions estan completament superades.

Alguns investigadors van estar interessats a determinar si existia o no un sistema de preferència del color.

Aquests estudis experimentals han associat:

Estats d'ànim amb llums i dibuixos de colors. ¹²⁶

Estats d'ànim amb el color i la música. ¹²⁷

Característiques de la personalitat i preferències de color. ¹²⁸

Desordres mentals i/o emocionals i preferències de color. ¹²⁹

A més, s'han presentat diversos estudis clínics basats en el color:

Rorschach Test. ¹³⁰

Lüscher Colour Test. ¹³¹

Color Pyramid Test. ¹³²

De quina manera el color afecta les nostres habilitats mentals, motores i fisiològiques? ¹³³

De quina manera el color s'aplica a psicoteràpies? ¹³⁴

Per mesurar l'efecte d'un color, aquest color necessita estar associat al món exterior i a la vegada a una experiència psicològica. L'experiència psicològica només serà mesurada amb èxit quan es defineixin termes operacionals que puguin ser mesurats i, per tant, es converteixin en una realitat objectiva.

Per a un estudi d'aquest tipus cal:

Especificar numèricament els colors estudiats.

Controlar els tres paràmetres colorimètrics: claredat, cromà i to.

Escollir els colors d'una manera selectiva i específica.

Fer els tests d'observació de les mostres de color sota una llum estàndard.

Fer les proves de possibles defectes en la visió del color a tots els observadors.

Incorporar a l'estudi les diferències per edat i sexe.

Els estudis de l'efecte psicològic o emocional que provoquen els colors s'han dut a terme des d'aproximadament cent anys enrere. Les implicacions d'aquests estudis des del punt de vista empresarial i de màrqueting són enormes, per exemple, segmentació del mercat, control d'estocs, predicció de vendes, desenvolupament de nous productes, etcètera.

Fig. 83 ¹³⁵

3.4.1. Aplicacions industrials

Existeixen molts camps industrials en els quals estudis d'aquest tipus tenen molta importància: publicitat, disseny de producte, disseny de punts de venda, entorn de treball, etc. Per exemple, un estudi sobre l'efecte del color en la publicitat en diaris va demostrar que afegir un sol color al blanc i negre augmentava les vendes un 41 %. (Fig. 84)

Principalment el color s'utilitza per remarcar alguna característica del producte o per crear una atmosfera adequada. Per exemple, al principi el color vermell de la Coca-Cola servia per distingir ràpidament el producte, però aquest avantatge va acabar quan altres empreses van aplicar el color característic als seus productes. (Fig. 85)

El color també s'ha de tenir en compte en la decoració dels llocs de treball i dels comerços on es tracta amb públic. En aquest últim cas, sembla ser que alguns estudis mostren que els colors considerats calents, com el groc i el vermell, provoquen respostes més positives de compra en els clients, comparats amb colors considerats freds, com el blau i el verd.

En general, tots els treballs d'investigació fets en aquest camp indiquen que elegir el color correcte és un moment crític per a l'èxit dels productes d'una empresa.

3.4.2. Definició de color

El color es pot definir amb un gran interval de nivells de precisió. A més precisió, més colors es poden definir, i amb menys ambigüitat.

K. L. Kelly va definir sis nivells de precisió: ¹³⁶

NIVELL	DIVISIONS EN EL SÒLID DE COLORS	TIPUS DE DESIGNACIÓ	EXEMPLE DE DESIGNACIÓ
1	13	Noms genèrics de tonalitats i colors neutres	Marró
2	29	Tots els noms dels diferents tons i els colors neutres	Marró groguenc
3	267	Tots els noms de tonalitats i colors neutres amb modificadors (ISCC/NBS)	Marró groguenc clar
4	7.056	Sistemes d'ordenació del color	Munsell 10YR 6/4
5	100.000	Notació de Munsell interpolada visualment	9,5 YR 6,4/4,5
6	5.000.000	Coordenades CIE (x, y, Y) o notació de Munsell interpolada instrumentalment	x=0,395 y=0,382 Y=35,6 O bé, 9,6 YR 6,45/4,3

Les indústries tèxtils, de plàstics, de pintures i de manufactura de vehicles utilitzen el nivell 6, és a dir, especificacions colorimètriques basades en el sistema espectrofotomètric CIE. La necessitat d'una gran precisió en la definició del color és perquè la igualació de color entre productes i entre partides d'un mateix producte s'ha d'obtenir amb el mínim de diferència apreciable pel consumidor (ull humà), ja que ha de fer la impressió d'una gran uniformitat en el color.



Fig. 84 ¹³⁷: Exemples d'aplicació del color a la roba



Fig. 85 ¹³⁸: Exemple d'aplicació del color a la roba i als complements



BATMAN BARCELON

◀ EL CABALLERO DEL DRAGÓN ▶

4. ESTUDI ESTADÍSTIC DE LES DADES OBTINGUES A ESPANYA

Fig. 86 ¹³⁹

4.1. Definició de les condicions experimentals

El test dut a terme és **psicofísic**.

4.1.1. Observadors

Total d'observadors que responen el qüestionari: 54

D'aquests:

Homes: 23

Dones: 31

Edat entre 20 i 24 anys: 32

Edat de més de 25 anys:

Edat entre 25 i 30 anys: 10

Edat entre 30 i 55 anys: 12

Tots els observadors han passat l'Ishihara Colour Blindness Test per assegurar que la seva visió del color és la normal o l'estàndard.

4.1.2. Idioma emprat en el qüestionari

Castellà.

4.1.3. Mostres valorades

Mostres de teixit de polièster 100 %.

Mida de les mostres: 1,0 cm x 1,5 cm.

Nombre de mostres: 218.

Els colors amb què s'han tenyit les mostres s'especifiquen segons els paràmetres colorimètrics CIE i segons el sistema Munsell (que consta com a referència de la mostra).

Els colors de les mostres cobreixen pràcticament totes les zones de l'espai de color CIELab.

4.1.4. Condicions experimentals d'observació

La valoració de les mostres es fa en una cabina d'observació estàndard de fons gris neutre (norma ASTM, Standard for Visual Evaluation of Colour Differences of Opaque Material, D 1729-82), sota un il·luminant D65 (norma BS 950: Part I, 1967) amb il·luminació central (aproximadament 0°).

Durant la valoració s'utilitza una màscara del mateix color gris neutre que la cabina, de cobertura de l'espai al voltant de la mostra, per evitar la influència dels colors de l'entorn.

L'observació es fa en un angle d'aproximadament 45° respecte a la normal, és a dir, amb una geometria d'observació 0°/45°.

4.1.5. Confecció i valoració del qüestionari

En aquesta tesi s'investiguen 14 emocions associades al color.

Les paraules que descriuen aquestes emocions associades al color s'agrupen en parells oposats.

Les emocions associades al color estudiades són (Taula 1):

Caliente	Frío
Claro	Oscuro
Intenso	Pálido
Vivo	Apagado
Chillón	Serio
Pasivo	Dinámico
Suave	Duro

Taula 1: Emocions associades al color estudiades

Tots els observadors han d'emplenar un qüestionari durant l'observació i valoració de les mostres en les condicions especificades.

Després de valorar una mostra, l'observador ha d'escollir quina de les dues paraules de cada parell d'oposats expressa l'emoció associada al color que ha observat.

Els colors s'han ordenat aleatòriament per reduir possibles comparacions entre una mostra i les anteriors. L'ordre de les mostres ha estat el mateix per a tots els observadors.

Les dades de les observacions fetes pels altres països han estat amablement cedides pel Sr. Tetsuya Sato del Kyoto Institute of Technology.

4.2. Tractament de les dades obtingudes en el qüestionari

En aquest estudi s'ha aplicat el mètode de la valoració en dos punts (+1 i -1).

En valorar un color determinat, per cada parell de paraules oposades, els valors assignats són (Taula 2):

+1	-1
Caliente	Frío
Claro	Oscuro
Vivo	Apagado
Chillón	Serio
Pasivo	Dinámico
Suave	Duro
Intenso	Pálido

Taula 2: Valors assignats per cada parell de paraules oposades

4.3. Obtenció de fórmules matemàtiques, representacions gràfiques i models colorimètrics per a les dades espanyoles

Les dades obtingudes permeten diferents tractaments matemàtics, estadístics i gràfics, cada un dels quals aporta una perspectiva i una informació diferent.

4.3.1. Histogrames

S'utilitzen histogrames per analitzar visualment la distribució dels resultats. S'estudia si els histogrames tenen o no una distribució normal. Són una eina útil quan es tenen moltes dades per analitzar. Els histogrames ajuden a confirmar tendències i són indicatius per a les anàlisis que s'han de fer posteriorment.

4.3.2. Gràfics de dispersió

Aquests gràfics indiquen la direcció o correlació, la força i la linearitat entre dues variables relacionades entre si. La relació entre variables pot ser lineal o curvilínia. En aquest cas s'ha de recórrer a expressions de regressió polinòmica.

4.3.3. Regressió polinòmica

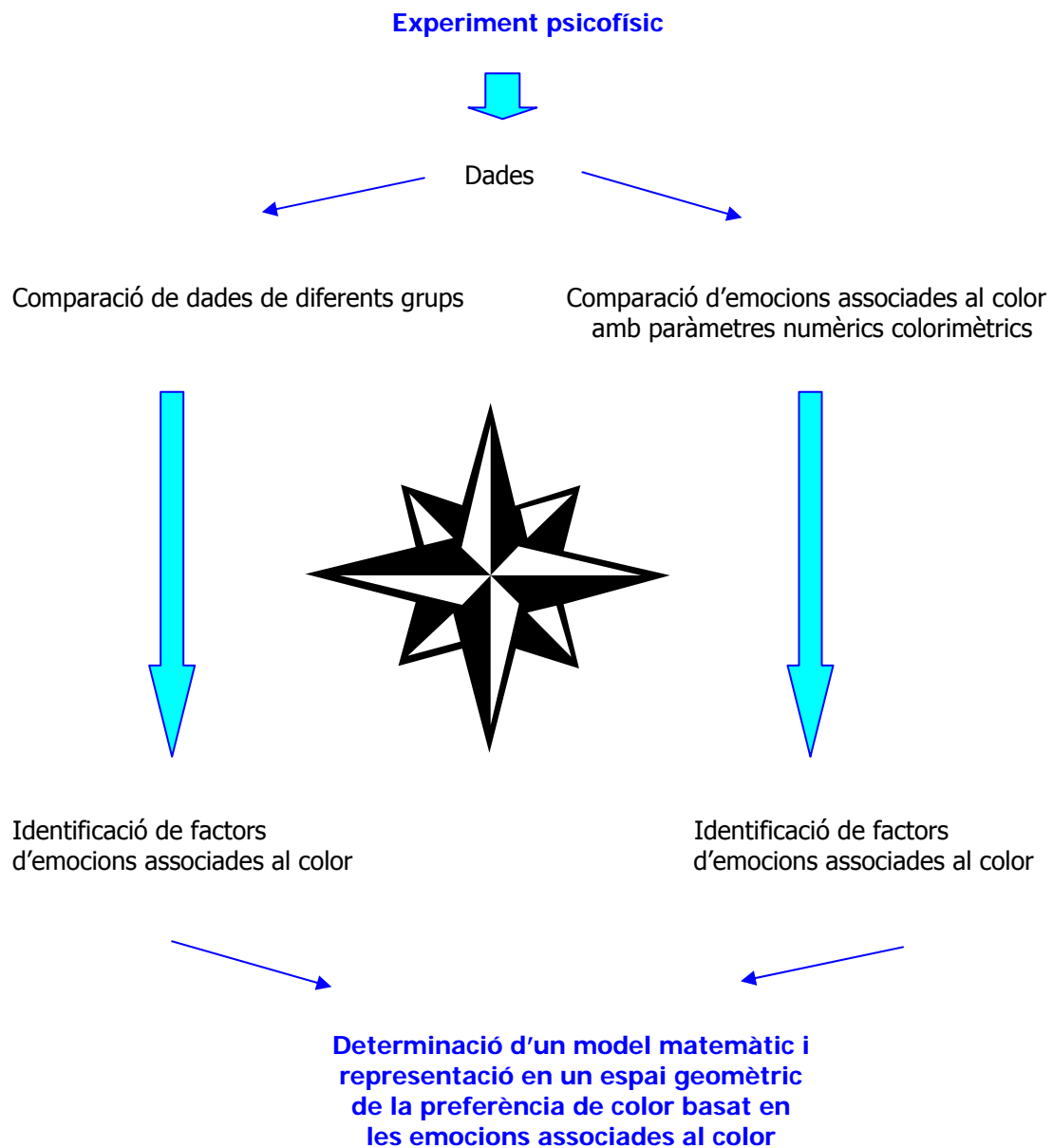
En aquest estudi es representen els gràfics i les equacions de regressió per a un mateix conjunt de dades.

4.3.4. Mètodes per quantificar les emocions associades al color

Algunes definicions:

- Escales visuals: una manera fàcil de deduir escales visuals per a la valoració de les emocions associades al color és expressar numèricament la relació entre valors numèrics colorimètrics i valoracions visuals. Per conèixer el programari que utilitza el nostre cervell en la percepció de les emocions associades al color s'han d'elaborar escales quantitatives. Les paraules, el llenguatge, és l'*output* de la percepció del color i la clau en aquest tipus de comunicació.
- Espai de color: espai on els colors estan sistemàticament ordenats en tres dimensions (per exemple, claredat, to i croma). Si l'espai de colors s'organitza per escales d'emocions associades al color, és un espai d'emocions associades al color.

L'esquema general de les seqüències o **etapes de treball d'aquest estudi** és el que s'exposa a continuació:



4.3.5. Mètode dels dos punts: quantificació de les emocions associades al color

A cada paraula que defineix una emoció associada al color se li assigna un valor +1 o -1.

Per calcular el percentatge de cada parell de paraules per a un color determinat, per exemple l'emoció de color "caliente-frío" (WC %), s'aplica la fórmula (Equació 1):

$$WC \% = \frac{x(+1) + y(-1)}{x + y},$$

Equació 1: Mètode dels dos punts

on x i y són el nombre d'observadors que han seleccionat "caliente" o "frío" per a un color determinat, i $x+y$ és el nombre total d'observadors.

Si tots els observadors seleccionessin "caliente", l'índex WC % seria del 100 %, i si seleccionessin "frío", l'índex WC % seria de -100 %.

Els parells de paraules oposades es simbolitzen de la manera següent (Taula 3):

Intenso	Pálido	DP (Deep-Pale)
Chillón	Serio	GP (Gaudy-Plain)
Claro	Oscuro	LD (light-dark)
Pasivo	Dinámico	PaDy (passive-dynamic)
Suave	Duro	SH (soft-hard)
Vivo	Apagado	VS (vivid-sombre)
Caliente	Frío	WC (warm-cold)

Taula 3: Parells de paraules oposades

4.3.6. Confecció de les taules de dades amb les quals es deduiran els gràfics i les relacions matemàtiques objecte de l'estudi

Aquestes taules inclouen les dades colorimètriques de les mostres valorades (L, a, b, C, h) i els percentatges finals que valoren la proporció de cada adjectiu assignat per les persones que han quantificat les mostres.

Un exemple d'aquestes taules de dades és el següent (Taula 4):

218COL SN\$	a*	b*	L*	C*	h	Spanish data			
						Light-dark %	Hard-soft %(R)	Warm-cool %	Dynamic-passive %
5R1	2,47321	4,21001	79,231	4,88272	59,5676	100	88,888889	7,4074074	3,7037037
5R2	11,7325	8,6305	79,6821	14,5649	36,3386	96,296296	88,888889	18,518519	3,7037037
5R3	3,01713	0,607157	71,6499	3,07761	11,3781	74,074074	55,555556	-55,555556	-77,777778
5R4	12,5495	7,86748	70,2599	14,8117	32,0843	85,185185	62,962963	37,037037	-59,259259
5R5	30,2339	17,0193	70,3717	34,6951	29,376	77,777778	77,777778	48,148148	66,666667
5R6	9,20169	4,23204	41,6264	10,1282	24,6987	74,074074	-22,222222	-3,7037037	-92,592593
5R7	23,45	15,6598	48,2978	28,1981	33,7348	-79,62963	-42,592593	64,814815	-9,2592593
5R8	45,6015	22,3458	55,8265	50,7822	26,1059	29,62963	0	74,074074	92,592593
5R9	11,9257	2,41359	22,7926	12,1675	11,4413	96,296296	-70,37037	7,4074074	-66,666667
5R10	25,6858	12,3666	33,7107	28,5077	25,7087	77,777778	-62,962963	62,962963	11,111111

Taula 4: Exemple de taula de dades

4.3.7. Exemple de la comparació de dos parells d'emocions associades al color feta pels mateixos observadors (espanyols)

En aquest cas es comparen els resultats de les valoracions obtingudes pels adjectius LD (clar-fosc) i PaDy (passiu-dinàmic) amb les mesures colorimètriques de lluminositat (L) de les mostres. (Fig. 87)

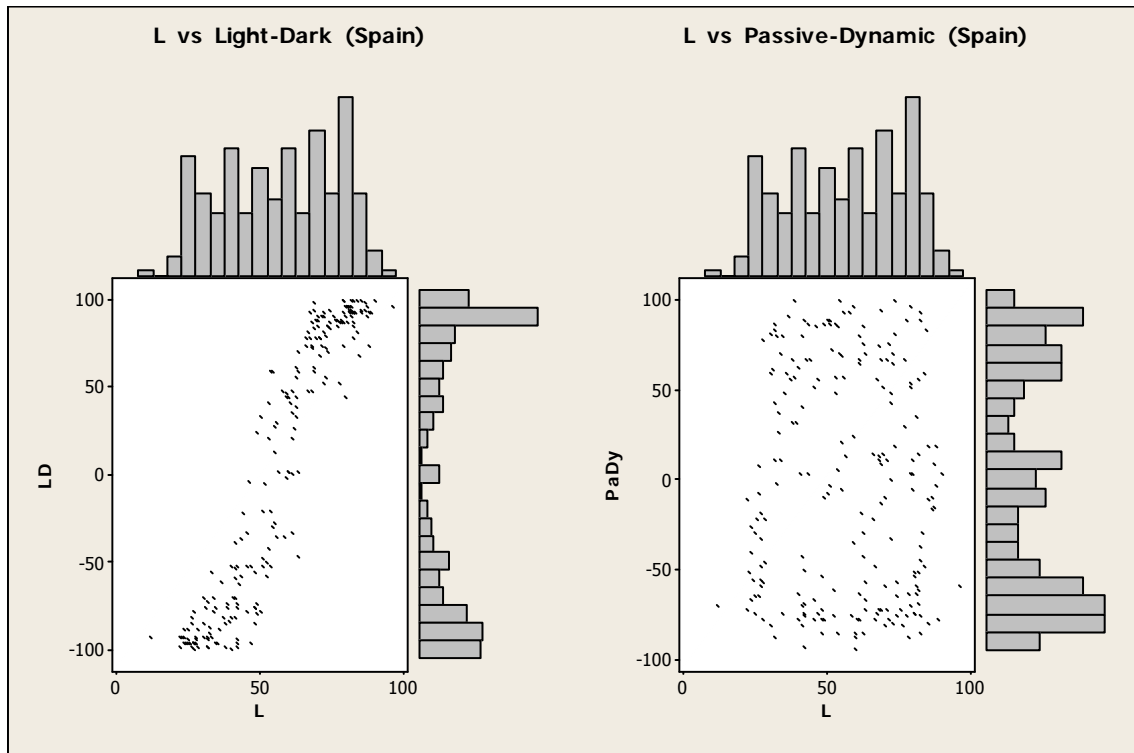


Fig. 87: Valoracions obtingudes pels adjectius LD (clar-fosc) i PaDy (passiu-dinàmic) respecte la lluminositat L

Els gràfics mostren clarament que l'associació clar-fosc al color està lligada al paràmetre colorimètric de la lluminositat (L). En canvi, l'aplicació dels adjectius passiu-dinàmic no té res a veure amb el paràmetre mesurable amb un colorímetre L.

Una vegada s'han comprovat les diferents dependències entre les qualificacions subjectives assignades a un color i els seus paràmetres físics mesurables i expressables numèricament, s'expressa aquesta relació mitjançant una equació matemàtica que en aquest cas és l'expressió de les rectes o corbes de regressió.

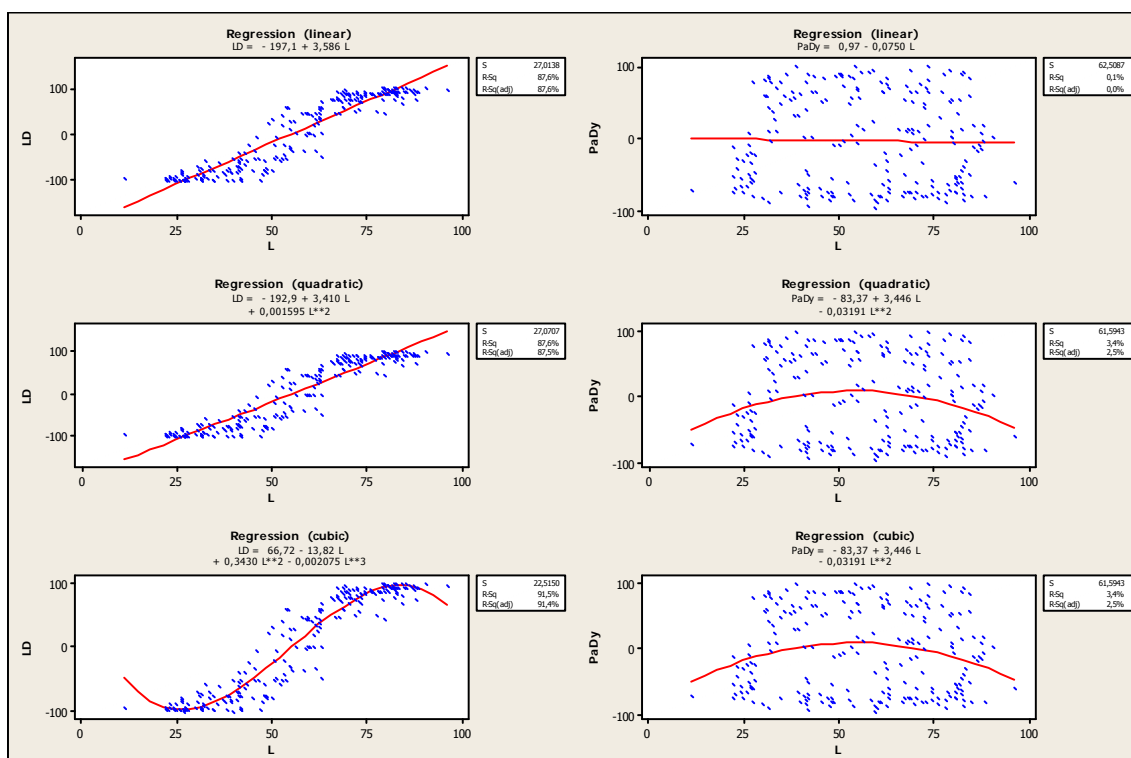


Fig. 88: Rectes o corbes de regressió LD/PaDy respecte L

Es confirma la dependència de LD (clar-fosc) amb el paràmetre L (luminositat) i es quantifica. En canvi, la percepció PaDy (passiu-dinàmic) no depèn de cap manera del paràmetre L .

Dels gràfics de regressió considerarem només les equacions de segon grau, suficients per a l'obtenció de bons resultats i no excessivament complexes, com per exemple les equacions cúbiques. (Fig. 88)

Si es comparen els resultats de les valoracions obtingudes pels adjectius LD (clar-fosc) i PaDy (passiu-dinàmic) amb les mesures colorimètriques de cromaticitat (C) de les mostres, s'obtenen les gràfiques de dispersió i els histogrammes següents:

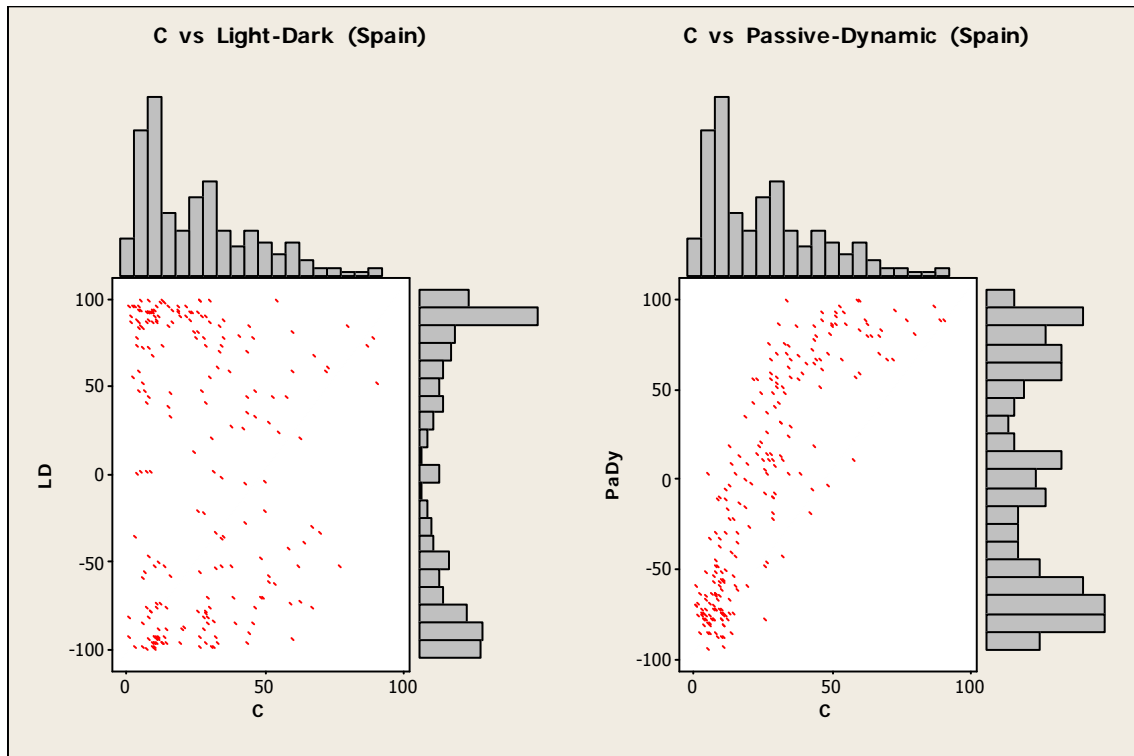


Fig. 89: Valoracions obtingudes pels adjectius LD (clar-fosc) i PaDy (passiu-dinàmic) respecte la cromaticitat (C)

En aquest cas, les valoracions de LD (clar-fosc) no tenen cap dependència matemàtica amb el paràmetre mesurable de la cromaticitat (C), en canvi sí que la tenen les valoracions de PaDy (passiu-dinàmic). (Fig. 89)

Mitjançant les gràfiques de regressió s'obtenen les fórmules matemàtiques i els coeficients d'aquesta dependència entre valoracions o apreciacions de sensacions dels colors i les seves mesures colorimètriques. (Fig. 90)

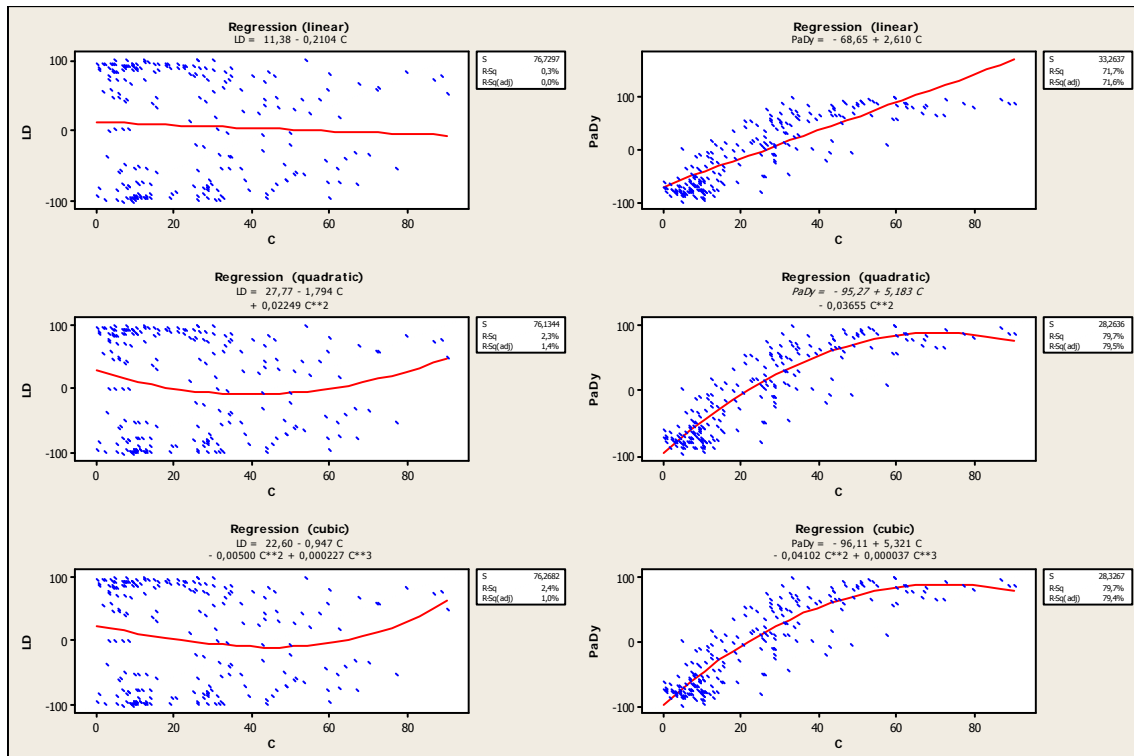


Fig. 90: Rectes o corbes de regressió LD/PaDy respecte C

Tal com veiem, es confirma numèricament la dependència o correlació matemàtica entre les valoracions de PaDy (passiu-dinàmic) i la cromaticitat (C).

S'ha procedit de la mateixa manera amb totes les valoracions fetes (LD, SH, WC, VS, PaDy, GP) i amb les coordenades cromàtiques de les mostres valorades (L, C, h, a, b).

4.3.8. Obtenció de fórmules matemàtiques, representacions gràfiques i models colorimètrics associats al model espanyol

Per comprovar el grau de significació matemàtica dels resultats obtinguts, s'han realitzat representacions estadístiques gràfiques d'aquests resultats. Bàsicament consisteixen en la distribució (incloent-hi l'histograma) de les dades experimentals respecte dels paràmetres colorimètrics mesurats i la representació de les equacions de regressió (lineal, quadràtica i cúbica).

Els gràfics obtinguts es mostren a continuació, amb un comentari d'interpretació.

Emoció associada al color **LD** (light-dark) (claro-oscuro)

Emoció associada exclusivament als valors de la coordenada de la lluminositat (L).

La dispersió dels valors en les altres coordenades colorimètriques és gairebé total. (Fig. 91)
(Fig. 92)

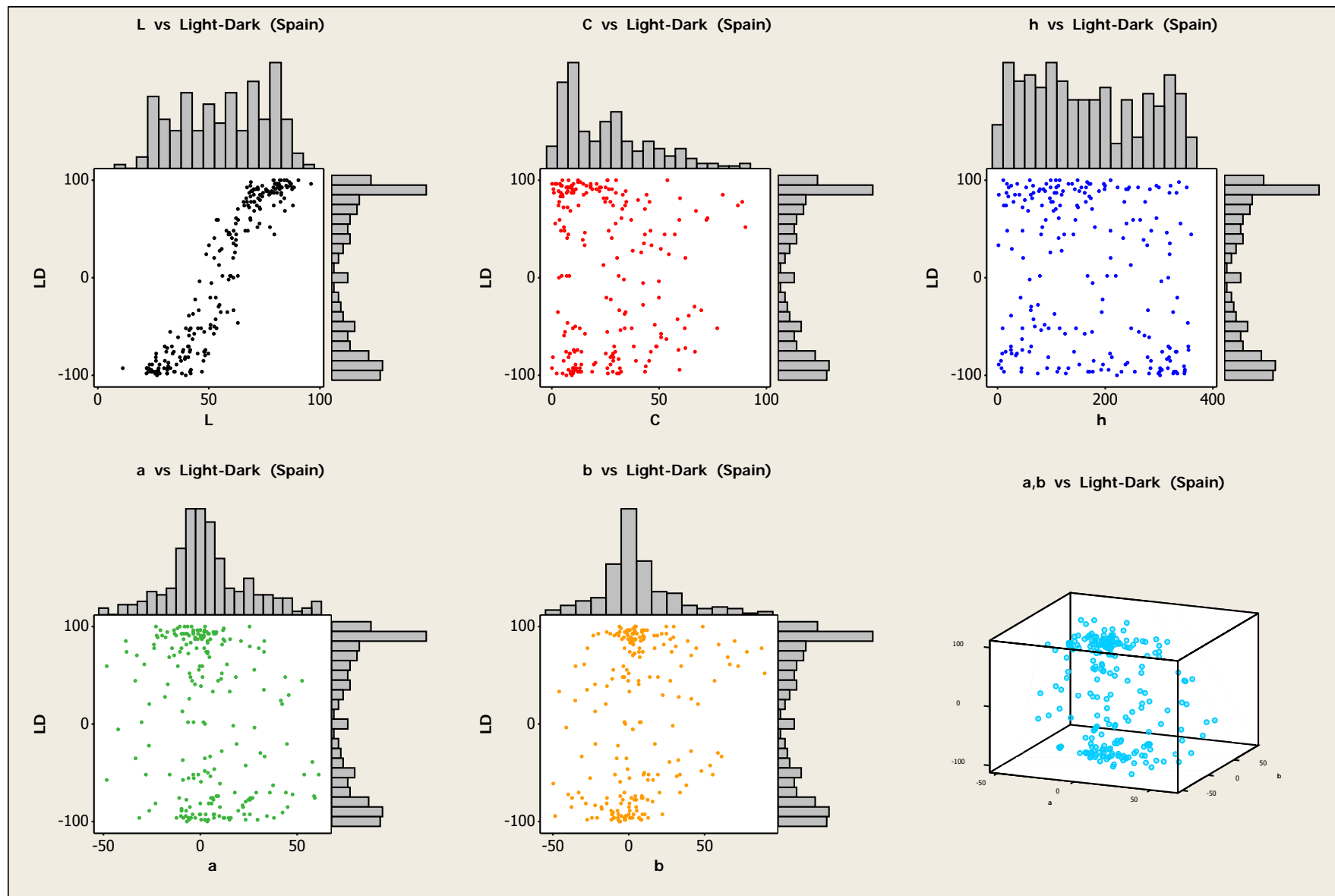


Fig. 91: Emoció associada al color LD/Espanya (histogrames i gràfics de dispersió)

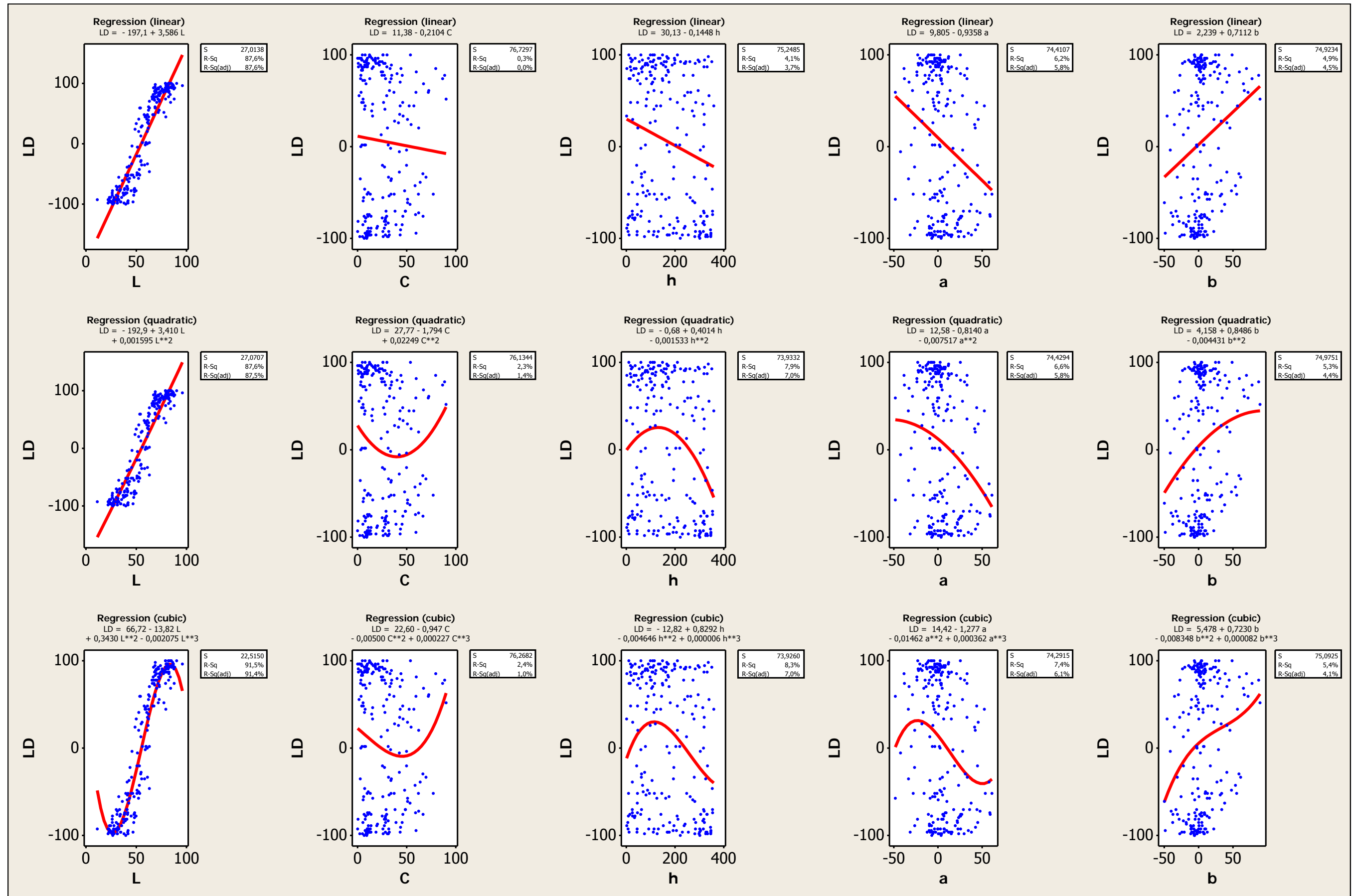


Fig. 92: Emoció associada al color LD/Espanya (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **SH** (soft-hard) (suave-duro)

Les valoracions de l'emoció associada a SH s'expressen quasi totalment en els valors de la coordenada de lluminositat L . (Fig. 93) (Fig. 94)

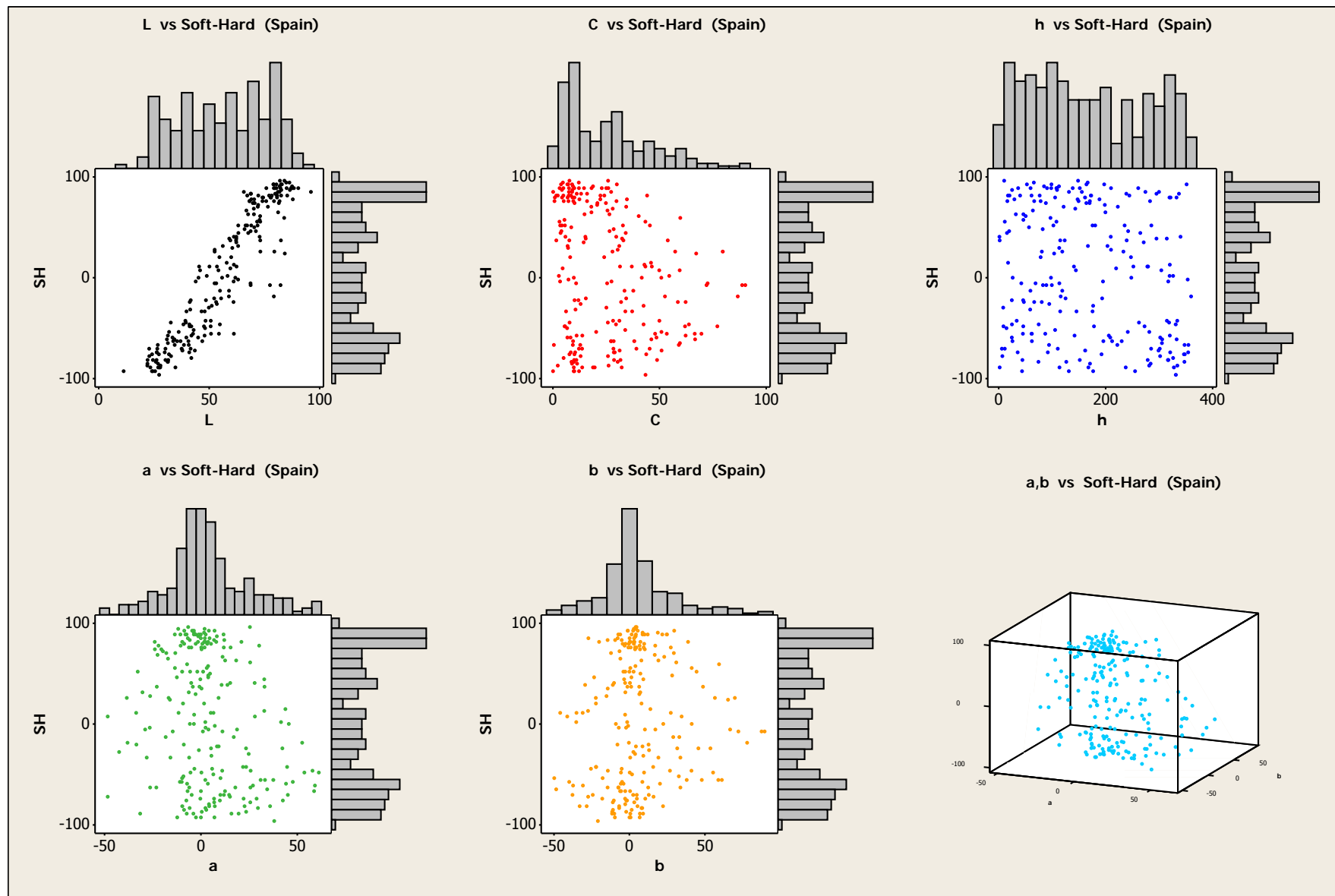


Fig. 93: Emoció associada al color SH/Espanya (histogrames i gràfics de dispersió)

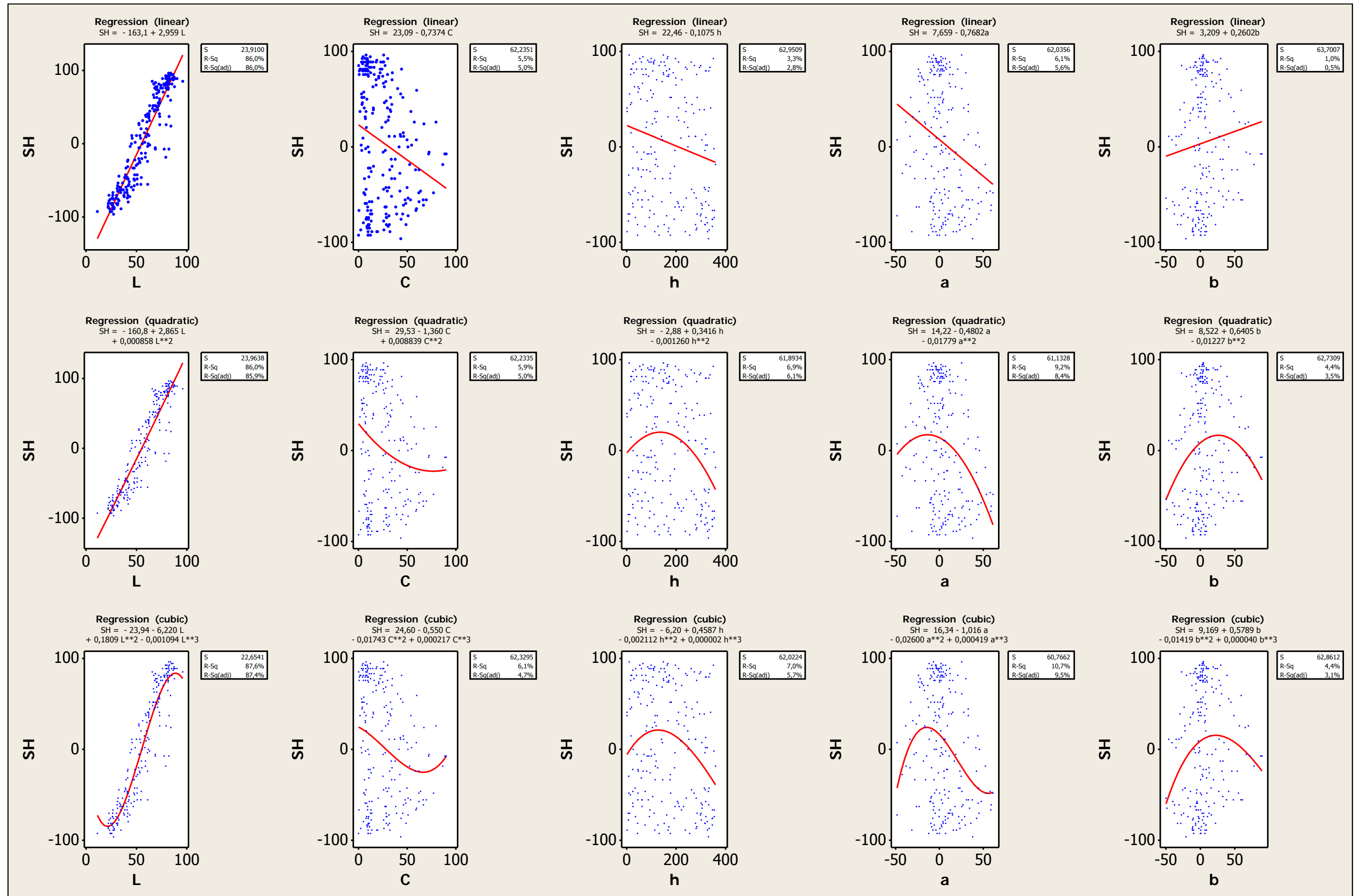


Fig. 94: Emoció associada al color SH/Espanya (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **WC** (warm-cold) (caliente-frío)

En aquest cas, les valoracions fetes pels observadors són una combinació dels valors de les coordenades cromàtiques C , h , a i b , és a dir, de la cromaticitat, del to i de les coordenades del color, en unes proporcions bastant similars. (Fig. 95) (Fig. 96)

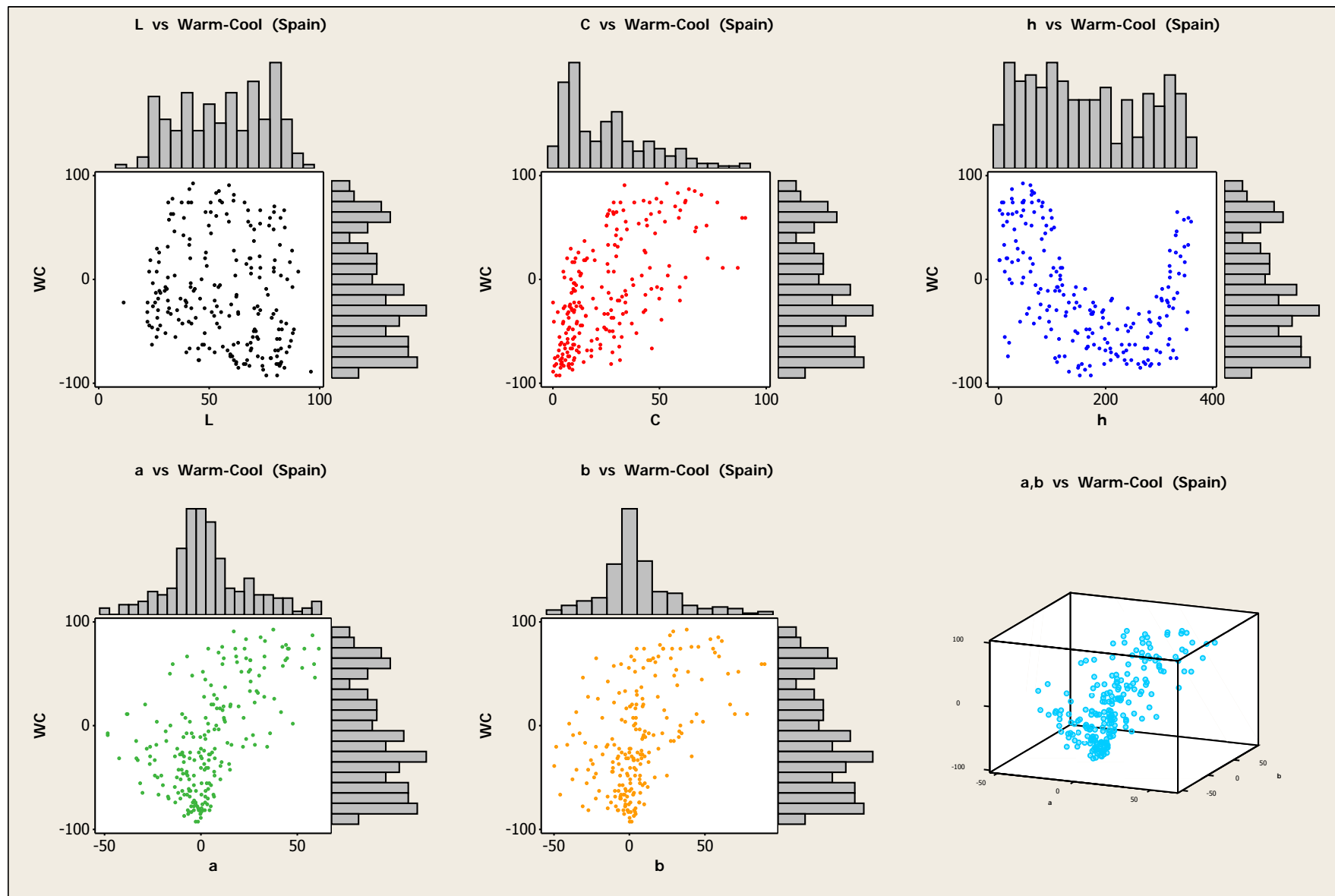


Fig. 95. Emoció associada al color WC/Espanya (histogrames i gràfics de dispersió)

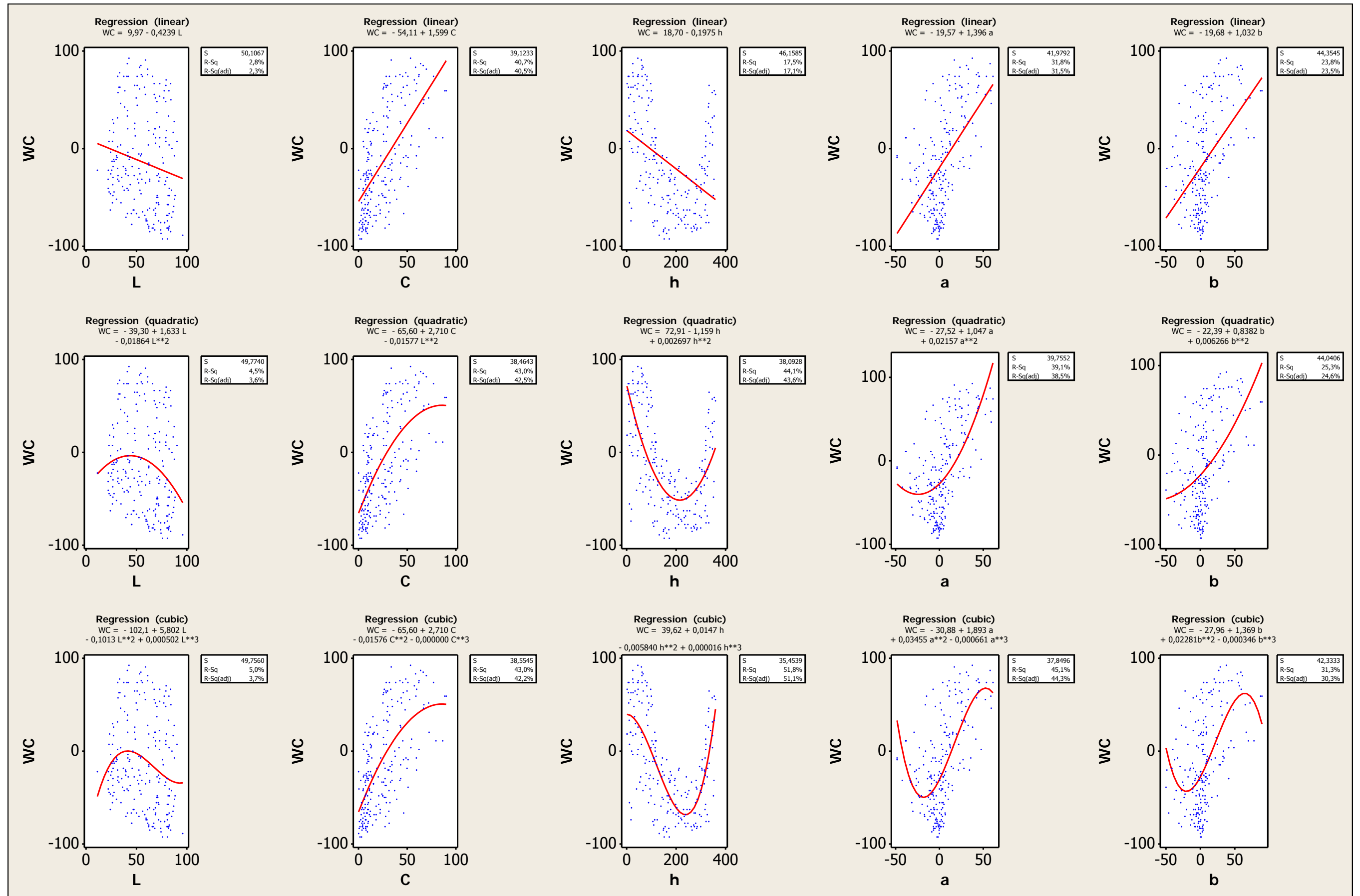


Fig. 96: Emoció associada al color WC/Espanya (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **DP** (deep-pale) (intenso-pálido)

En aquest cas, l'única dependència o relació entre la qualificació de les mostres i la seva definició matemàtica ve donada pel valor de la lluminositat (L).

Els valors de la cromaticitat (C) hi tenen una petita influència, que també s'aprecia en els gràfics de les coordenades cromàtiques (a, b), encara que són matemàticament poc significatives. (Fig. 97) (Fig. 98)

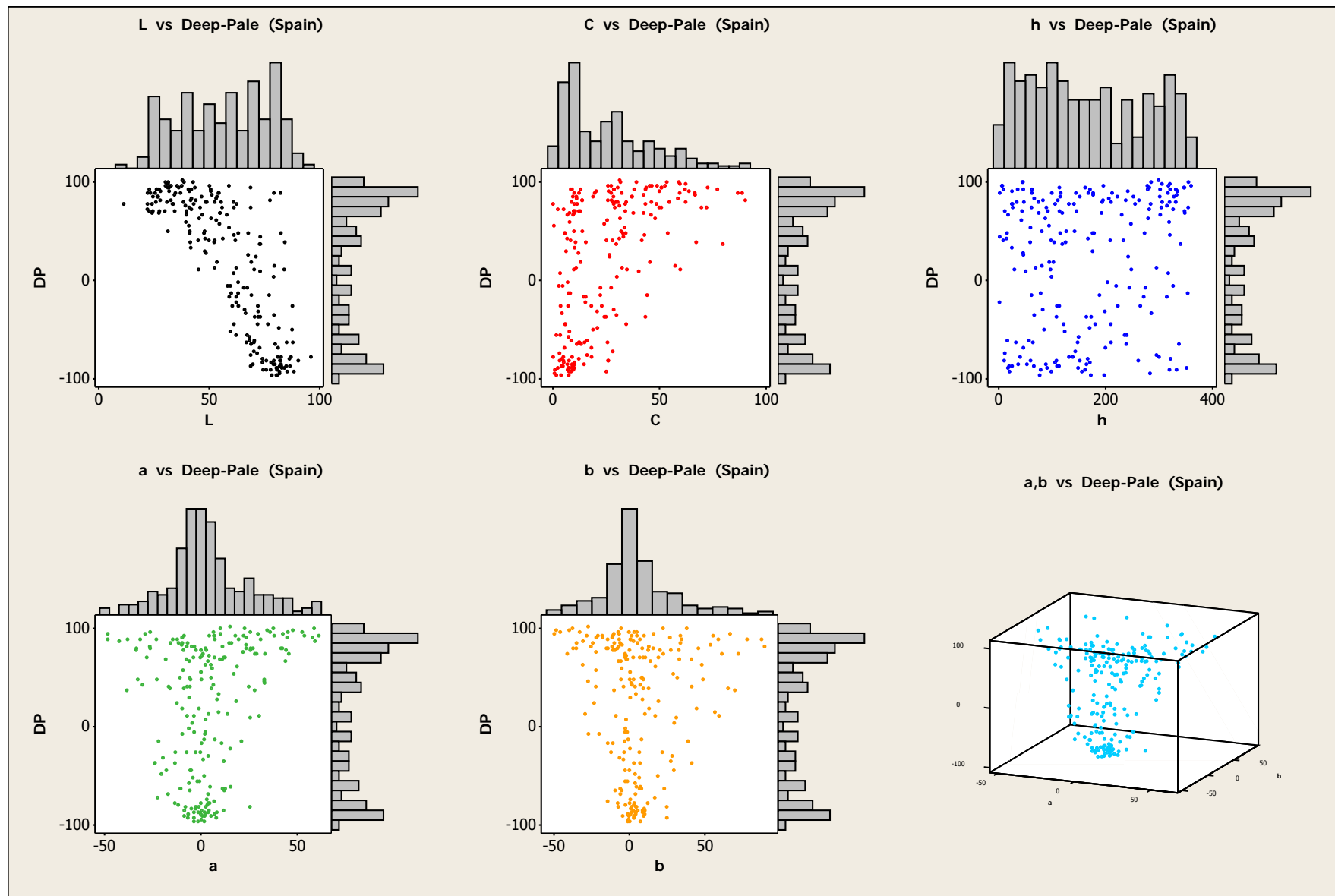


Fig. 97: Emoció associada al color DP/Espanya (histogrames i gràfics de dispersió)

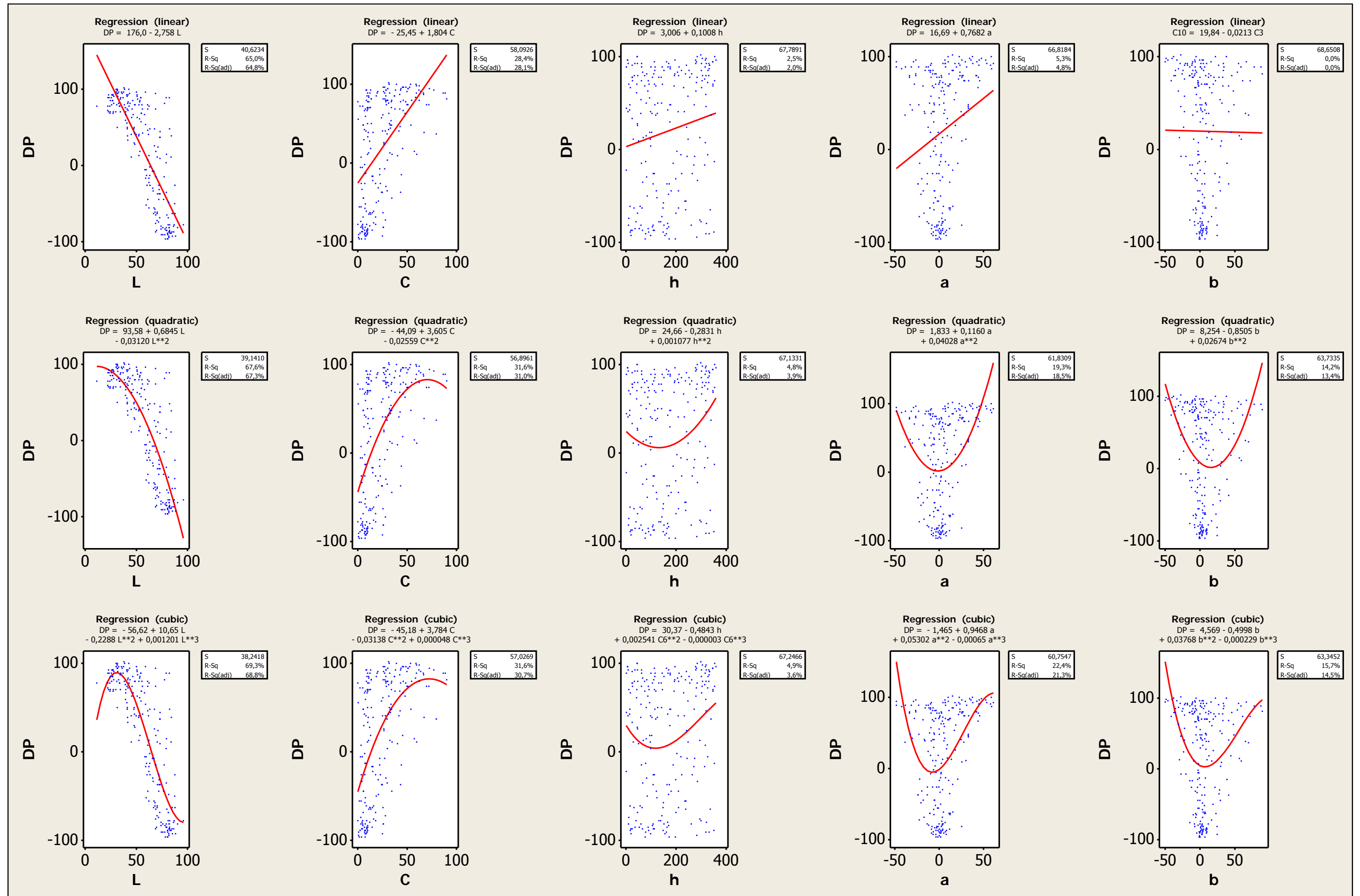


Fig.98: Emoció associada al color DP/Espanya (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **VS** (vivid-sombre) (vivo-apagado)

Valoracions de l'emoció que responen a la dependència a la cromaticitat (C) i, en molt menys grau, a les coordenades cromàtiques a i b . (Fig. 99) (Fig. 100)

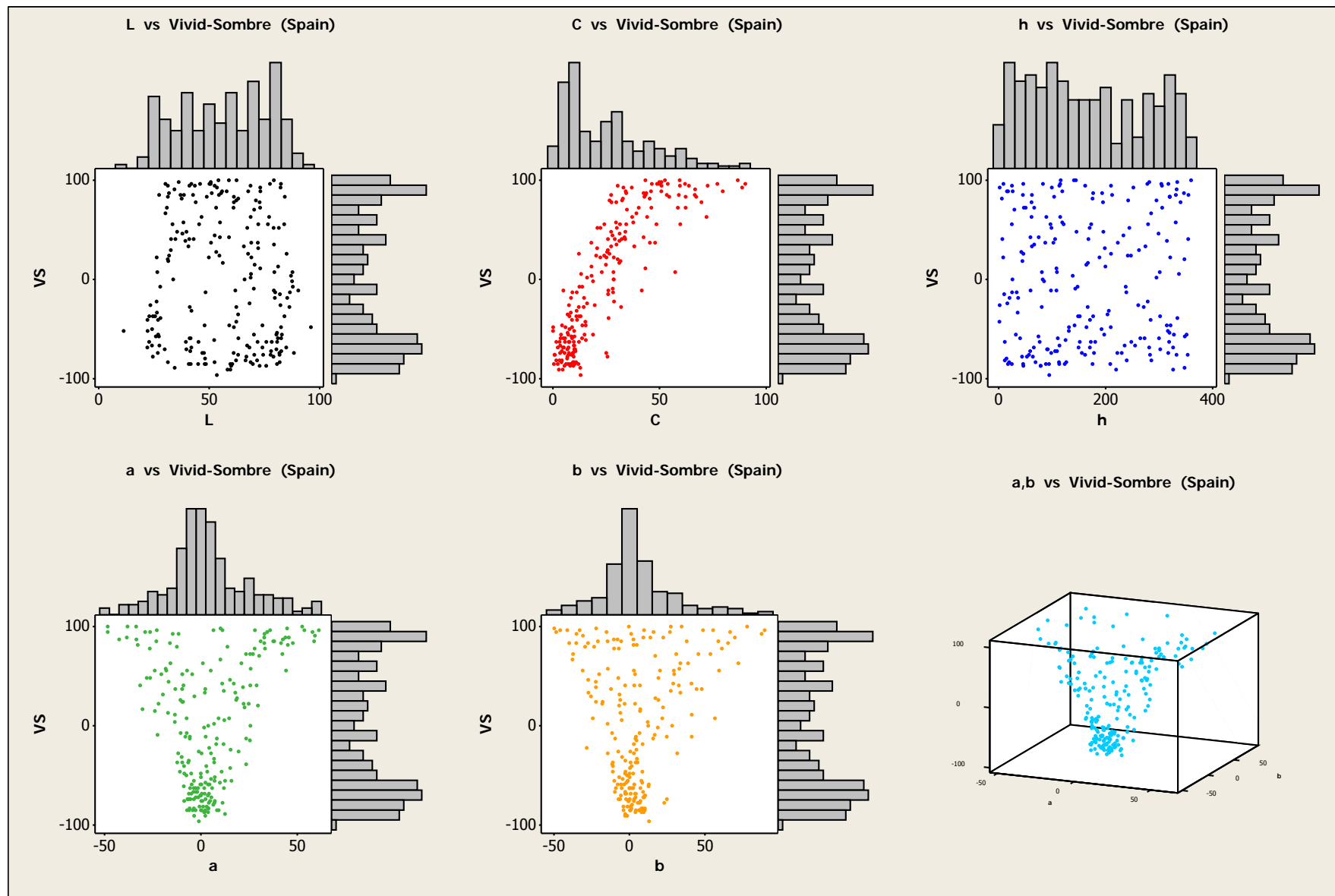


Fig. 99: Emoció associada al color VS/Espanya (histogrames i gràfics de dispersió)

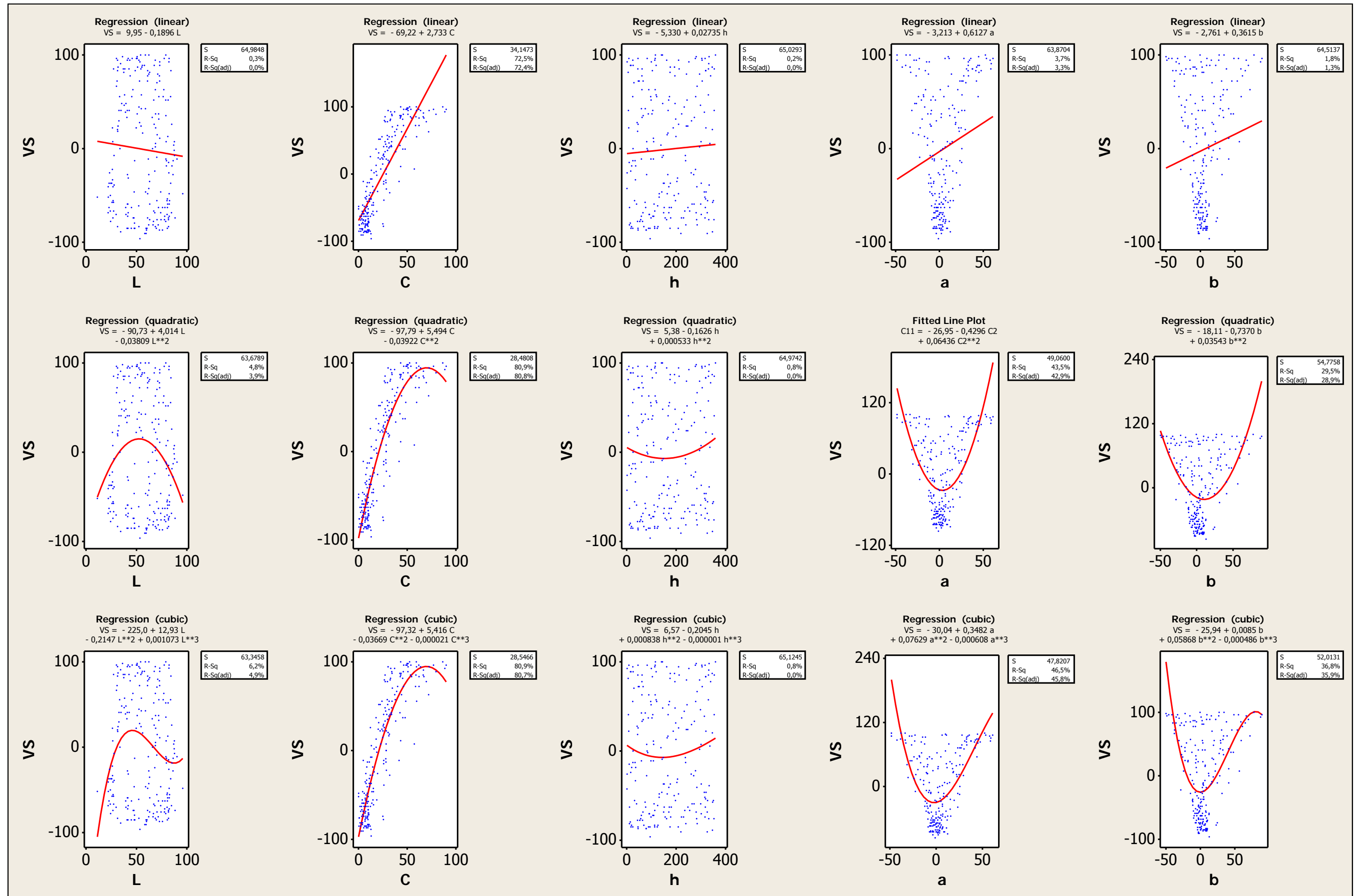


Fig. 100: Emoció associada al color VS/Espanya (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **PaDy** (passive-dynamic) (pasivo-dinámico)

La valoració estadística d'aquesta emoció està expressada en els valors de la cromaticitat (C) i, en conseqüència però en proporció més baixa, en els valors de les coordenades cromàtiques *a* i *b*. (Fig. 101) (Fig. 102)

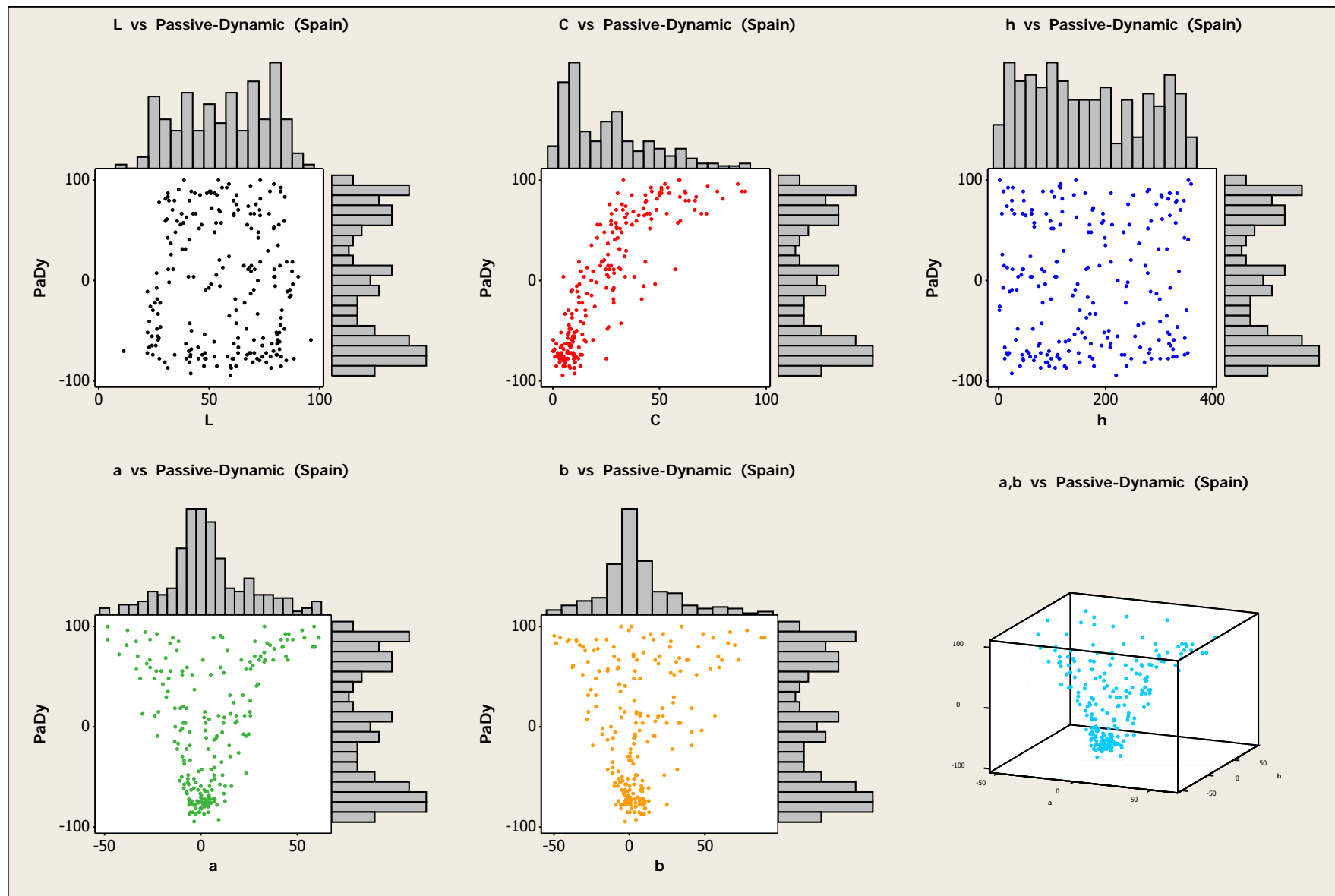


Fig. 101: Emoció associada al color PaDy/Espanya (histogrames i gràfics de dispersió)

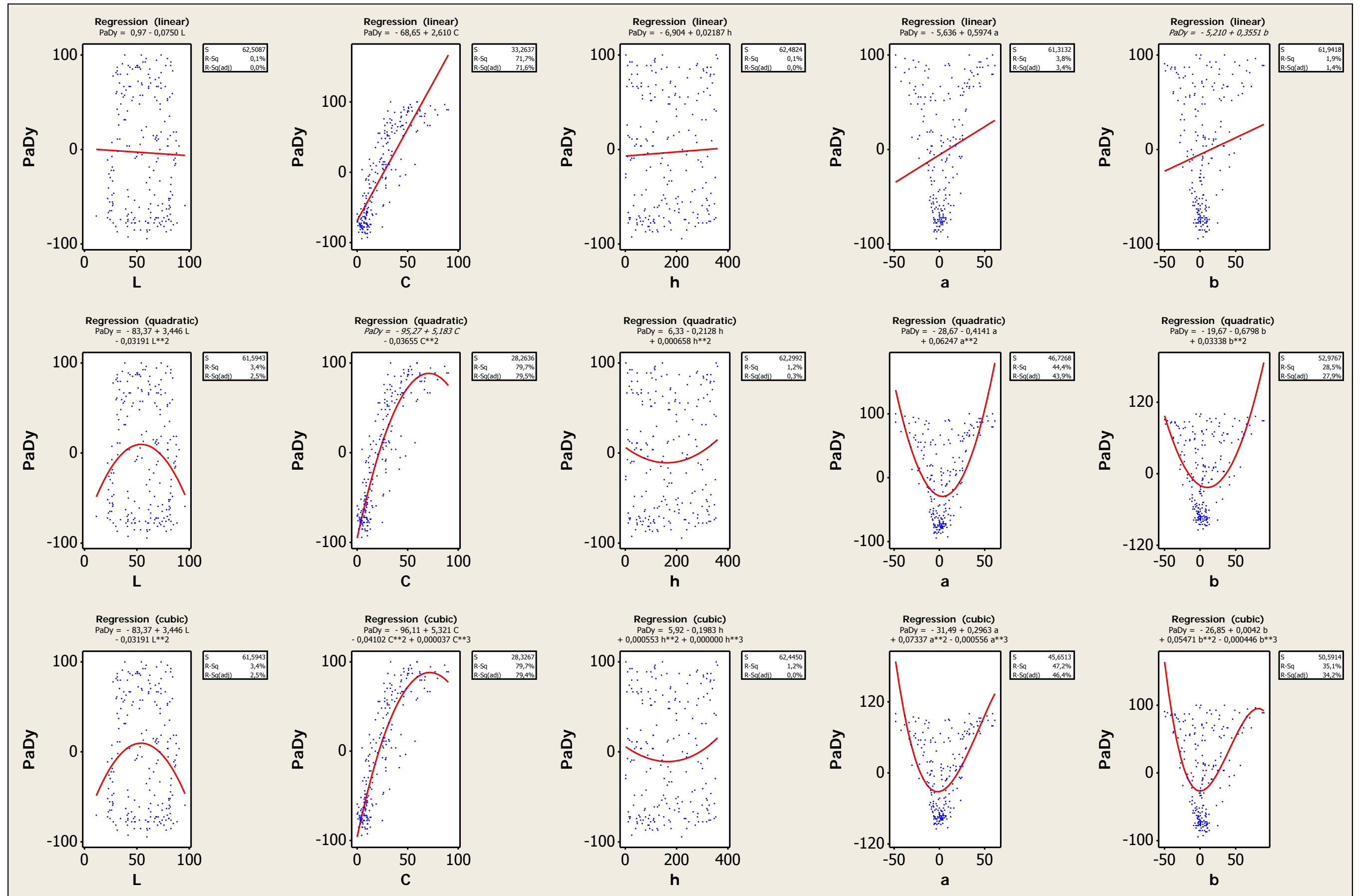


Fig. 102: Emoció associada al color PaDy/Espanya (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **GP** (gaudy-plain) (chillón-serio)

Aquesta valoració depèn claríssimament dels valors de la cromaticitat (C) de les mostres. Com que la cromaticitat (C) és una combinació matemàtica dels valors de les coordenades cromàtiques (a, b), també s'observa en aquests valors de *a* i *b* una certa periodicitat. (Fig. 103) (Fig. 104)

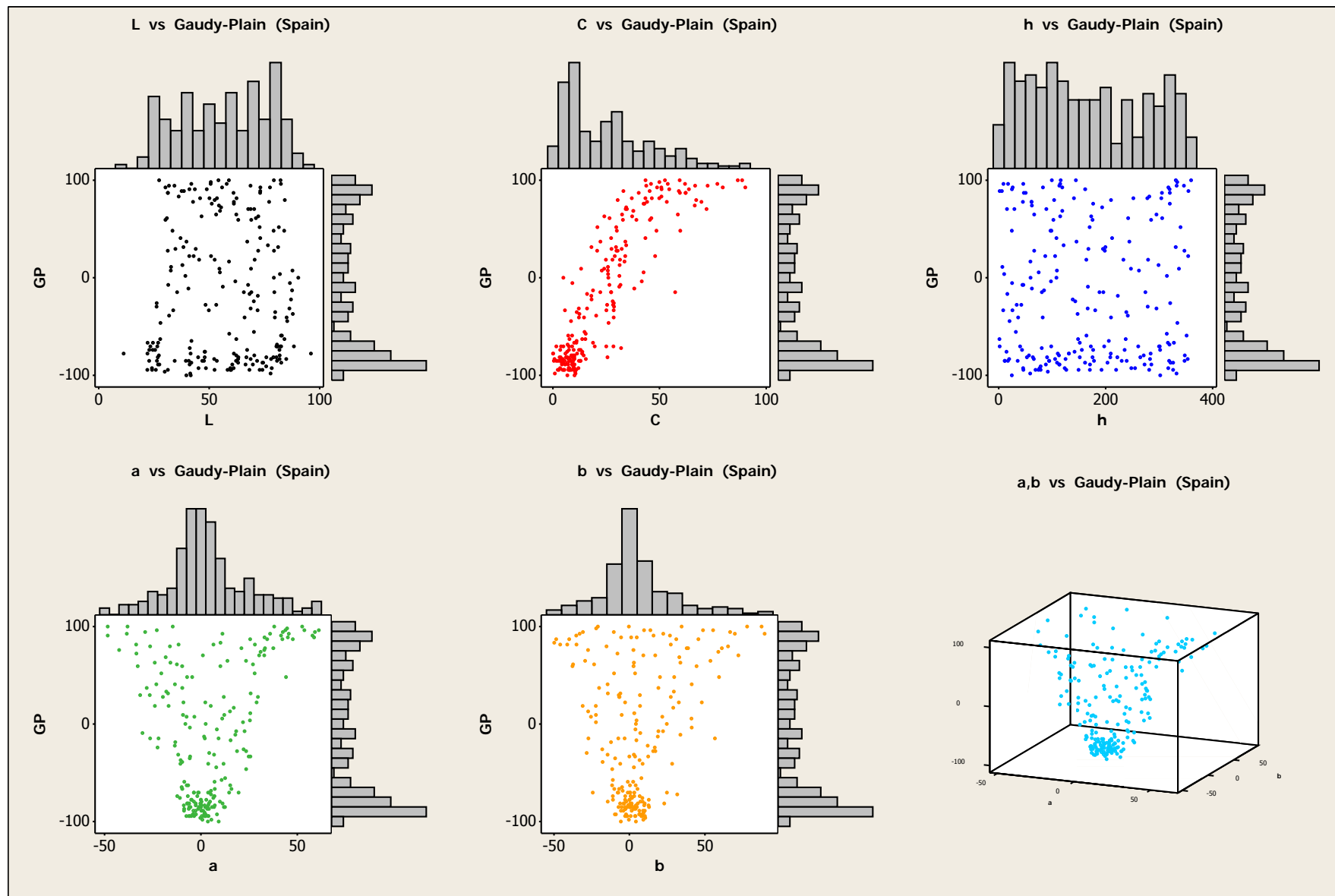


Fig. 103: Emoció associada al color GP/Espanya (histogrames i gràfics de dispersió)

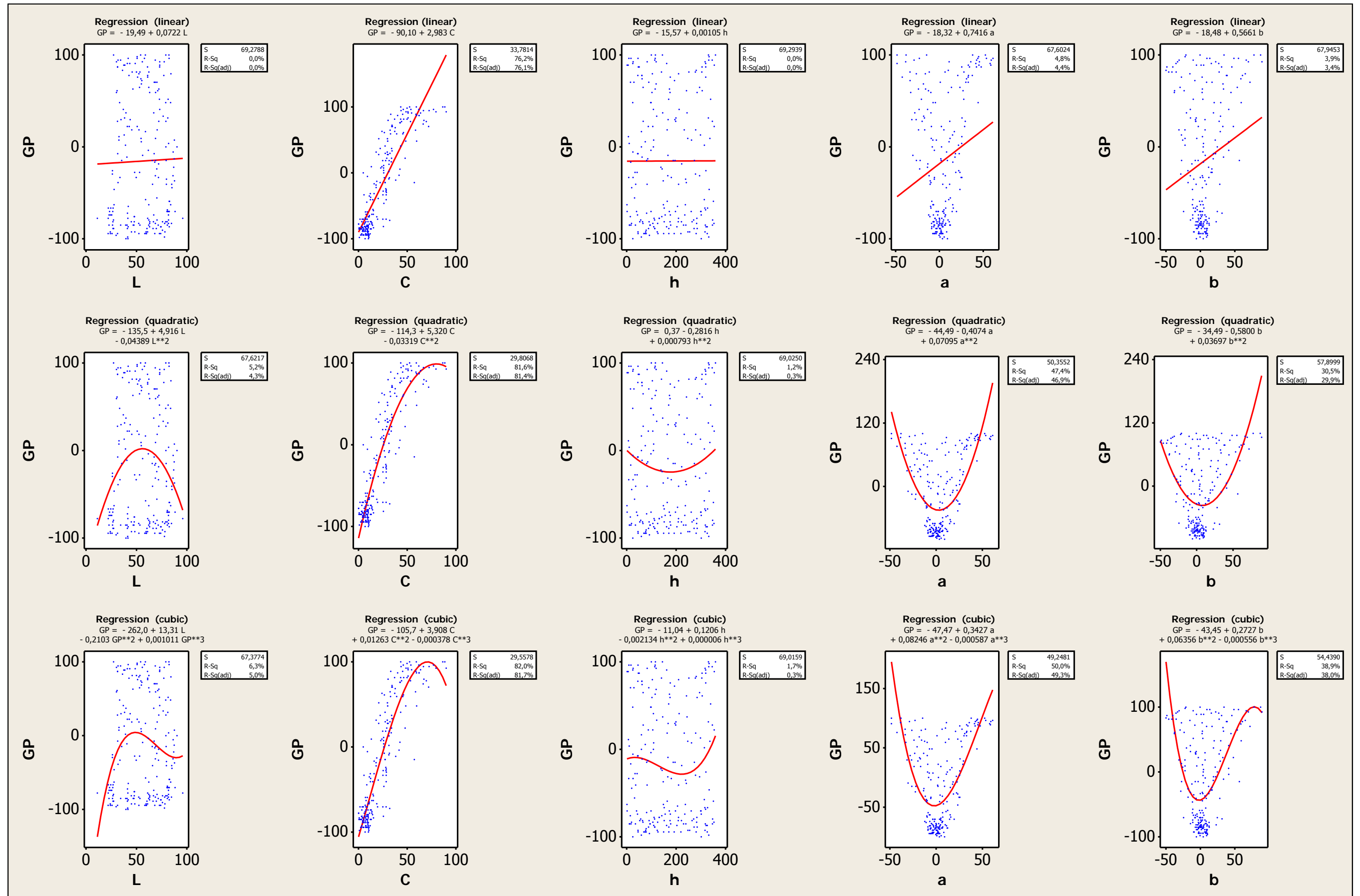


Fig. 104. Emoció associada al color GP/Espanya (gràfics i equacions de regressió)

Els [resultats qualitius](#) es resumeixen en les taules següents (Taula 5):

SP	Paràmetre principal	Paràmetre secundari
LD (light-dark)	L	-
SH (soft-hard)	L	-
WC (warm-cool)	C	h a
DP (deep-pale)	L	C
VS (vivid-sombre)	C	a
PaDy (passive-dynamic)	C	a
GP (gaudy-plain)	C	a

Taula 5: Paràmetres colorimètrics principals i secundaris de les dades d'Espanya

Paràmetres que tenen més influència (Taula 6):

SP	a	b	L	C	h
LD (light-dark)	-	-	sí	-	-
SH (soft-hard)	-	-	sí	-	-
WC (warm-cool)	sí	-	-	sí	sí
DP (deep-pale)	-	-	sí	sí	-
VS (vivid-sombre)	sí	-	-	sí	-
PaDy (passive-dynamic)	sí	-	-	sí	-
GP (gaudy-plain)	sí	-	-	sí	-
Total	4	0	3	5	1

Taula 6: Paràmetres colorimètrics que tenen més influència (Espanya)

Els [resultats quantitius](#) es resumeixen en les taules següents:

De les fórmules matemàtiques obtingudes en la representació i el càlcul de les corbes de regressió ens queda constància dels coeficients lineals i quadràtics de cada coordenada cromàtica i, per tant, de la seva importància dins de l'equació que les relaciona amb la valoració psicològica d'una emoció associada a un determinat color (Taula 7).

COEFICIENTS LINEALS	COEFICIENTS QUADRÀTICS
---------------------	------------------------

SP	L	C	H	a	b	L L ²	C C ²	h h ²	a a ²	b b ²
LD	3,586	-0,2104	-0,1448	-0,9358	0,7112	3,410 0,001595	-1,794 0,02249	0,4014 -0,0015	-0,8140 -0,0075	0,8486 -0,0044
SH	2,959	-0,7374	-0,1075	-0,7682	0,2602	2,865 0,000858	-1,360 0,00883	0,3416 -0,0012	-0,4802 -0,0177	0,6405 -0,0122
WC	-0,4239	1,599	-0,1975	1,396	1,032	1,633 -0,01864	2,710 -0,0157	-1,159 0,00269	1,047 0,02157	0,8382 0,00626
DP	-2,758	1,804	0,1008	0,7682	-0,0213	0,6845 -0,03120	3,605 -0,0255	-0,2831 0,00107	0,116 0,04028	-0,8505 0,02674
VS	-0,1896	2,733	0,02735	0,6127	0,3615	4,014 -0,03809	5,494 -0,0392	-0,1626 0,00053	-0,4296 0,06436	-0,737 0,03543
PaDy	-0,075	2,610	0,02187	0,5974	0,3551	3,446 -0,03191	5,183 -0,0365	-0,2128 0,00065	-0,4141 0,06247	-0,6798 0,03338
GP	0,0722	2,983	0,00105	0,7416	0,5661	4,916 -0,04389	5,320 -0,0331	-0,2816 0,00079	-0,4074 0,07095	-0,580 0,03697

Taula 7: Valors gràfics i equacions de regressió (Espanya)

Els valors del tant per cent de la confiança en l'exactitud dels resultats s'indiquen a continuació (Taula 8):

R-Sq (%) FÓRMULES LINEALS						R-Sq (%) FÓRMULES QUADRÀTIQUES				
SP	L	C	h	a	b	L	C	h	a	b
LD	87,6	0,3	4,1	6,2	4,9	87,6	2,3	7,9	6,6	5,3
SH	86,0	5,5	3,3	6,1	1,0	86,0	5,9	6,9	9,2	4,4
WC	2,8	40,7	17,5	31,8	23,8	4,5	43,0	44,1	39,1	25,3
DP	65,0	28,4	2,5	5,3	0,0	67,6	31,6	4,8	19,3	14,2
VS	0,3	72,5	0,2	3,7	1,8	4,8	80,9	0,8	43,5	29,5
PaDy	0,1	71,7	0,1	3,8	1,9	3,4	79,7	1,2	44,4	28,5
GP	0,0	76,2	0,0	4,8	3,9	5,2	81,6	1,2	47,4	30,5

Taula 8: R-Sq (%) dels valors gràfics i equacions de regressió (Espanya)

Una segona aproximació als [resultats quantitius](#) i a l'ajustament de fórmules matemàtiques la basem en una anàlisi de regressió lineal que correspongui a la fórmula general de (Equació 2):

$$\text{CEI (colour emotion index)} = x_1 L + y_1 C + z_1 h + c_1$$

Equació 2: Segona aproximació als resultats quantitius

Els resultats obtinguts són els següents (Taula9):

CEI	Fórmula (SP)	R-Sq
LD	3,63 L + 0,0292 C + 0,0277 h - 205	87,8 %
SH	2,96 L - 0,541 C + 0,0239 h - 153	89,3 %
WC	-0,606 L + 1,47 C - 0,202 h + 17,1	59,3 %
DP	-2,65 L + 1,64 C + 0,0021 h + 129	88,3 %
VS	0,094 L + 2,77 C + 0,0776 h - 88,5	74,0 %
PaDy	0,198 L + 2,66 C + 0,0751 h - 93,5	73,3 %
GP	0,360 L + 3,04 C + 0,0682 h - 123	77,9 %

Taula 9: Valors de l'equació 2 (Espanya)

Resumint-ho en una taula de valors matemàtics (Taula 10):

COEFICIENTS LINEALS				R-Sq (%)
SP	L	C	h	%
LD	3,63	0,0292	0,0277	87,8
SH	2,96	-0,541	0,0239	89,3
WC	-0,606	1,47	-0,202	59,3
DP	-2,65	1,64	0,0021	88,3
VS	0,094	2,77	0,0776	74,0
PaDy	0,198	2,66	0,0751	73,3
GP	0,36	3,04	0,0682	77,9

Taula 10: Coeficients lineals i R-Sq (%) dels valors de l'equació 2 (Espanya)

Una tercera aproximació als [resultats quantitius](#) i a l'ajustament de fórmules matemàtiques la basem en una anàlisi de regressió lineal que correspongui a la fórmula general de (Equació 3):

$$\text{CEI (colour emotion index)} = x_1 L + y_1 C^n + z_1 h + c_1$$

Equació 3: Tercera aproximació als resultats quantitius

Els resultats obtinguts són els següents (Taula 11):

CEI	Fórmula (SP)	R-Sq (%)
LD	$3,63 L + 2,07 C^{0,29} + 2,84 h - 209,40$	87,80
SH	$2,94 L - 2,31 C^{0,65} + 2,50 h - 149,32$	88,63
WC	$- 0,55 L + 9,93 C^{0,59} - 0,20 h - 7,88$	60,60
DP	$- 2,63 L + 2,39 C^{0,91} + 2,21 h + 124,7$	88,33
VS	$0,20 L + 22,46 C^{0,54} + 8,04 h - 146,39$	78,85
PaDy	$0,30 L + 23,58 C^{0,53} + 7,83 h - 152,98$	78,50
GP	$0,45 L + 16,74 C^{0,62} + 0,07 h - 169,30$	80,97

Taula 11: Valors de l'equació 3 (Espanya)

Resumint-ho en una taula de valors matemàtics (Taula 12):

COEFICIENTS LINEALS					R-Sq (%)
SP	L	C	n	h	%
LD	3,63	2,07	0,29	2,84	87,80
SH	2,94	-2,31	0,65	2,50	88,63
WC	-0,55	9,93	0,59	-0,20	60,60
DP	-2,63	2,39	0,91	2,21	88,33
VS	0,20	22,46	0,54	8,07	78,85
PaDy	0,30	23,58	0,53	7,83	78,50
GP	0,45	16,74	0,62	0,07	80,97

Taula 12: Coeficients lineals i R-Sq (%) dels valors de l'equació 3 (Espanya)

4.3.9. Interpretació dels resultats obtinguts

L'existència d'una resposta expressable matemàticament respecte a l'apreciació psicològica d'un color i les coordenades colorimètriques físiques, i per tant mesurables, d'aquest color, s'intenta demostrar mitjançant gràfiques estadístiques. D'aquesta manera es visualitzen molt ràpidament i clarament les relacions entre els paràmetres que afecten una gran quantitat de valors numèrics.

Com que es tenen una gran quantitat de dades, els resultats s'han representat gràficament per poder observar la possible existència d'una tendència general que relacioni les avaluacions subjectives dels colors amb els paràmetres físics utilitzats en la mesura i en la definició de cada color.

S'han representat en cada cas les avaluacions subjectives i col·lectives (de valors que van de +100 a -100) de cada color amb els seus paràmetres colorimètrics principals (a , b , L , C , h).

S'han representat els valors numèrics en una gràfica de distribució per punts que també inclou la representació de la distribució histogràfica.

En primer lloc, és molt important comprovar que en **tots els casos** estudiats les avaluacions subjectives de propietats no físiques associades als colors, com per exemple calent-fred, segueixen un **patró** que pot ser determinat o **expressat matemàticament** mitjançant paràmetres que es corresponen a mesures físiques i instrumentals dels colors (en l'exemple anterior: C , h , a , b).

Per tant, l'associació de qualificatius subjectius o apreciacions psicològiques a colors **és quantificable** i segueix un patró poblacional de resultats força definit i coherent.

En el cas de l'estudi de les dades espanyoles podem arribar a les conclusions següents:

*1. L'apreciació psicològica d'un determinat color per una població concreta, expressada mitjançant semàntica lingüística, està **directament relacionada amb les propietats físiques** del color (mesures colorimètriques instrumentals).*

*2. En segon lloc, constatem l'existència de **tres grans grups** segons quins siguin els tipus de paràmetres més influents en la definició de la qualitat psicològica associada al color.*

Les emocions estudiades poden associar-se a:

✚ *Paràmetres acromàtics (L), que bàsicament indiquen intensitat.*

És el cas de LD i SH.

✚ *Paràmetres acromàtics (L) i paràmetres cromàtics (C , h , a , b).*

És el cas de DP.

🚦 Paràmetres cromàtics (C , h , a , b), que bàsicament indiquen coloració o propietats associades al color pròpiament dit.

És el cas de WC, VS, PaDy i GP.

3. Amb les gràfiques obtingudes es constata que l'expressió de les fórmules matemàtiques és **exponencial** i no logarítmica, per exemple. Això té com a conseqüència que quan un paràmetre depèn dels valors de les coordenades de color (a , b), és més sensible als valors de la **cromaticitat (C)** que als de la tonalitat (h).

L'expressió matemàtica de les fórmules colorimètriques coincideix amb aquesta apreciació:

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$h = \arctan(b/a)$$

4. En principi una equació de com a màxim segon ordre es pot considerar suficientment adequada per a l'expressió matemàtica de l'apreciació psicològica d'un color.

Per a les dades espanyoles, encara que la majoria de les valoracions psicològiques dels colors depenen de la coordenada C (cromaticitat), n'hi ha moltes que depenen de la coordenada L (lluminositat) gairebé exclusivament. Això indica que **el factor de lluminositat és molt important a la zona mediterrània**.

De les representacions de les regressions i de les equacions que se n'obtenen, els seus coeficients i els percentatges de regressió, queda clar que amb les **equacions lineals** n'hi ha prou per mostrar matemàticament la relació entre la valoració psicològica i els paràmetres físics de la mesura del color.

També hi queda reflectit que quan un índex d'emoció del color (CEI), o valoració psicològica d'un color, depèn no només de la lluminositat (L) sinó també de la propietat del color (C , h), aquest s'expressa majoritàriament mitjançant el paràmetre de la **cromaticitat (C)** i no tant per la tonalitat (h). Això vol dir, per exemple, que en realitat ni tots els blaus són freds ni tots els vermells són calents, com moltes vegades s'indica popularment, sinó que qualsevol color segons el valor de la seva cromaticitat (C) pot ser calent o fred, és a dir, pot tenir una valoració psicològica determinada o bé la seva contrària, depenent principalment dels valors de la cromaticitat (C) i no de la tonalitat (h).

Un altre fet rellevant que es repeteix com a conclusió matemàtica de l'estudi és que quan la valoració psicològica depèn de la propietat del color i no només de la seva lluminositat, aquesta dependència recau majoritàriament en el valor de la coordenada de color a , per sobre del valor de la coordenada de color b , que normalment té valors matemàticament més baixos. Aquest fet ens indica que l'eix de visió de color vermell-verd, expressat per la coordenada de color a , és biològicament més important i rellevant que l'eix de visió del color groc-blau, expressat per la coordenada de color b . Cal recordar que la sensació del color groc es correspon amb una sensació secundària de percepció de color, més que amb una sensació directa d'apreciació del color. Podria molt ben ser que la importància de l'eix de color vermell-verd, expressat matemàticament per la coordenada de color a , fos l'expressió de la importància de l'entorn natural, principalment de color verd, i per tant fos una sensació de color prioritària, tant biològicament com psicològicament.

De tota manera, queda ben demostrat que les apreciacions psicològiques dels colors, encara que tenen un component cultural, es basen principalment en els paràmetres colorimètrics físics i mesurables físicament i matemàticament del color —la lluminositat (L), la cromaticitat (C) i la tonalitat (h)—, i a més s’hi corresponen.

Fins aquest moment, de la representació gràfica, n’obtenim la importància de cada paràmetre colorimètric i l’expressió matemàtica d’aquesta importància en equacions lineals per a cada coordenada del color. En un pas més combinem els tres principals paràmetres —L, C i h— en una sola equació lineal del tipus (Equació 4):

$$\text{CEI (colour emotion index)} = x_1 L + y_1 C + z_1 h + c_1$$

Equació 4: Segona aproximació als resultats quantitius

En aquesta gràfica obtenim pràcticament els mateixos resultats per a l’índex CEI:

- Paràmetres que depenen de L (lluminositat):
 - LD
 - SH

- Paràmetres que depenen de C (cromaticitat):
 - WC
 - VS
 - PaDy
 - GP

- Paràmetres que depenen de L, C i h:
 - DP

En aquesta equació, en què es ponderen tots els valors colorimètrics, matemàticament és necessari un terme independent d’ajust, el valor del qual té un màxim de $\leq /200/$ doncs depenen dels valors de l’eix de les gràfiques del CEI, definit per fórmula, entre -100 i 100 i per ajustar-lo a l’origen, valor zero de la nova fórmula estudiada.

Per millorar encara més la fórmula proposada introduïm un índex de potència n que afecta el valor de la C (cromaticitat), ja que ha quedat demostrat experimentalment que la seva influència és molt superior al valor de la h (tonalitat). La fórmula resultant és la següent (Equació 5):

$$\text{CEI (colour emotion index)} = x_1 L + y_1 C^n + z_1 h + c_1$$

Equació 5: Tercera aproximació als resultats quantitatius

La precisió de l'ajust de l'equació augmenta i hi ha més dependències de la valoració psicològica dels colors que inclouen el paràmetre h (tonalitat).

Els resultats del CEI obtinguts en aquest cas són:

- Paràmetres que depenen de L (lluminositat):
 - LD

- Paràmetres que depenen de C (cromaticitat):
 - WC
 - VS
 - PaDy
 - GP

- Paràmetres que depenen de L , C i h :
 - SH
 - DP



5. ESTUDI INTERCULTURAL

5.1. Comparació de les emocions associades al color entre diferents idiomes

Les dades obtingudes per a l'idioma castellà es comparen amb les obtingudes per a l'idioma anglès en japonès, tailandès i xinès. ^{140 141 142 143 144 145 146}

5.2. Altres Universitats o Instituts on es duen a terme treballs similars (Taula 13):

Institució o entitat	Autors	País
Nippon Paint Co., Ltd.	Yuka Miki Tetsuhiro Shinno Kouichi Kuwano	Japó
Yamaguchi University	Hiroshi Hoshino	Japó
Nara Saho Jogakuin College	Taeko Nakamura	Japó
Kyoto Institute of Technology	Tetsuya Sato K. Morimoto	Japó
Otsuma Women's University	K. Kajiwara	Japó
Colour Chemistry Dept. / University of Leed	Jim Nobbs	Anglaterra
Colour & Imaging Institute / University of Derby	Ronnier Luo Li-Chen Ou	Anglaterra
Institute of Textile & Clothing / The Hong-Kong Polytechnic University	John H. Xin Ka-Man Cheng	Xina
Dept. Of Industrial Design / Shu-Te University	L. Grace Juan	Taiwan
Dept. Of Industrial Design / National Cheng-Kung University	Yang-Cheng Lin	Taiwan
Dept. Of Visual Communication / National Yunlin University of Science and Technology	Shig-Sheg Guan	Taiwan
School of Architecture, Chalmers	Monica Billger Ylva Konradson Beata Stahre	Suècia
Dept. Of Imaging and Printing Technology /Chulalongkorn University	Aran Hansuebsai P. Pungrassamen O. Promsakha-na-sakonnakorn	Tailàndia
Australian Institute of Colour	Barbara Marshall	Austràlia

Taula 13: Universitats/Instituts on es duen a terme treballs similars

LA MAYOR BATALLA SELIBRA POR DENTRO.

**6. ESTUDI ESTADÍSTIC DE LES DADES
OBTINGUDES A HONG KONG**



Fig. 105 147

6.1. Obtenció de fórmules matemàtiques, representacions gràfiques i models colorimètrics associats al model de Hong Kong

Per comprovar el grau de significació matemàtica dels resultats obtinguts, s'han fet representacions estadístiques gràfiques d'aquests resultats. Bàsicament consisteixen en la distribució (incloent-hi l'histograma) de les dades experimentals respecte dels paràmetres colorimètrics mesurats i la representació de les equacions de regressió (lineal, quadràtica i cúbica).

Els gràfics obtinguts es mostren a continuació, amb un comentari d'interpretació.

Emoció associada al color **LD** (light-dark) (claro-oscuro)

Emoció associada tant a valors de L com de C i, en menys proporció, de la coordenada cromàtica a . (Fig. 106) (Fig. 107)

La dispersió dels valors en totes aquestes coordenades colorimètriques és elevada.

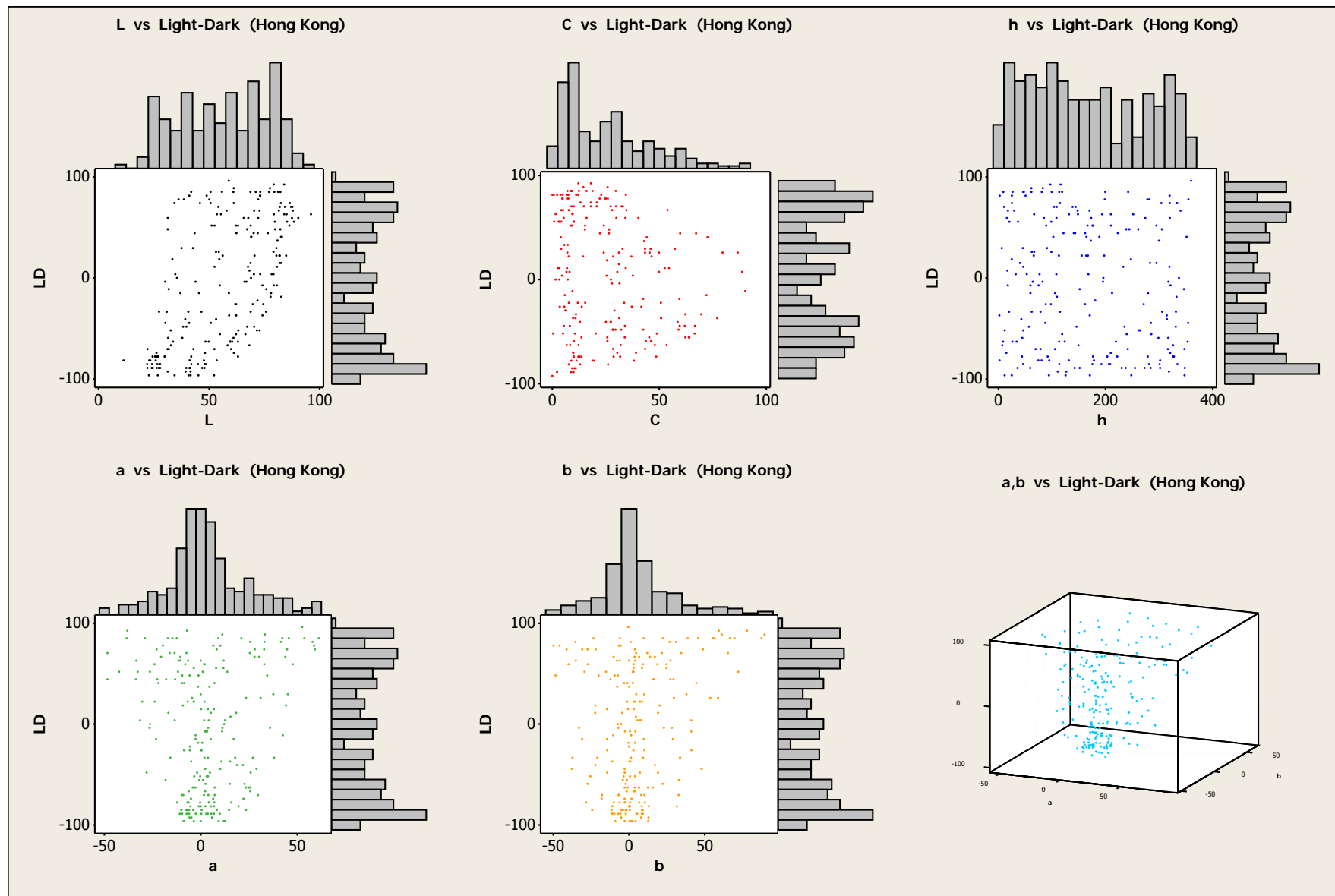


Fig. 106: Emoció associada al color LD/Hong Kong (histogrames i gràfics de dispersió)

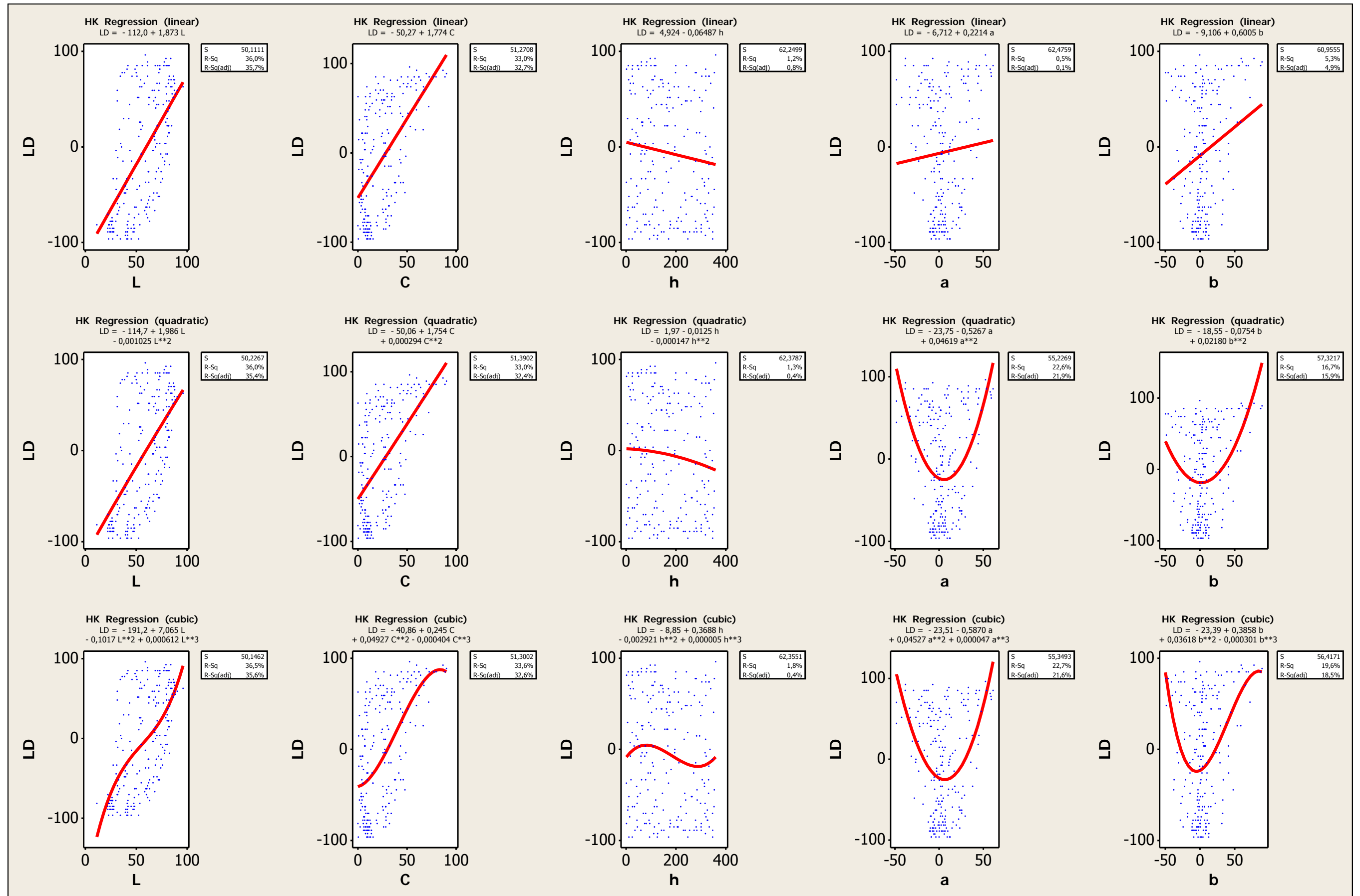


Fig. 107: Emoció associada al color LD/Hong Kong (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **SH** (soft-hard) (suave-duro)

Les valoracions de l'emoció associada a SH s'expressen quasi totalment en els valors de la coordenada de lluminositat L . (Fig. 108) (Fig. 109)

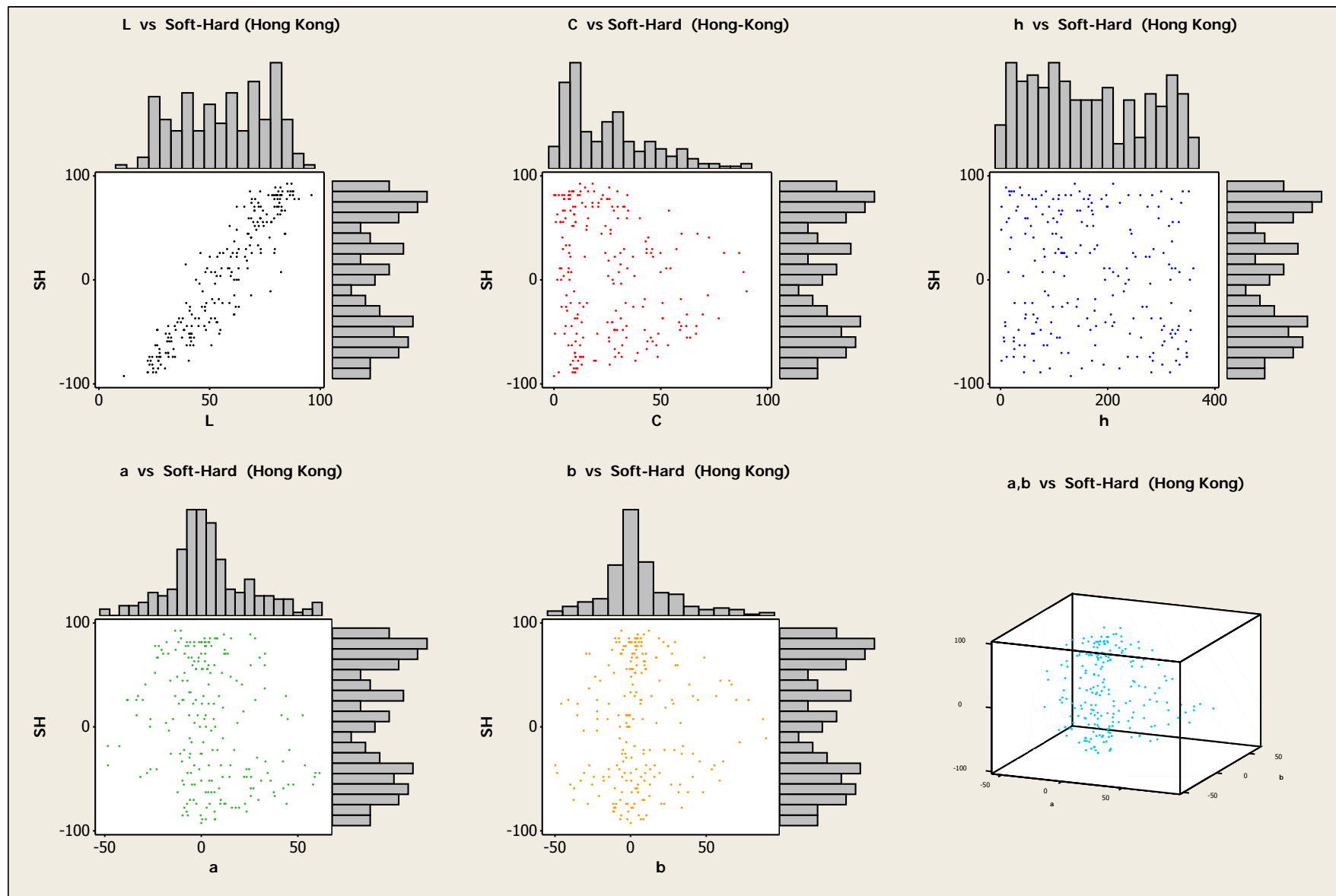


Fig. 108: Emoció associada al color SH/Hong Kong (histogrames i gràfics de dispersió)

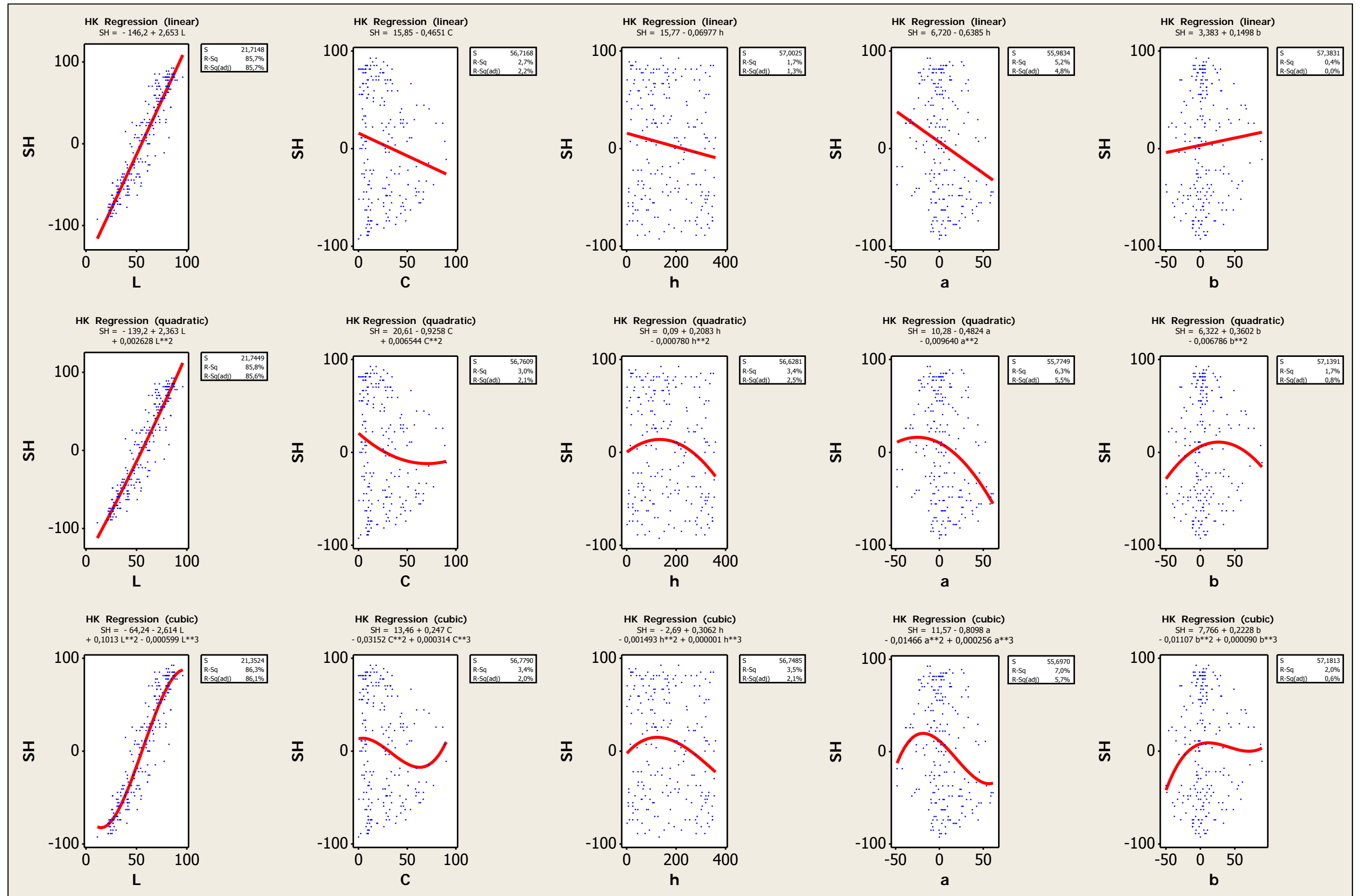


Fig. 109: Emoció associada al color SH/Hong Kong (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **WC** (warm-cold) (caliente-frío)

En aquest cas, les valoracions fetes pels observadors depenen de la coordenada C_i , en menys grau, de la coordenada a . (Fig. 110) (Fig. 111)

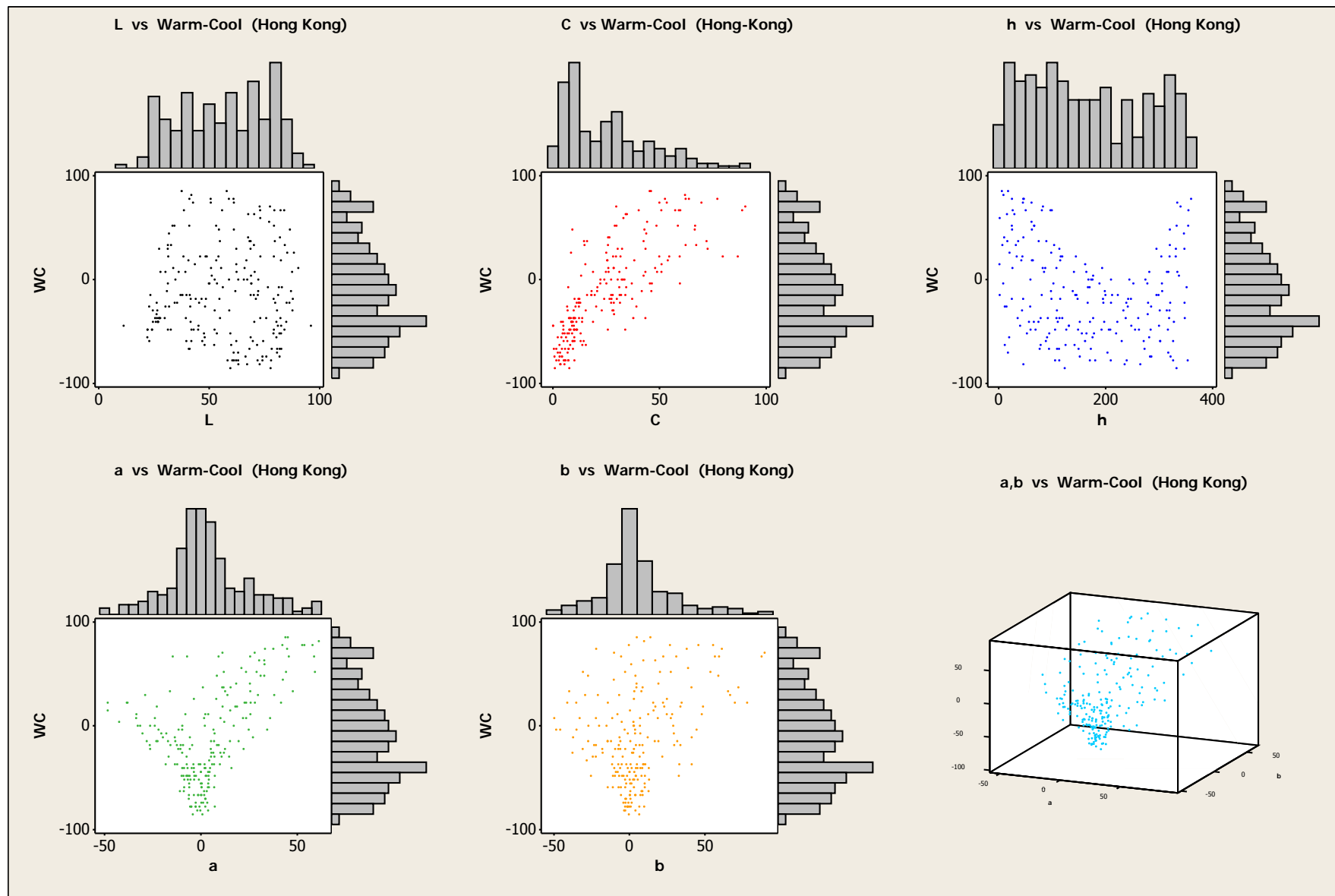


Fig. 110: Emoció associada al color WC/Hong Kong (histogrames i gràfics de dispersió)

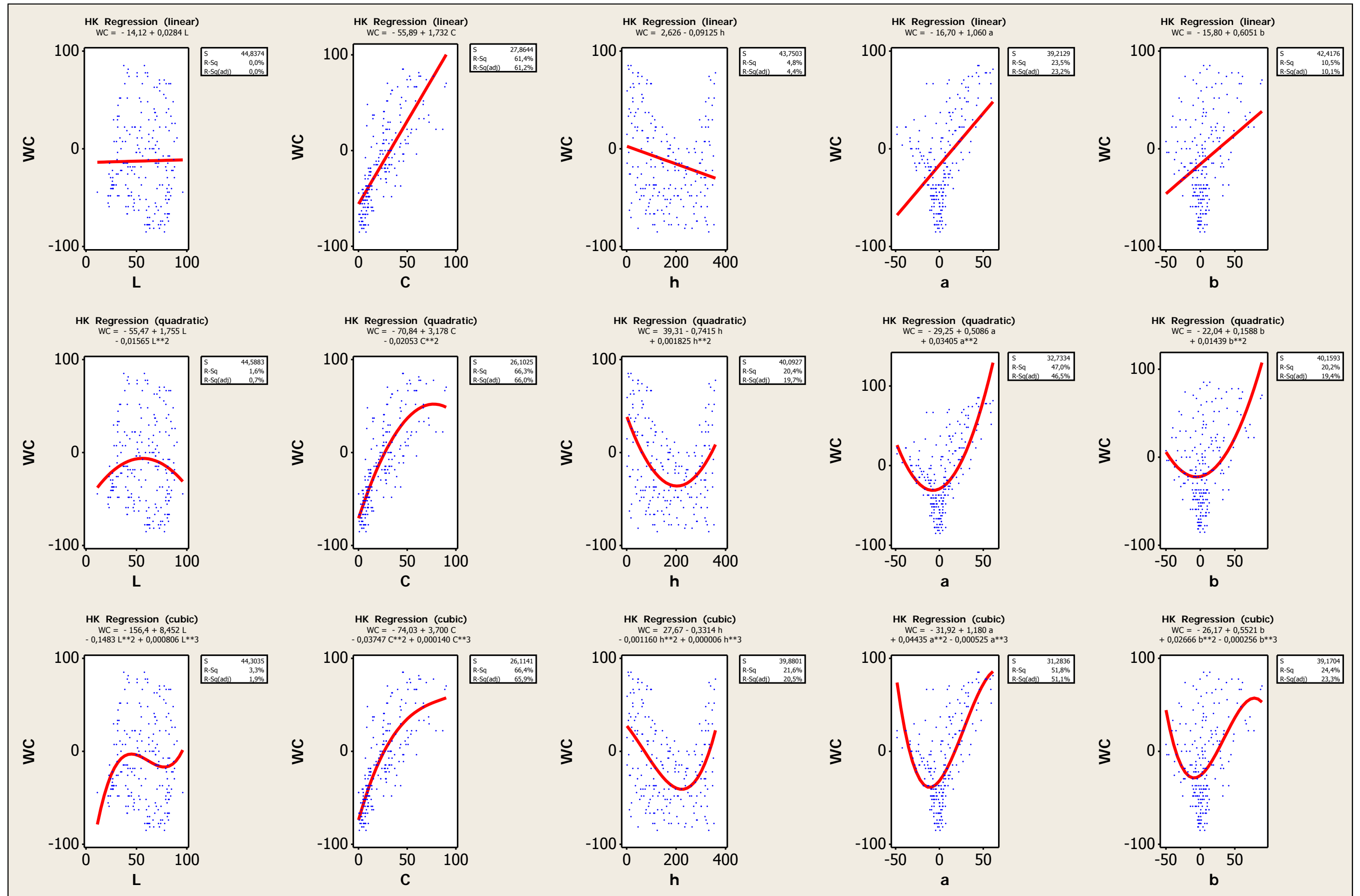


Fig. 111: Emoció associada al color WC/Hong Kong (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **DP** (deep-pale) (intenso-pálido)

En aquest cas, l'única dependència o relació entre la qualificació de les mostres i la seva definició matemàtica ve donada pel valor de la lluminositat (L). (Fig. 112) (Fig. 113)

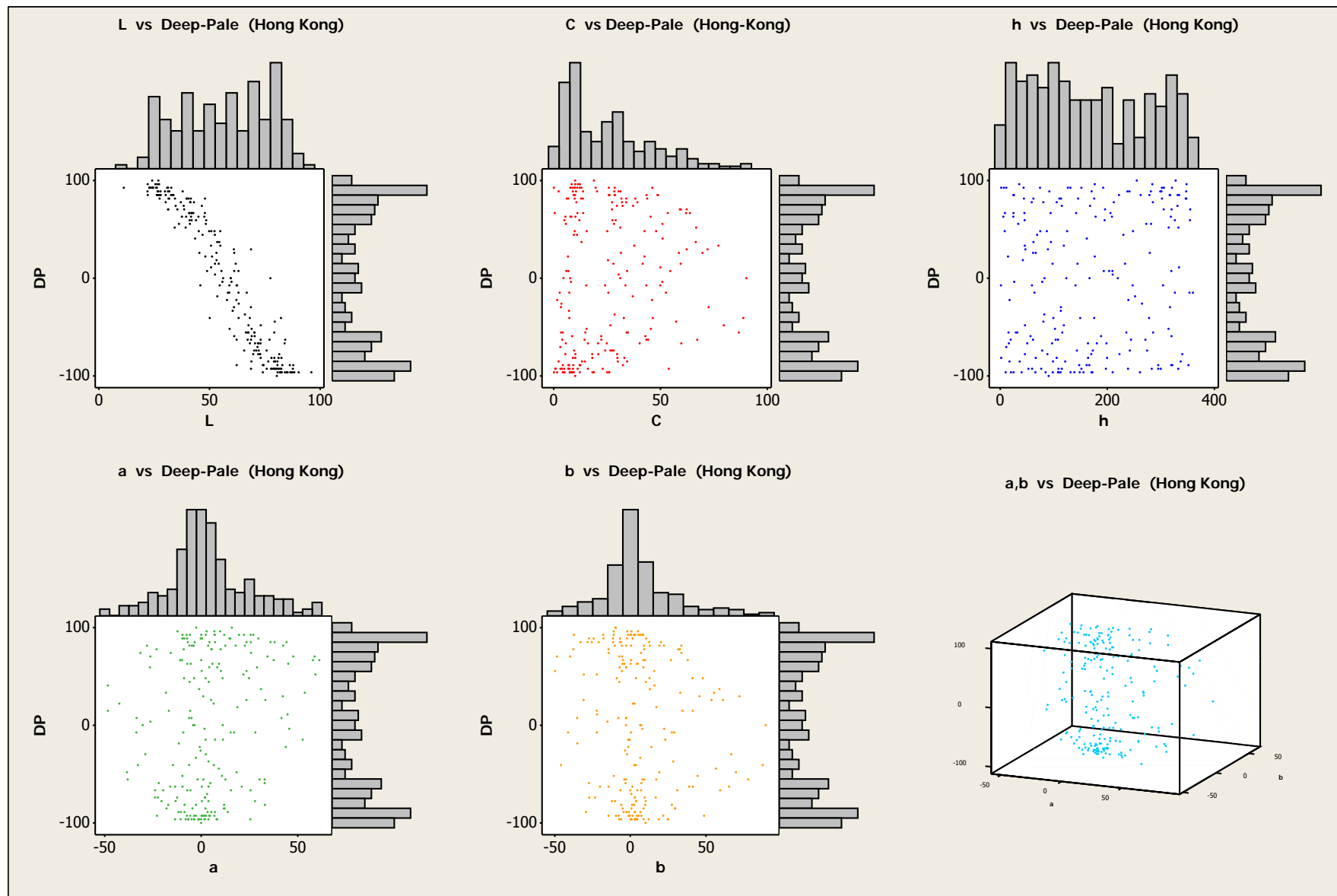


Fig. 112: Emoció associada al color DP/Hong Kong (histogrames i gràfics de dispersió)

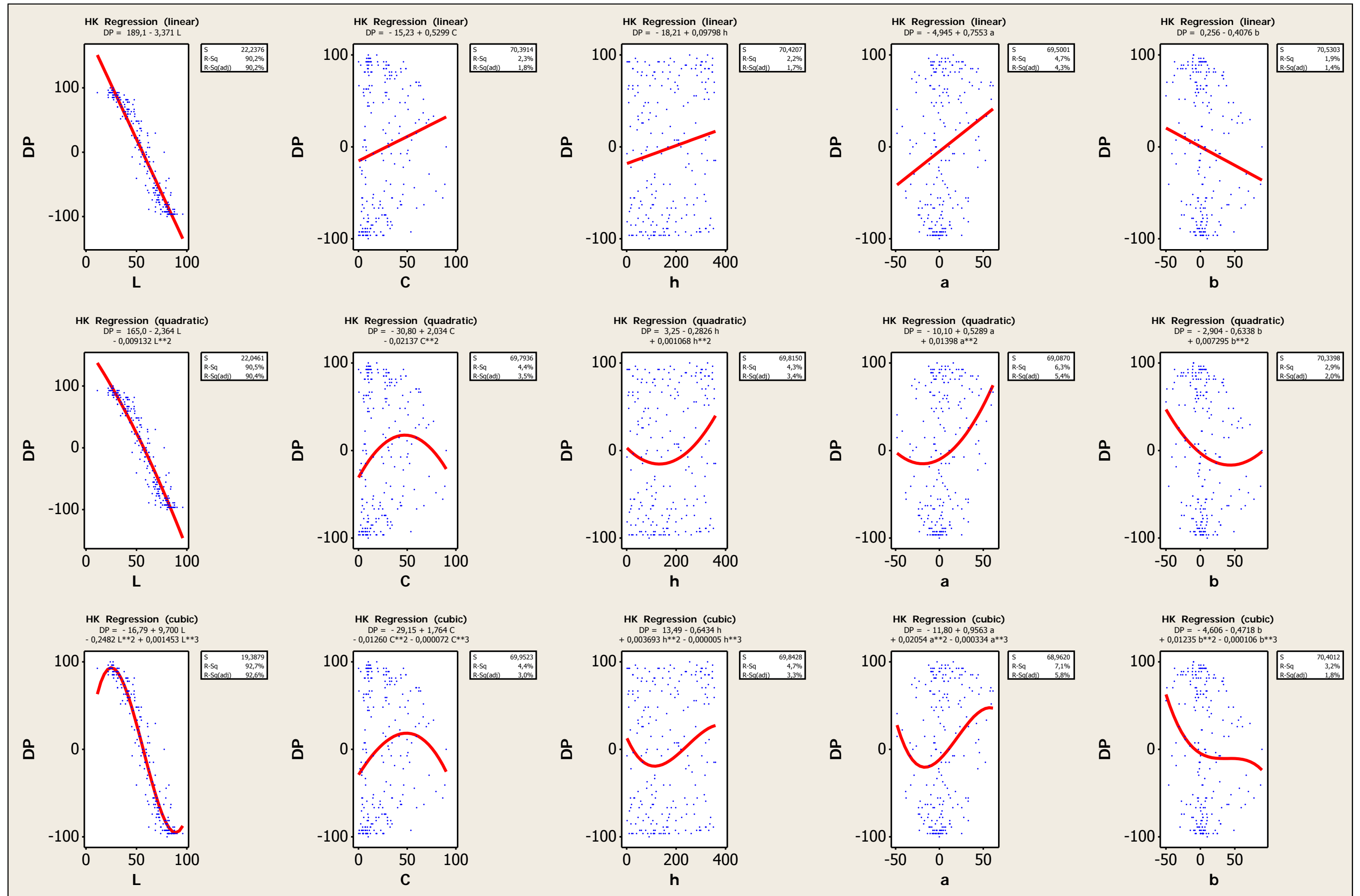


Fig. 113: Emoció associada al color DP/Hong Kong (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **VS** (vivid-sombre) (vivo-apagado)

Valoracions de l'emoció que responen a la dependència a la cromaticitat (C) i, en molt menys grau, a les coordenades cromàtiques a i b . (Fig. 114) (Fig. 115)

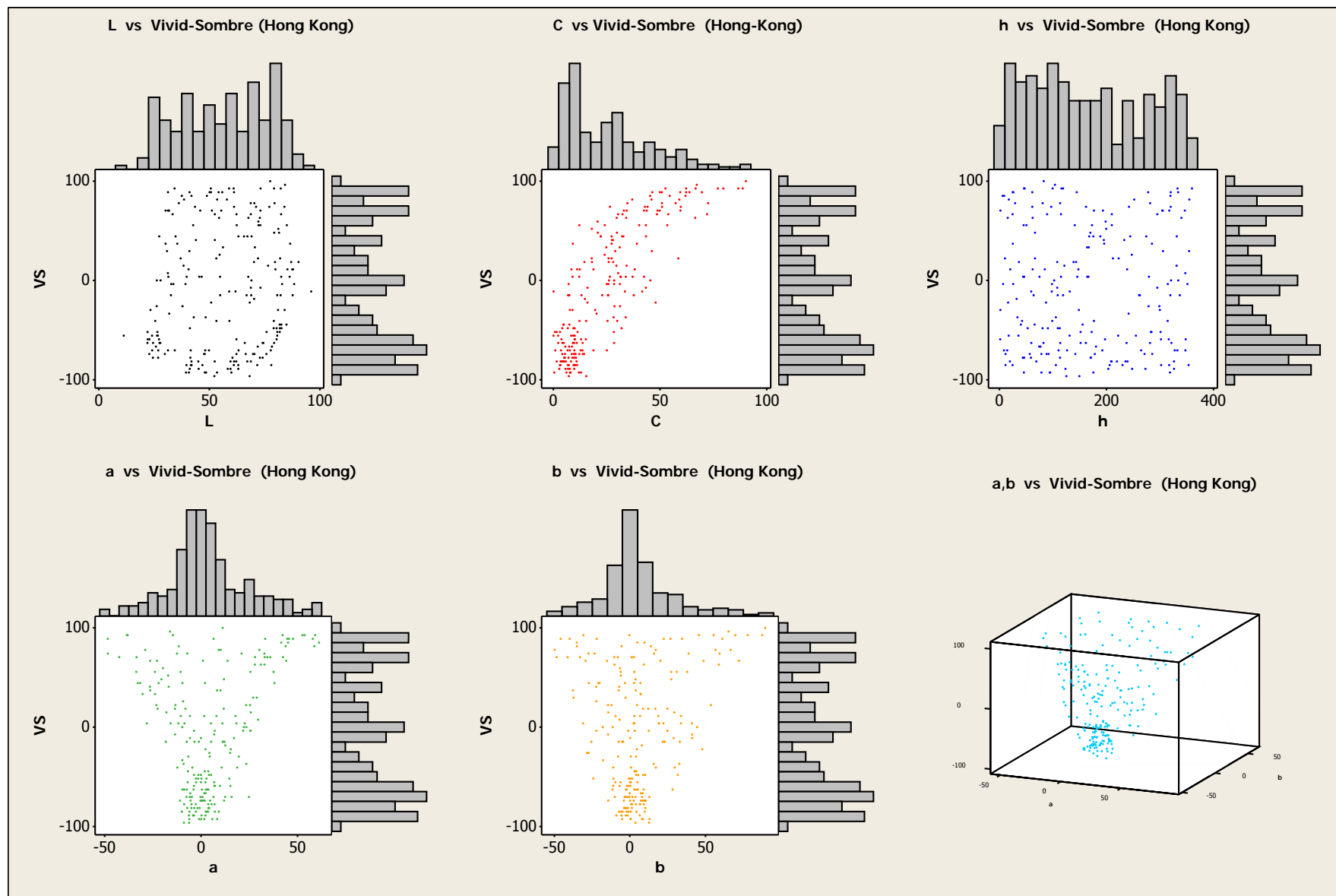


Fig. 114: Emoció associada al color VS/Hong Kong (histogrames i gràfics de dispersió)

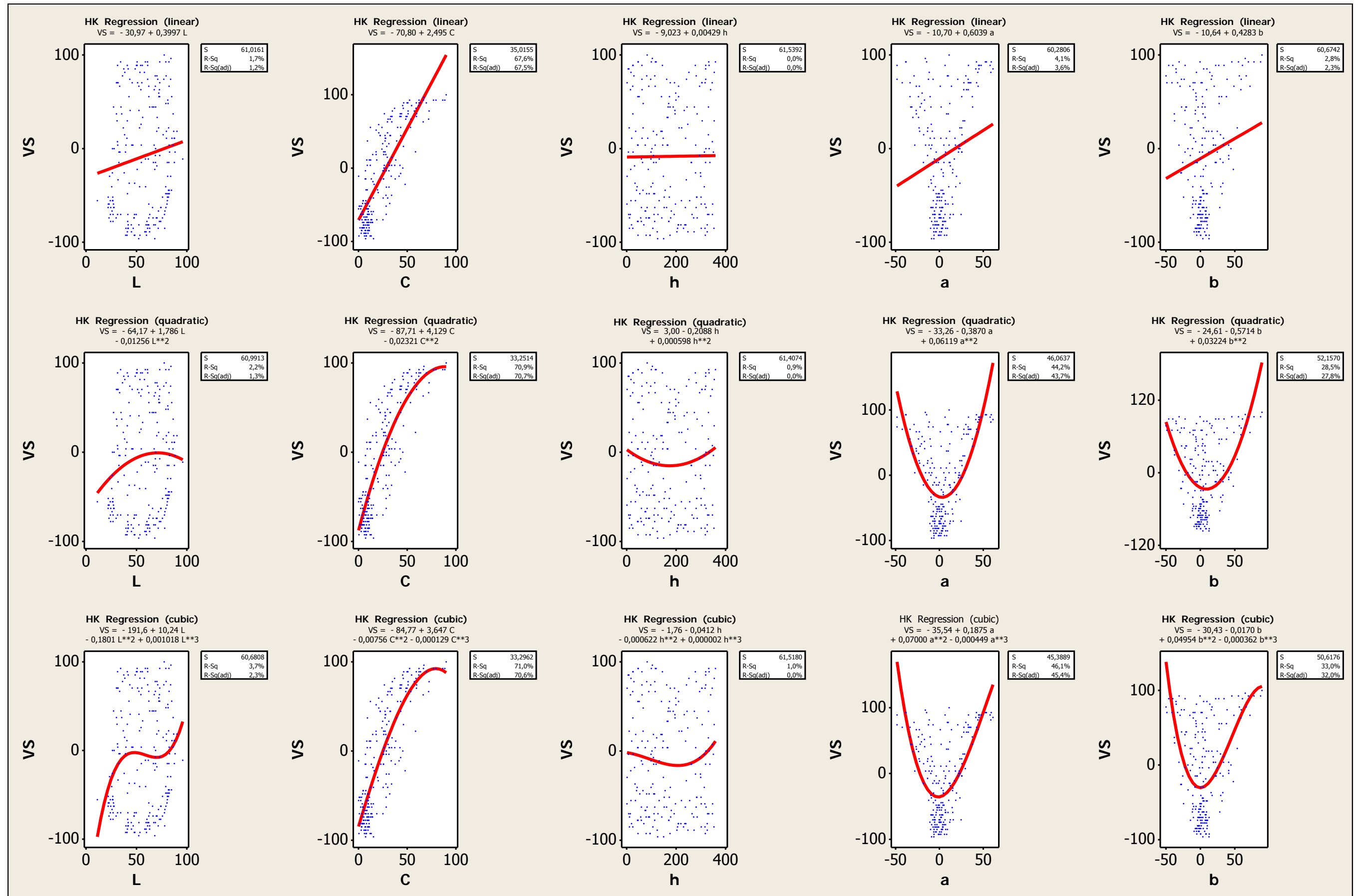


Fig. 115: Emoció associada al color VS/Hong Kong (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **PaDy** (passive-dynamic) (pasivo-dinámico)

La valoració estadística d'aquesta emoció està expressada en els valors de la cromaticitat (C) i en conseqüència, però en una proporció més baixa, als valors de la coordenada cromàtica *a*. (Fig. 116) (Fig. 117)

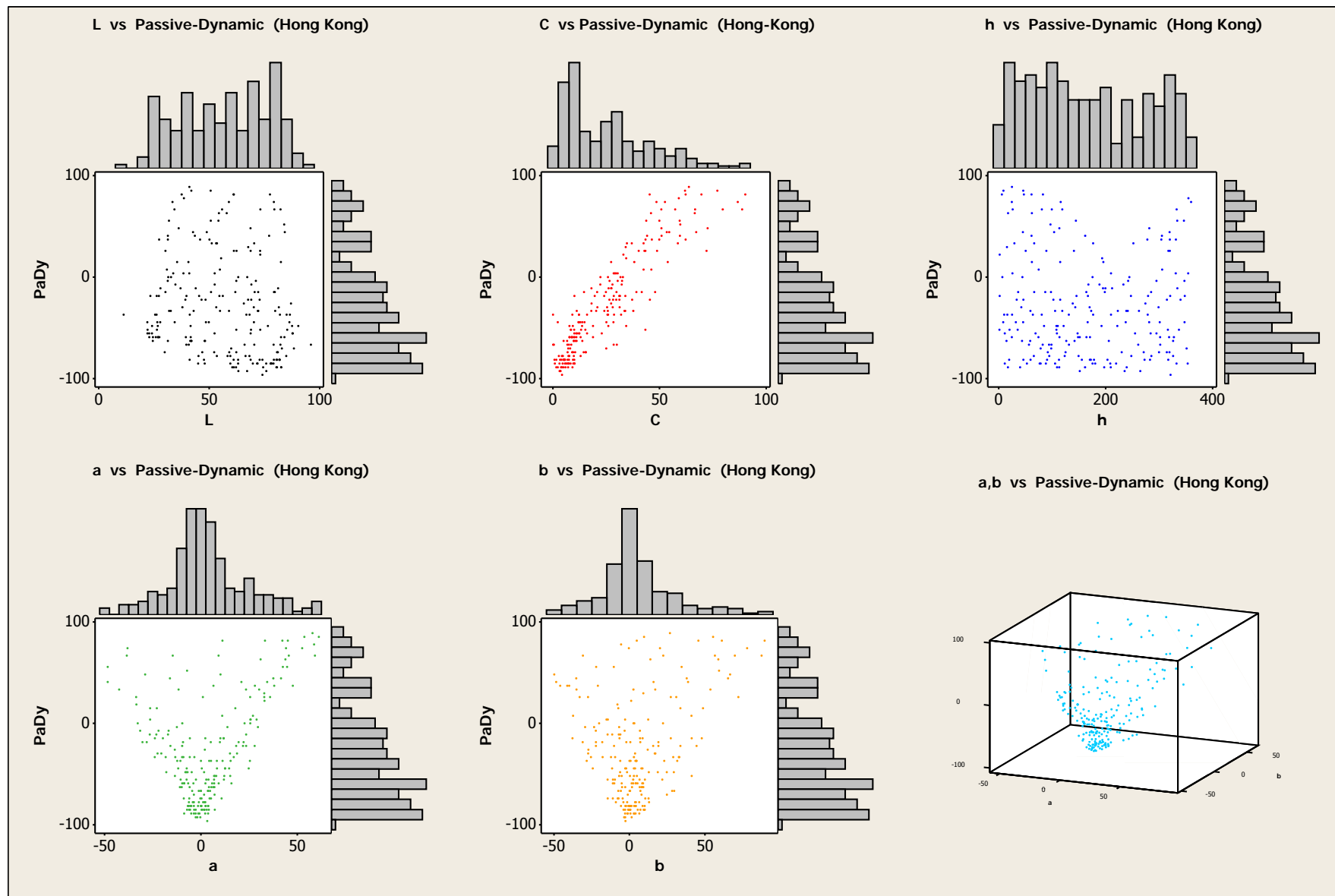


fig. 116. Emoció associada al color PaDy/Hong Kong (histogrames i gràfics de dispersió)

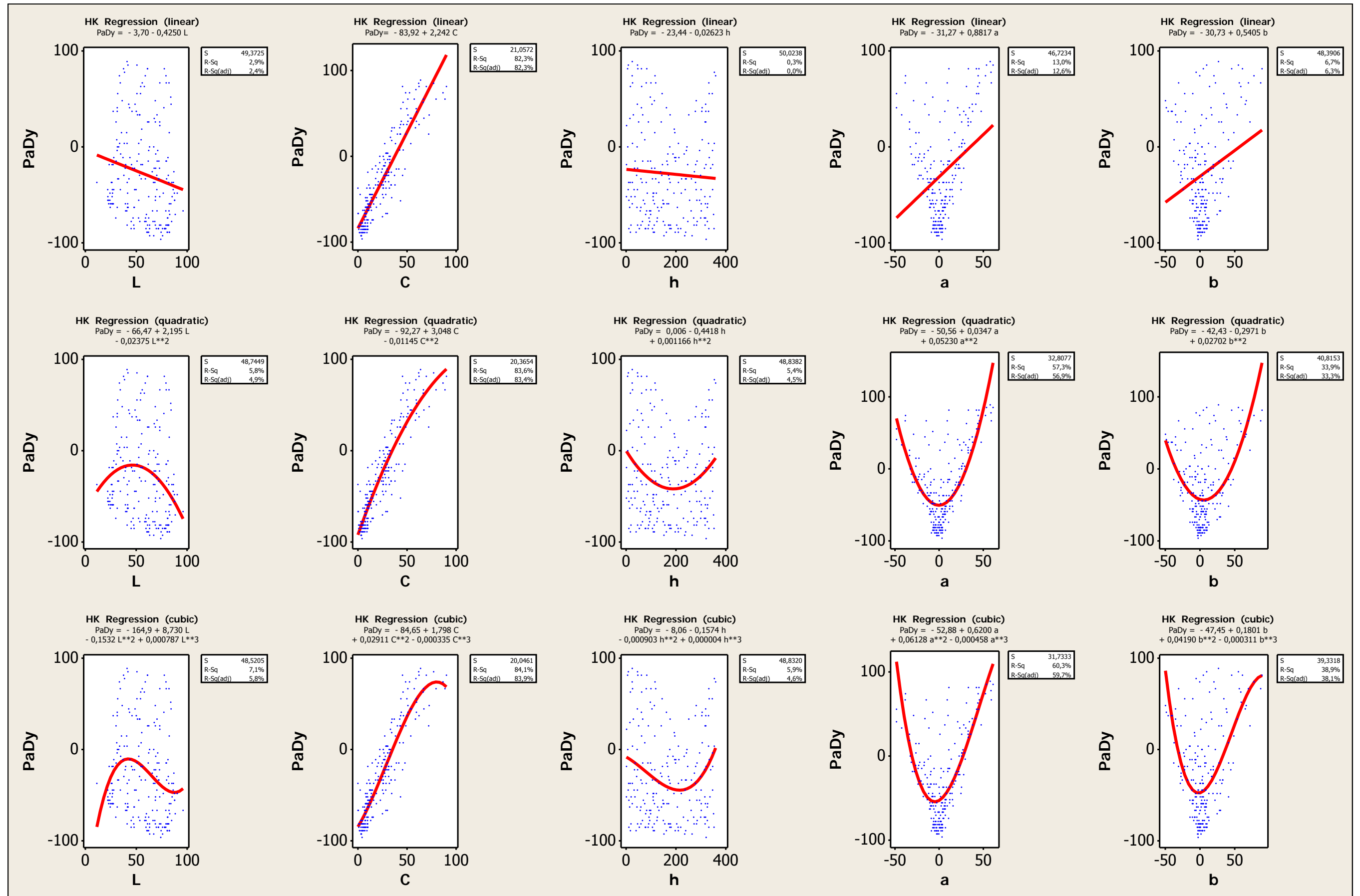


Fig. 117: Emoció associada al color PaDy/Hong Kong (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **GP** (gaudy-plain) (chillón-serio)

Aquesta valoració depèn claríssimament dels valors de la cromaticitat (C) de les mostres.

Com que la cromaticitat (C) és una combinació matemàtica dels valors de les coordenades cromàtiques (a , b), també s'observa en aquests valors de a i b una certa periodicitat. (Fig. 118) (Fig. 119)

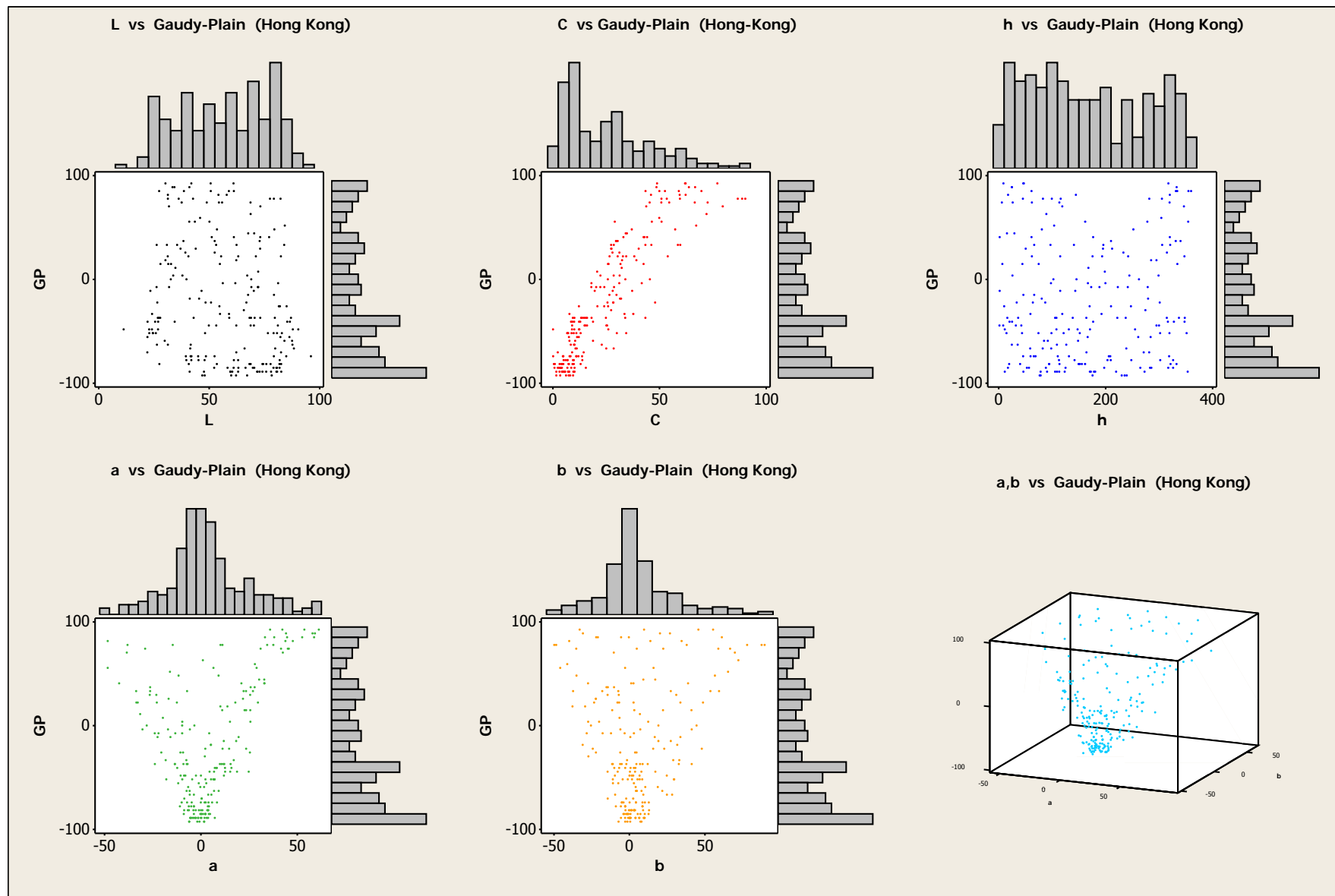


Fig. 118: Emoció associada al color GP/Hong Kong (histogrames i gràfics de dispersió)

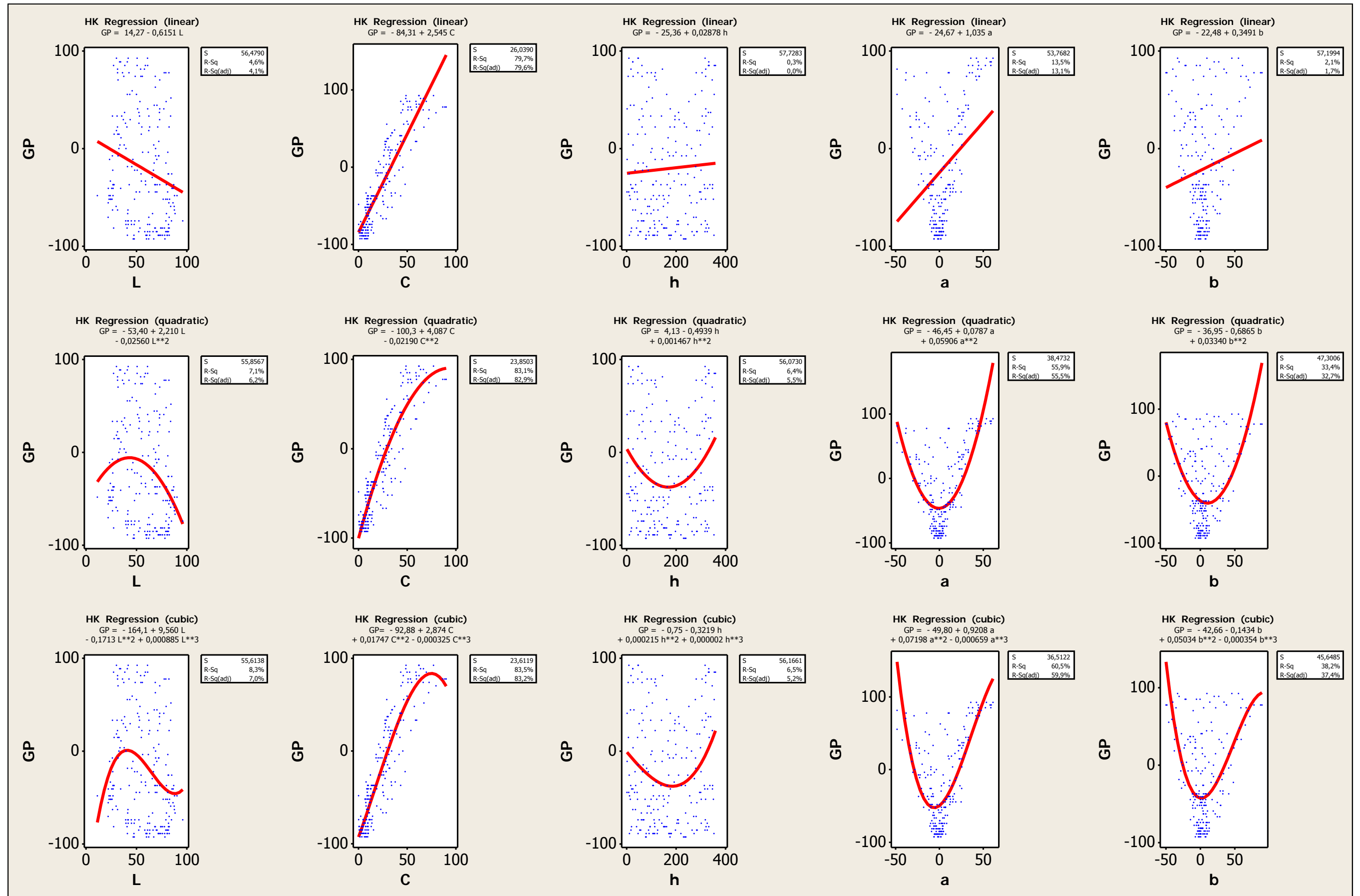


Fig. 119: Emoció associada al color GP/Hong Kong (gràfics i equacions de regressió)

Els [resultats qualitius](#) de Hong Kong (HK) es resumeixen en les taules següents (Taula 14):

HK	Paràmetre principal	Paràmetre secundari
LD (light-dark)	L C	a
SH (soft-hard)	L	-
WC (warm-cool)	C	a
DP (deep-pale)	L	-
VS (vivid-sombre)	C	a
PaDy (passive-dynamic)	C	a
GP (gaudy-plain)	C	a

Taula 14: Paràmetres colorimètrics principals i secundaris de les dades de Hong Kong

Paràmetres que tenen més influència (Taula 15):

HK	a	b	L	C	h
LD (light-dark)	sí	-	sí	sí	-
SH (soft-hard)	-	-	sí	-	-
WC (warm-cool)	sí	-	-	sí	-
DP (deep-pale)	-	-	sí	-	-
VS (vivid-sombre)	sí	-	-	sí	-
PaDy (passive-dynamic)	sí	-	-	sí	-
GP (gaudy-plain)	sí	-	-	sí	-
Total	5	-	3	5	-

Taula 15: Paràmetres colorimètrics que tenen més influència (Hong Kong)

Els [resultats quantitativs](#) es resumeixen en les taules següents:

De les fórmules matemàtiques obtingudes en la representació i en el càlcul de les corbes de regressió, ens queda constància dels coeficients lineals i quadràtics de cada coordenada cromàtica i, per tant, de la seva importància dins de l'equació que les relaciona amb la valoració psicològica d'una emoció associada a un determinat color (Taula 16).

COEFICIENTS LINEALS	COEFICIENTS QUADRÀTICS
---------------------	------------------------

HK	L	C	h	a	b	L L ²	C C ²	h h ²	a a ²	b b ²
LD	1,873	1,774	-0,06487	0,2214	0,6005	1,986 -0,001025	1,754 0,000294	-0,0125 -0,000147	-0,5267 0,04619	-0,0754 0,0218
SH	2,653	-0,4651	-0,0697	-0,6385	0,1498	2,363 0,002628	-0,9258 0,006544	0,2083 -0,00078	-0,4824 -0,00964	0,3602 -0,006786
WC	0,0284	1,732	-0,0912	1,060	0,6051	1,755 -0,01565	3,178 -0,02053	-0,7415 0,001825	0,5085 0,03405	0,1588 0,01439
DP	-3,371	0,5299	0,09798	0,7553	-0,4076	-2,364 -0,009132	2,034 -0,02137	-0,2826 0,001068	0,5289 0,01398	-0,6338 0,007295
VS	0,3997	2,495	0,00429	0,6039	0,4283	1,786 -0,01256	4,129 -0,02321	-0,2088 0,000598	-0,387 0,06119	-0,5714 0,03224
PaDy	-0,425	2,242	-0,0262	0,8817	0,5405	2,195 -0,02375	3,048 -0,01145	-0,4418 0,001166	0,0347 0,0523	-0,2971 0,02702
GP	-0,6151	2,545	0,02878	1,035	0,3491	2,210 -0,0256	4,087 -0,0219	-0,4939 0,001467	0,0787 0,05906	-0,6865 0,03340

Taula 16: Valors gràfics i equacions de regressió (Hong Kong)

Els valors del tant per cent de la confiança en l'exactitud dels resultats s'indiquen a continuació (Taula 17):

R-Sq (%) FÓRMULES LINEALS						R-Sq (%) FÓRMULES QUADRÀTIQUES				
HK	L	C	h	a	b	L	C	h	a	b
LD	36,0	33,0	1,2	0,5	5,3	36,0	33,0	1,3	22,6	16,7
SH	85,7	2,7	1,7	5,2	0,4	85,8	3,0	3,4	6,3	1,7
WC	0,0	61,4	4,8	23,5	10,5	1,6	66,3	20,4	47,0	20,2
DP	90,2	2,3	2,2	4,7	1,9	90,5	4,4	4,3	6,3	2,9
VS	1,7	67,6	0,0	4,1	2,8	2,2	70,9	0,9	44,2	28,5
PaDy	2,9	82,3	0,3	13,0	6,7	5,8	83,6	5,4	57,3	33,9
GP	4,6	79,7	0,3	13,5	2,1	7,1	83,1	6,4	55,9	33,4

Taula 17: R-Sq (%) dels valors gràfics i equacions de regressió (Hong Kong)

Una segona aproximació als [resultats quantitius](#) i a l'ajustament de fórmules matemàtiques la basem en una anàlisi de regressió lineal que correspongui a la fórmula general de (Equació 6):

$$\text{CEI (colour emotion index)} = x_1 L + y_1 C + z_1 h + c_1$$

Equació 6: Segona aproximació als resultats quantitius

Els resultats obtinguts són els següents (Taula 18):

CEI	Fórmula (HK)	R-Sq
LD	2,09 L + 1,94 C + 0,0661 h - 184	74,9
SH	2,71 L - 0,27 C + 0,0544 h - 152	87,8
WC	0,0548 L + 1,71 C - 0,0605 h - 48,3	63,7
DP	- 3,44 L + 0,287 C - 0,0603 h + 196	91,8
VS	0,672 L + 2,57 C + 0,0786 h - 124	72,7
PaDy	-0,287 L + 2,22 C - 0,0032 h - 66,6	83,6
GP	-0,38 L + 2,55 C + 0,0527 h - 71,5	83,1

Taula 18: Valors de l'equació 6 (Hong Kong)

Resumint-ho en una taula de valors matemàtics (Taula 19):

COEFICIENTS LINEALS				R-Sq (%)
HK	L	C	h	%
LD	2,09	1,94	0,0661	74,9
SH	2,71	-0,27	0,0544	87,8
WC	0,0548	1,71	-0,0605	63,7
DP	-3,44	0,287	-0,0603	91,8
VS	0,672	2,57	0,0786	72,7
PaDy	-0,287	2,22	-0,0032	83,6
GP	-0,38	2,55	0,0527	83,1

Taula 19: Coeficients lineals i R-Sq (%) dels valors de l'equació 6 (Hong Kong)

Una tercera aproximació als [resultats quantitius](#) i a l'ajustament de fórmules matemàtiques la basem en una anàlisi de regressió lineal que correspongui a la fórmula general de (Equació 7):

$$\text{CEI (colour emotion index)} = x_1 L + y_1 C^n + z_1 h + c_1$$

Equació 7: Tercera aproximació als resultats quantitius

Els resultats obtinguts són els següents (Taula 20):

CEI	Fórmula (HK)	R-Sq (%)
LD	$2,13 L + 6,58 C^{0,72} + 6,70 h - 202,14$	75,60
SH	$2,71 L - 1,08 C^{0,63} + 5,56h - 151,02$	87,42
WC	$0,13 L + 17,32 C^{0,50} - 5,83 h - 90,48$	68,11
DP	$- 3,42 L + 1,58 C^{0,60} - 6,07 h + 192,41$	91,72
VS	$0,75 L + 14,34 C^{0,62} + 8,07 h - 163,33$	75,57
PaDy	$- 0,26 L + 4,09 C^{0,86} - 2,80 h - 75,80$	83,92
GP	$- 0,32 L + 8,24 C^{0,73} + 0,05 h - 94,56$	84,31

Taula 20: Valors de l'equació 7 (Hong Kong)

Resumint-ho en una taula de valors matemàtics (Taula 21):

COEFICIENTS LINEALS					R-Sq (%)
HK	L	C	n	h	%
LD	2,13	6,58	0,72	6,70	75,60
SH	2,71	-1,08	0,63	5,56	87,42
WC	0,13	17,32	0,50	-5,83	68,11
DP	-3,42	1,58	0,60	-6,07	91,72
VS	0,75	14,34	0,62	8,07	75,57
PaDy	-0,26	4,09	0,86	-2,80	83,92
GP	-0,32	8,24	0,73	0,05	84,31

Taula 21: Coeficients lineals i R-Sq (%) dels valors de l'equació 7 (Hong Kong)

6.2. Resum i conclusions respecte de les dades i dels resultats del model de Hong Kong

En aquest model també és molt important comprovar que, en **tots els casos** estudiats, les avaluacions subjectives de propietats no físiques associades als colors segueixen un **patró** que pot ser determinat o **expressat matemàticament** mitjançant paràmetres que es corresponen a mesures físiques i instrumentals dels colors.

Per tant, l'associació de qualificatius subjectius o apreciacions psicològiques a colors **també és quantificable en el cas de les dades de Hong Kong.**

En segon lloc, constatem l'existència de tres grans grups segons quins siguin els tipus de paràmetres més influents en la definició de la qualitat psicològica associada al color.

Les emocions estudiades poden associar-se a:

- Paràmetres acromàtics (L), que bàsicament indiquen intensitat, però en què el paràmetre h també té influència, encara que és més petita:
 - SH
 - DP

- Paràmetres acromàtics (L) i paràmetres cromàtics (C, h):
 - LD

- Paràmetres cromàtics (C, h), que bàsicament indiquen coloració o propietats associades al color pròpiament dit:
 - WC
 - VS
 - PaDy

- Paràmetre cromàtic (C):
 - GP

En els casos concrets estudiats, la majoria d'emocions descrites tenen com a influència i qualificació paràmetres dels anomenats cromàtics, el principal dels quals és la cromaticitat (C).

7. ESTUDI
ESTADÍSTIC
DE LES DADES
OBTINGUDES
AL JAPÓ

HONDA

The Power of Dreams

Fig. 120 ¹⁴⁸

7.1. Obtenció de fórmules matemàtiques, representacions gràfiques i models colorimètrics associats al model del Japó

Per comprovar el grau de significació matemàtica dels resultats obtinguts, s'han fet representacions estadístiques gràfiques d'aquests resultats. Bàsicament consisteixen en la distribució (incloent-hi l'histograma) de les dades experimentals respecte dels paràmetres colorimètrics mesurats i la representació de les equacions de regressió (lineal, quadràtica i cúbica).

Els gràfics obtinguts es mostren a continuació, amb un comentari d'interpretació.

Emoció associada al color **LD** (light-dark) (claro-oscuro)

Emoció associada exclusivament als valors de la coordenada de la lluminositat (L) i de la cromaticitat (C).

També, en menys grau, a les coordenades *a* i *b*. (Fig. 121) (Fig. 122)

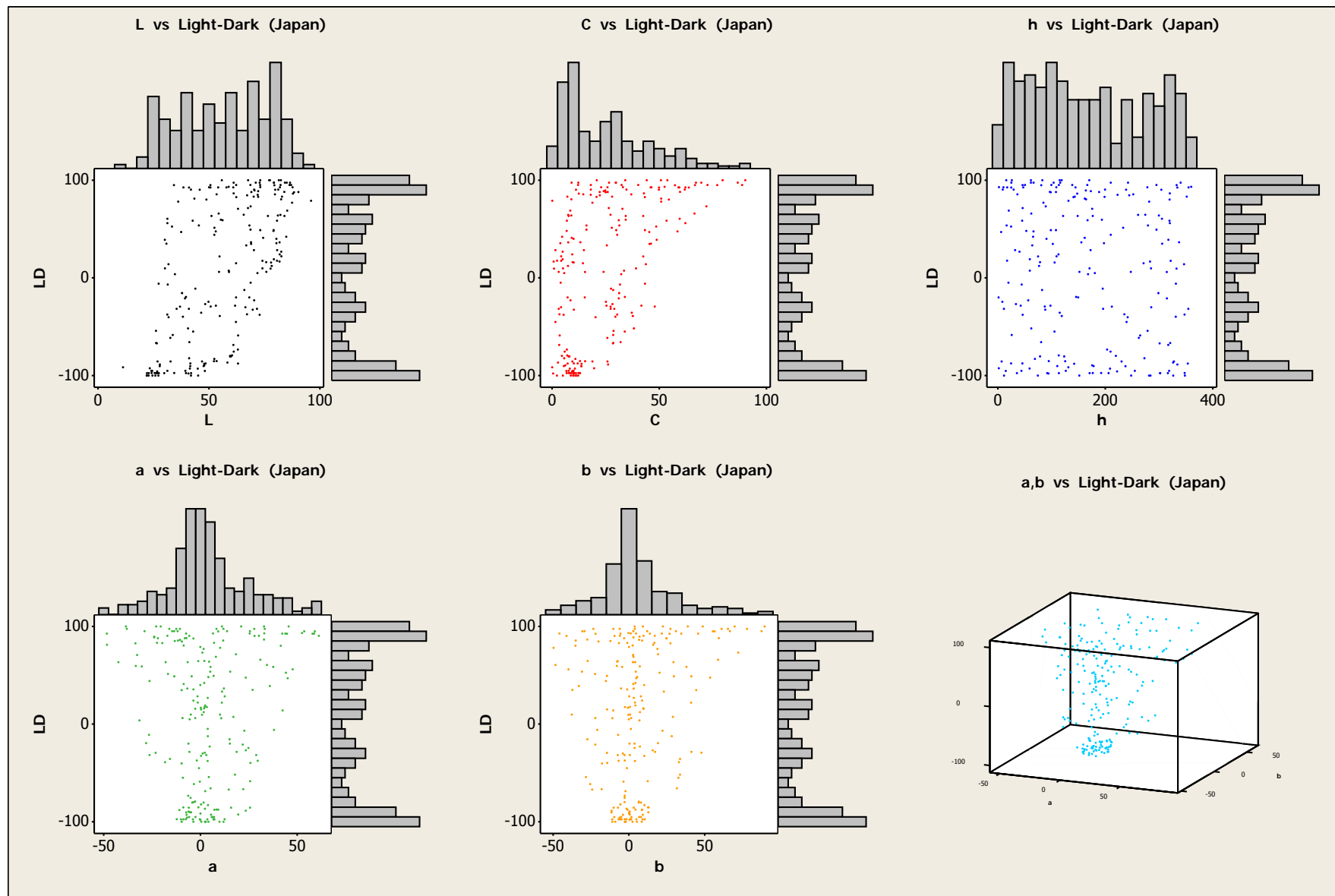


Fig. 121: Emoció associada al color LD/Japó (histogrames i gràfics de dispersió)

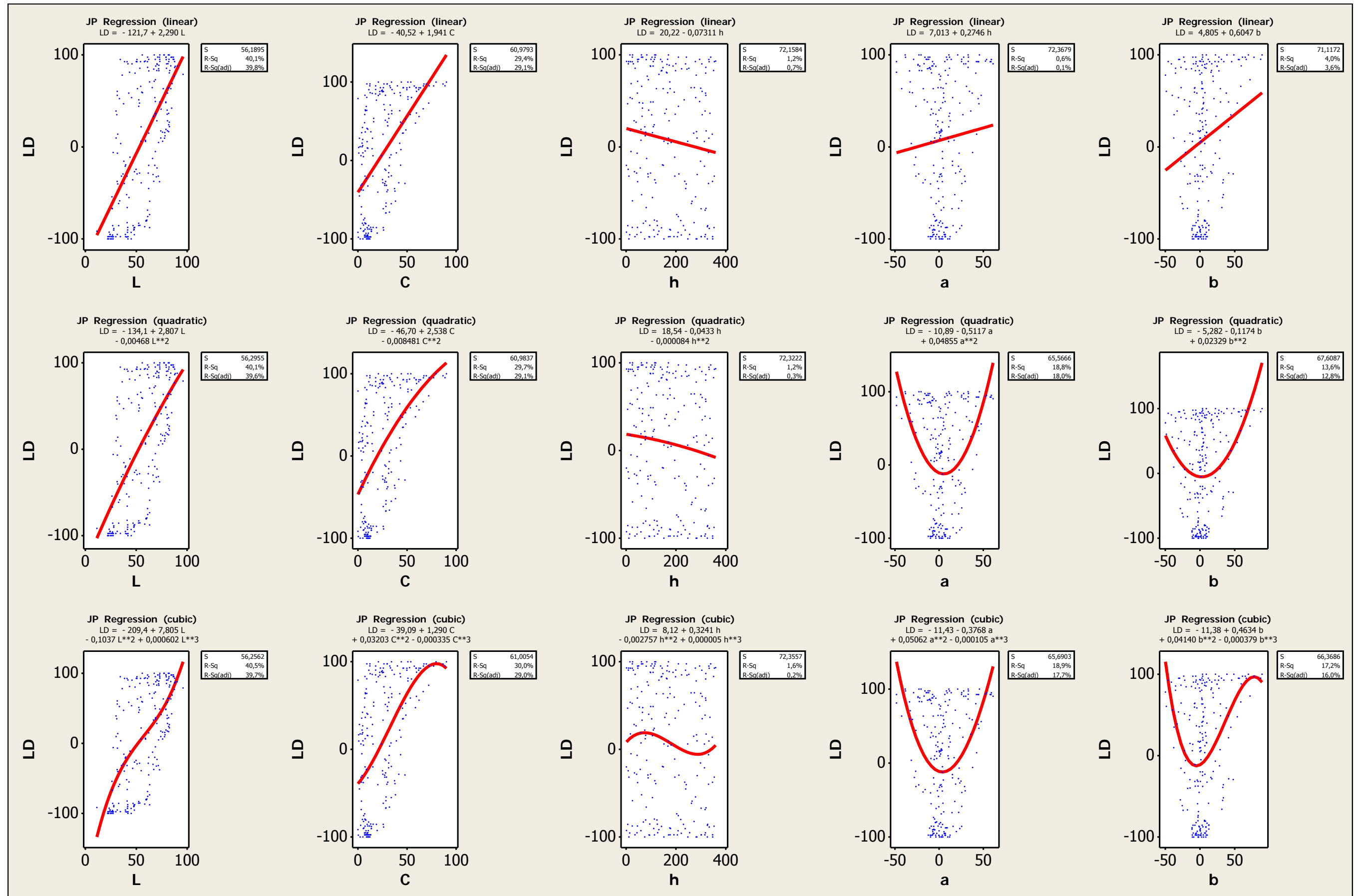


Fig. 122: Emoció associada al color LD/Japó (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **SH** (soft-hard) (suave-duro)

Les valoracions de l'emoció associada a SH s'expressen quasi totalment en els valors de la coordenada de lluminositat L . (Fig. 123) (Fig. 124)

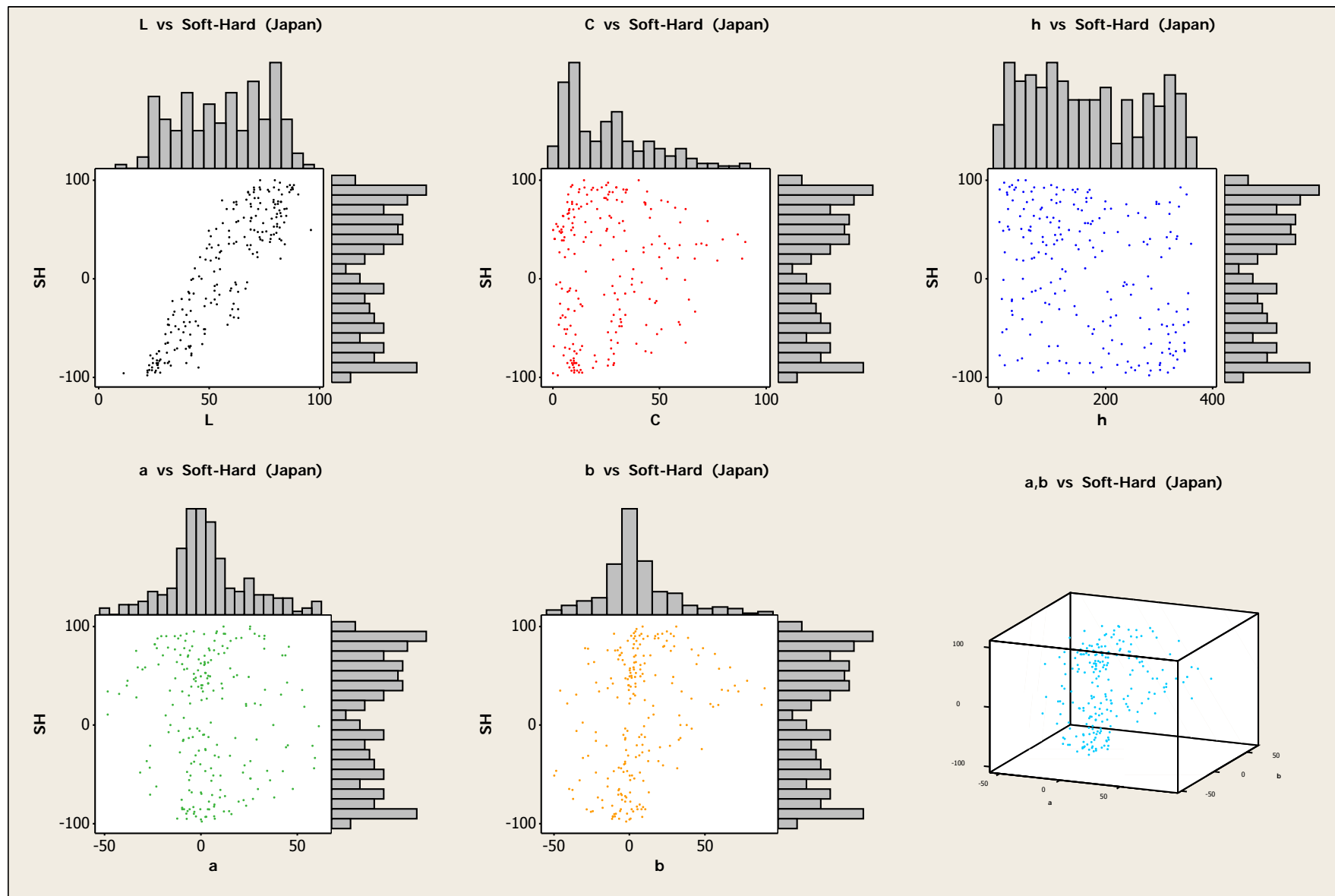


Fig. 123: Emoció associada al color SH/Japó (histogrames i gràfics de dispersió)

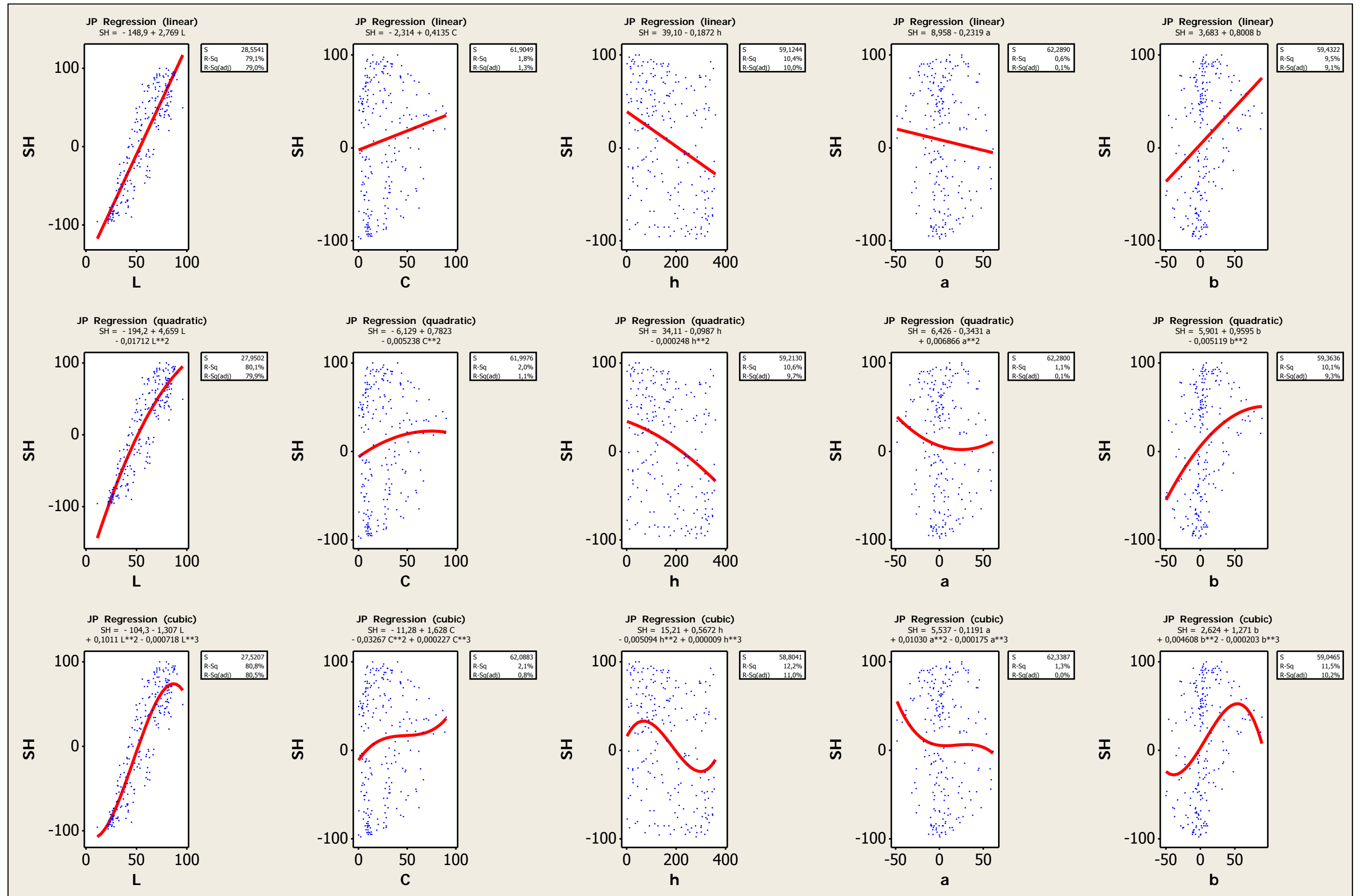


Fig. 124: Emoció associada al color SH/Japó (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **WC** (warm-cold) (caliente-frío)

En aquest cas, les valoracions fetes pels observadors depenen de la coordenada L . (Fig. 125)
(Fig. 126)

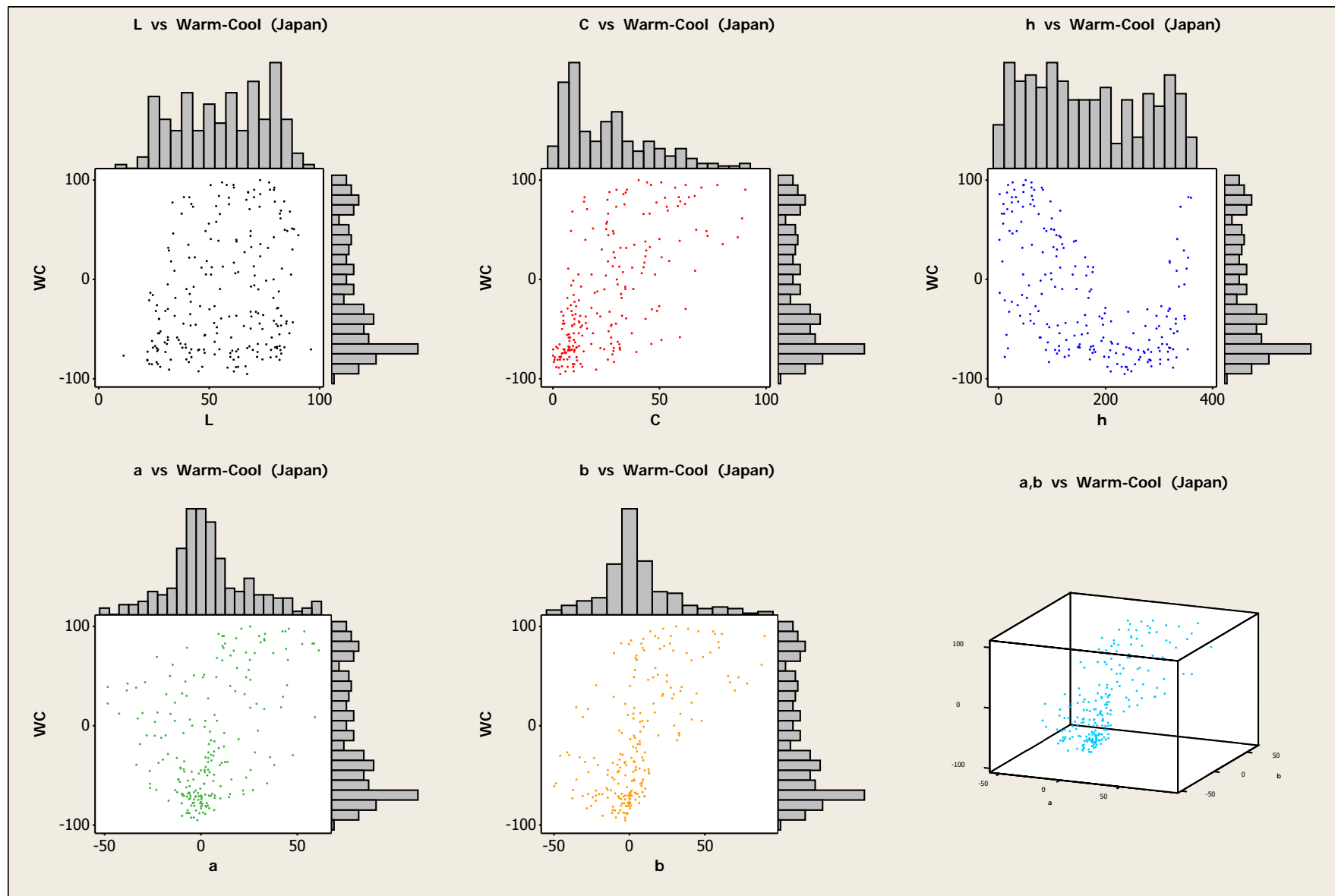


Fig. 125: Emoció associada al color WC/Japó (histogrames i gràfics de dispersió)

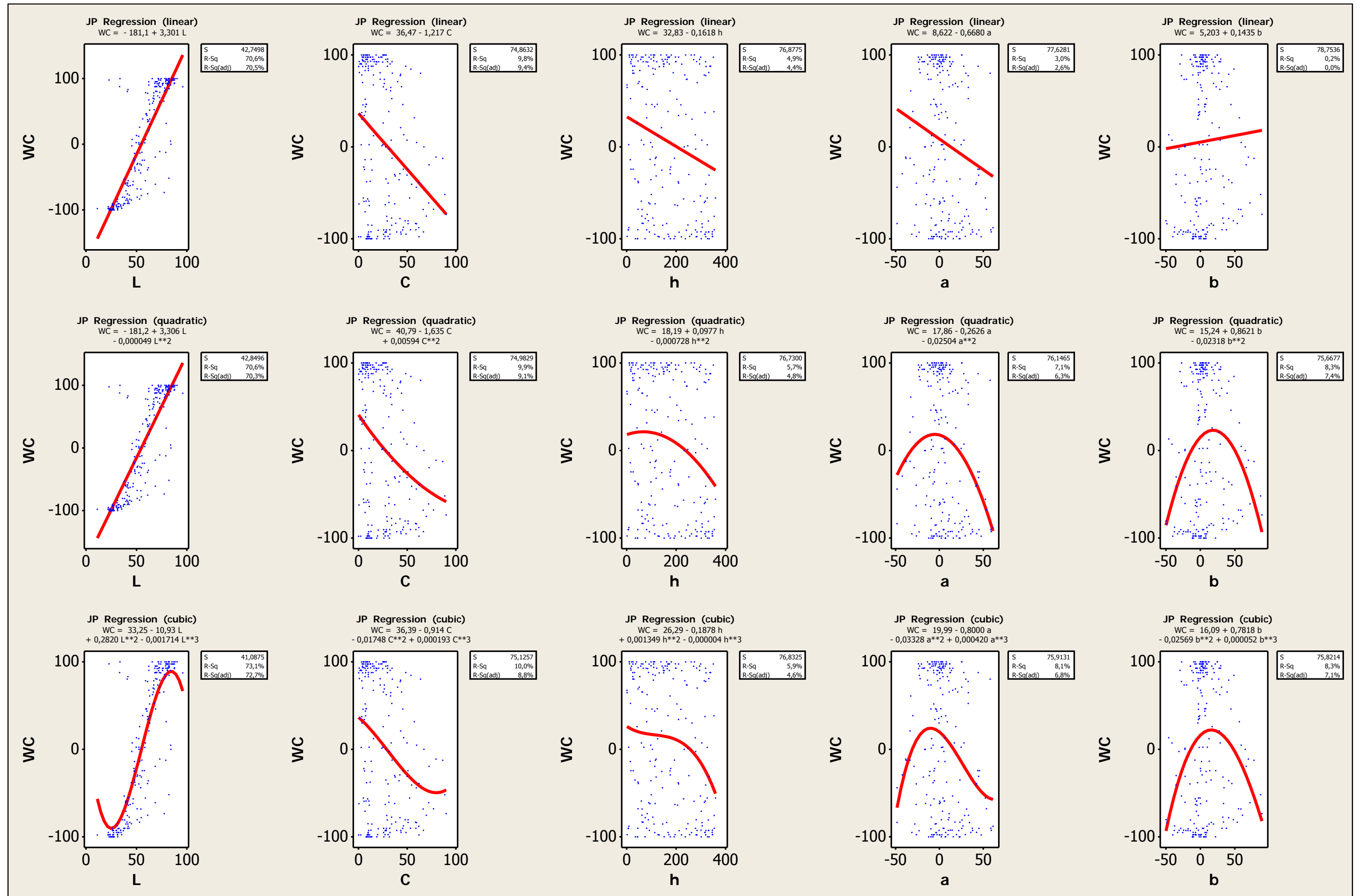


Fig. 126: Emoció associada al color WC/Japó (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **DP** (deep-pale) (intenso-pálido)

En aquest cas, l'única dependència o relació entre la qualificació de les mostres i la seva definició matemàtica ve donada pel valor de la lluminositat (L). (Fig. 127) (Fig. 128)

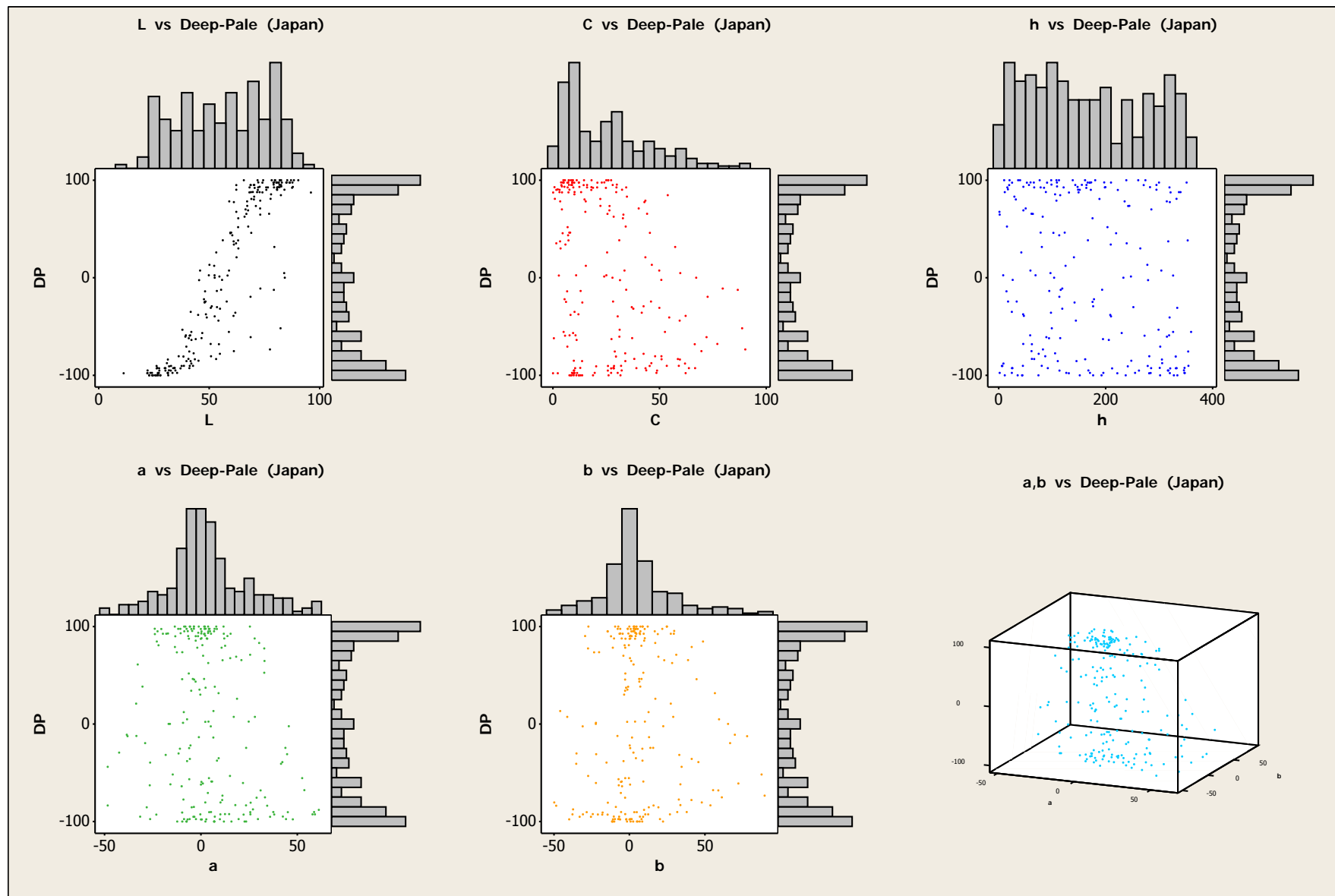


Fig. 127: Emoció associada al color DP/Japó (histogrames i gràfiques de dispersió)

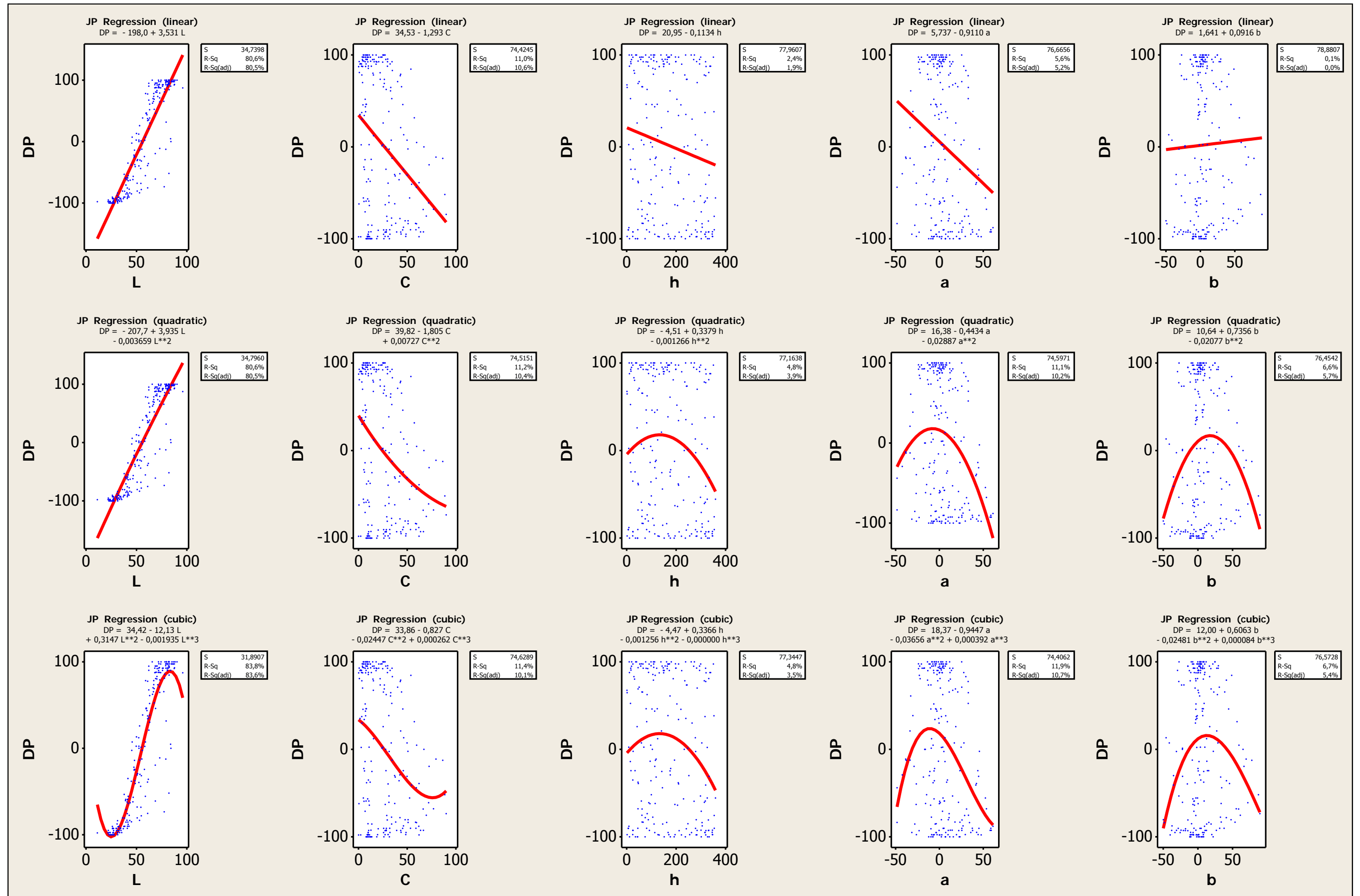


Fig. 128: Emoció associada al color DP/Japó (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **VS** (vivid-sombre) (vivo-apagado)

Valoracions de l'emoció que responen a la dependència a la cromaticitat (C) i, en molt menys grau, a les coordenades cromàtiques a i b , especialment a la variable a . (Fig. 129) (Fig. 130)

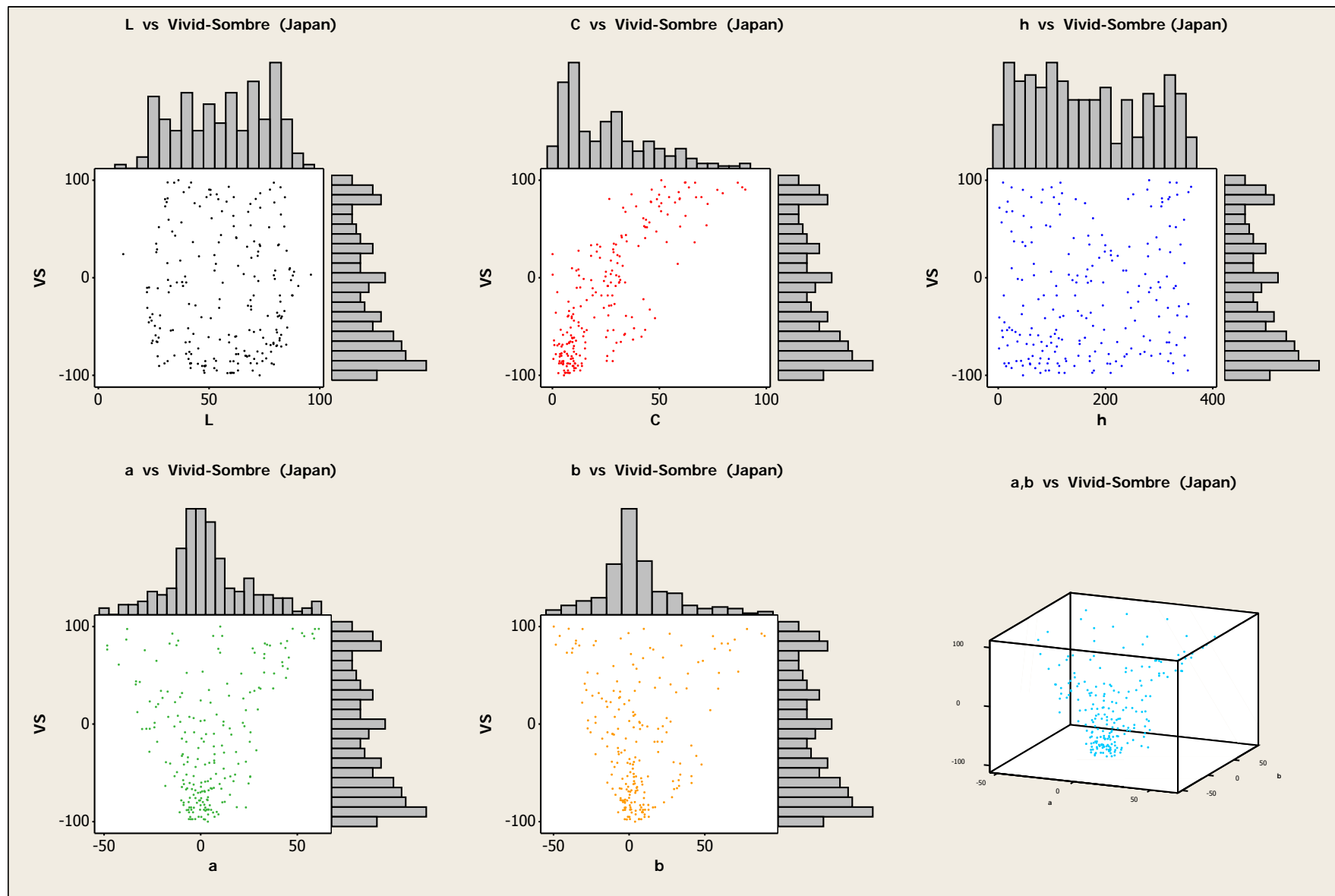


Fig. 129: Emoció associada al color VS/Japó (histogrames i gràfics de dispersió)

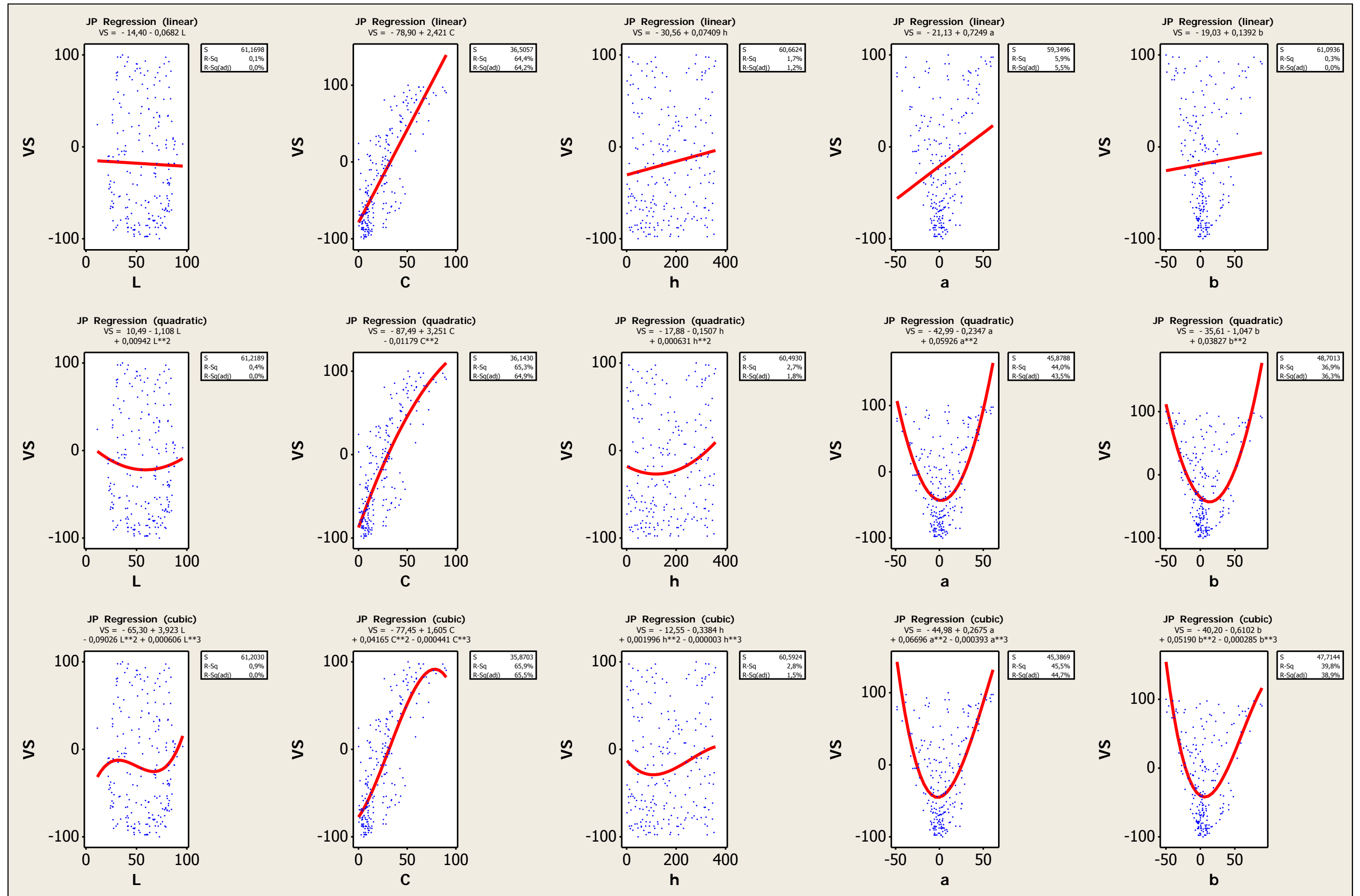


Fig. 130: Emoció associada al color VS/Japó (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **PaDy** (passive-dynamic) (pasivo-dinámico)

La valoració estadística d'aquesta emoció està expressada en els valors de la cromaticitat (C), i en conseqüència, però en proporció més baixa, al valor de la coordenada cromàtica *a*.
(Fig. 131) (Fig. 132)

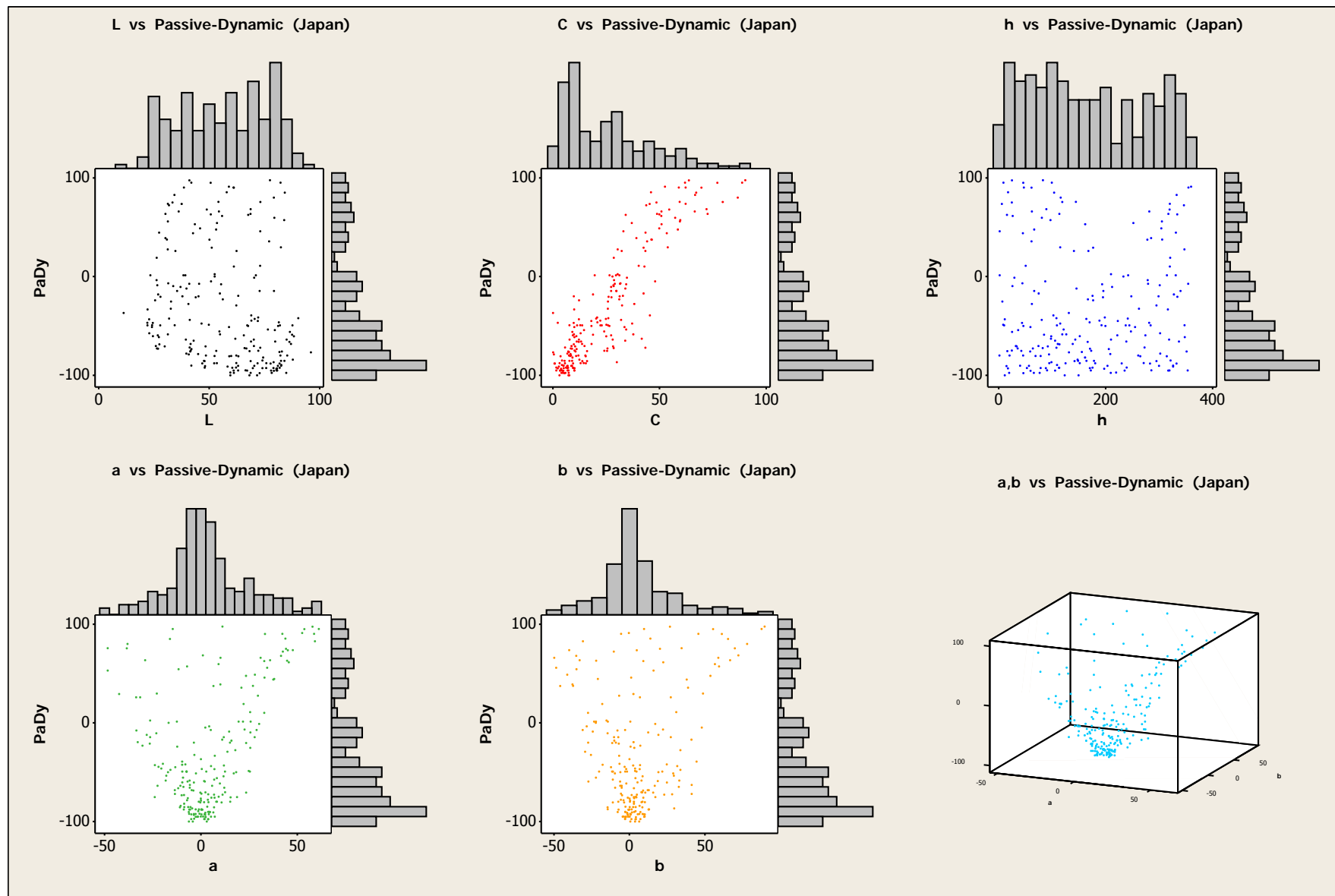


Fig. 131: Emoció associada al color PaDy/Japó (histogrames i gràfics de dispersió)

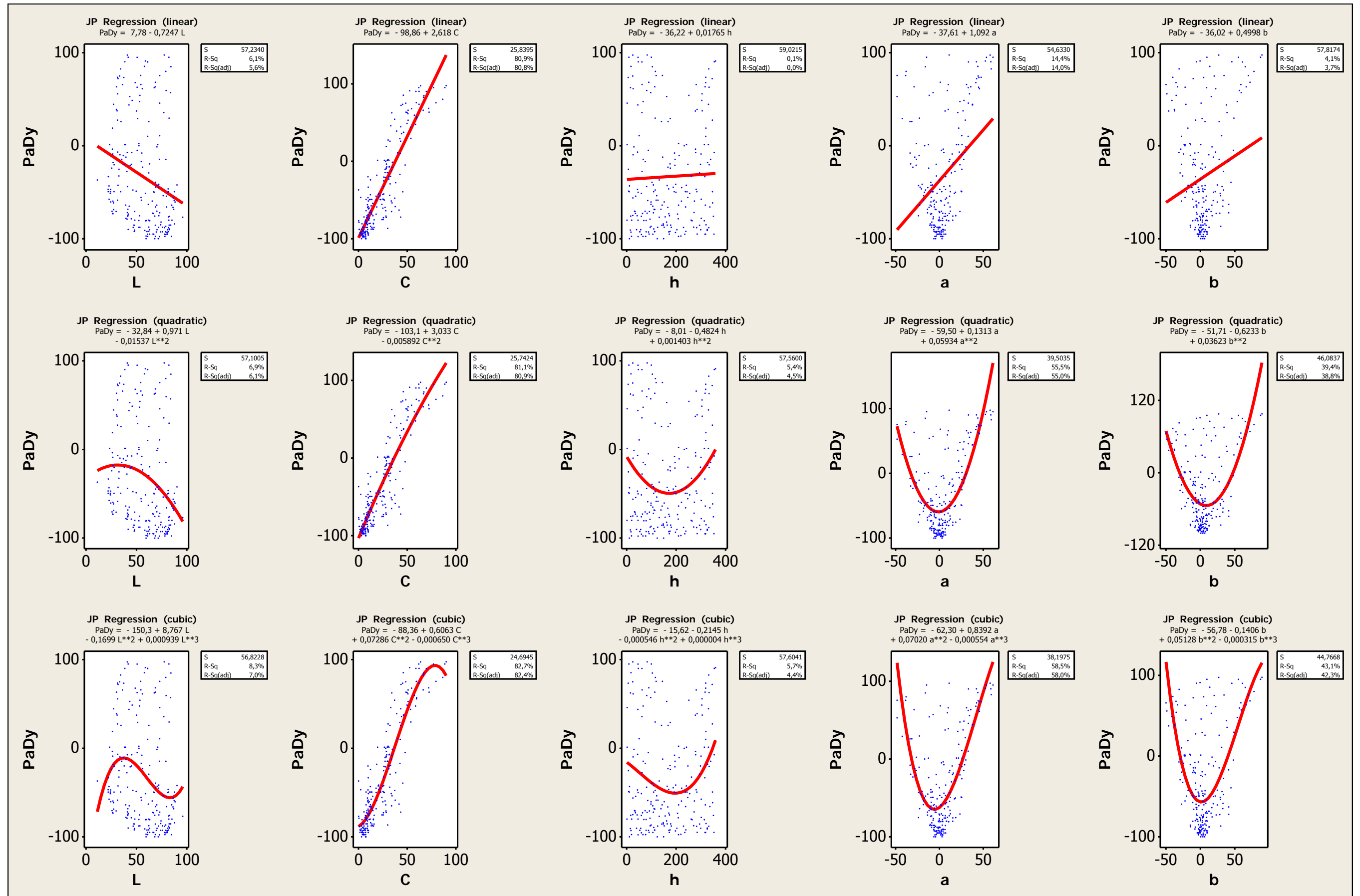


Fig 132: Emoció associada al color PaDy/Japó (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **GP** (gaudy-plain) (chillón-serio)

Aquesta valoració depèn claríssimament dels valors de la cromaticitat (C) de les mostres.

Com que la cromaticitat (C) és una combinació matemàtica dels valors de les coordenades cromàtiques (a, b), també s'observa en valors de a una certa periodicitat. (Fig. 133) (Fig. 134)

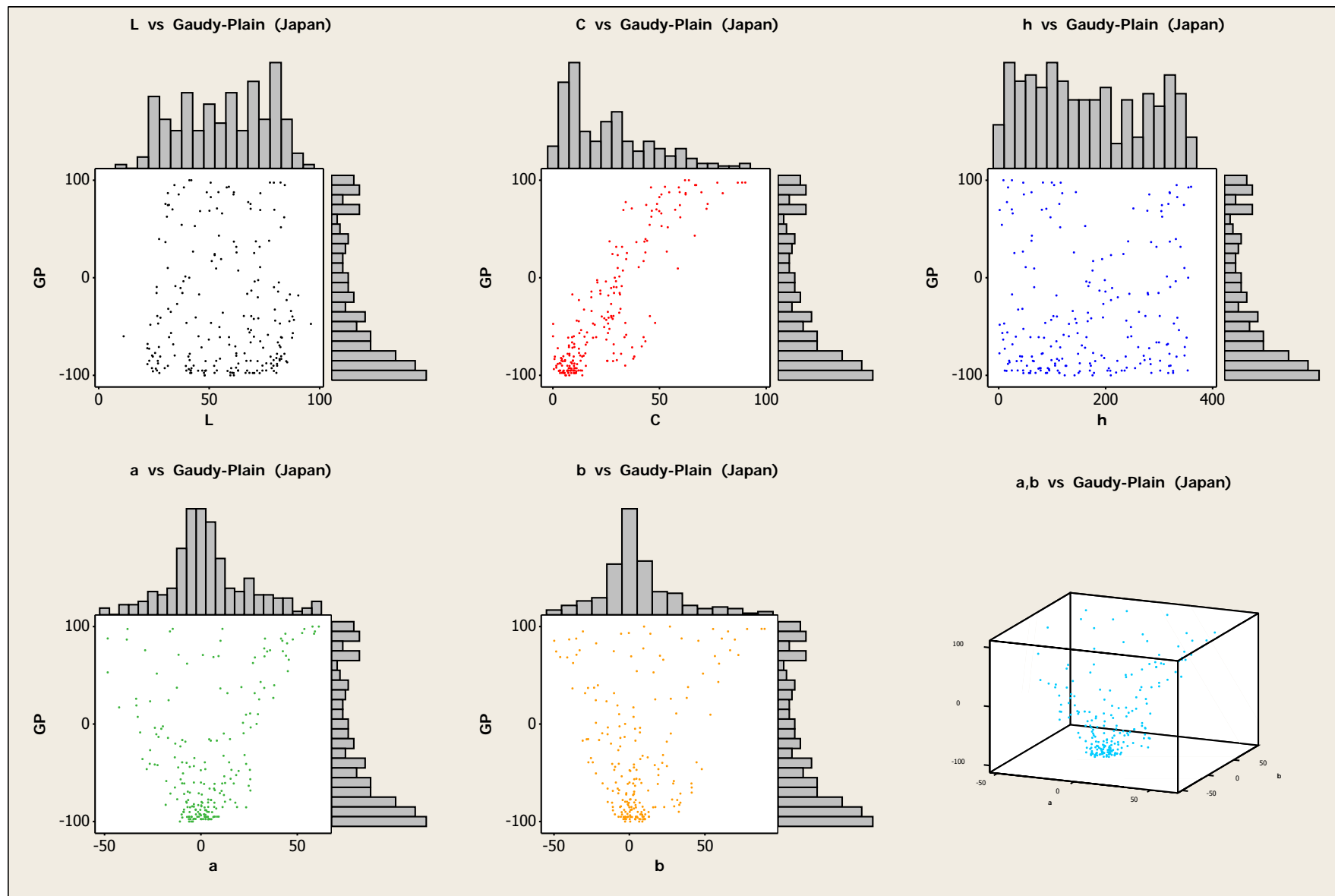


Fig. 133: Emoció associada al color GP/Japó (histogrames i gràfics de dispersió)

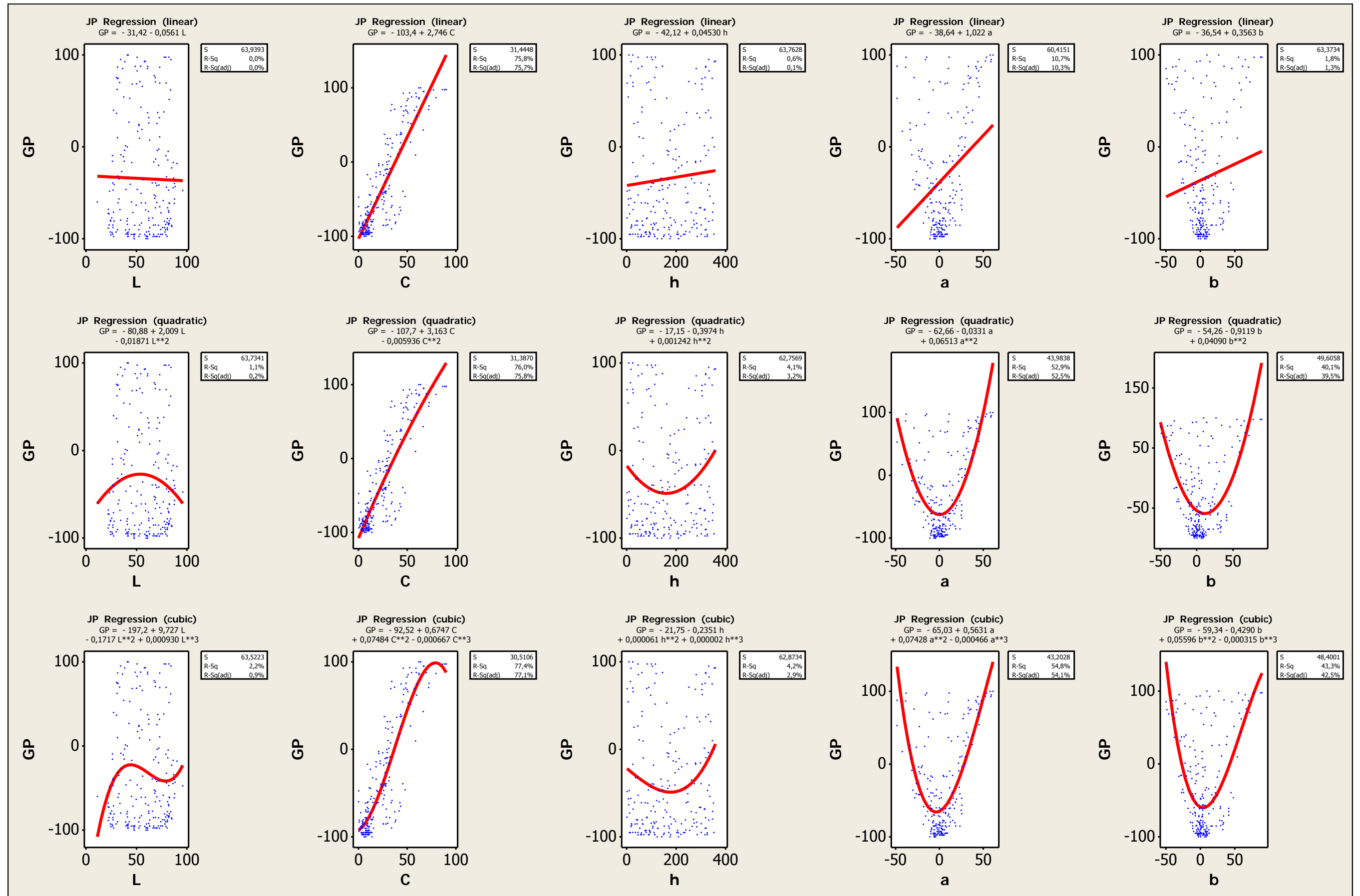


Fig. 134: Emoció associada al color GP/Japó (gràfics i equacions de regressió)

Els [resultats qualitius](#) del Japó (JP) es poden resumir en les taules següents (Taula 22):

JP	Paràmetre principal	Paràmetre secundari
LD (light-dark)	L	C
SH (soft-hard)	L	-
WC (warm-cool)	L	-
DP (deep-pale)	C	a b
VS (vivid-sombre)	C	a
PaDy (passive-dynamic)	C	a
GP (gaudy-plain)	C	a

Taula 22: Paràmetres colorimètrics principals i secundaris de les dades del Japó

Paràmetres que tenen més influència (Taula 23):

JP	a	b	L	C	h
LD (light-dark)	-	-	sí	-	-
SH (soft-hard)	-	-	sí	-	-
WC (warm-cool)	sí	sí	-	sí	sí
DP (deep-pale)	sí	sí	sí	sí	-
VS (vivid-sombre)	sí	sí	-	sí	-
PaDy (passive-dynamic)	sí	sí	-	sí	-
GP (gaudy-plain)	sí	sí	-	sí	-
Total	5	5	3	5	1

Taula 23: Paràmetres colorimètrics que tenen més influència (Japó)

Els [resultats quantitius](#) es poden resumir en les taules següents:

De les fórmules matemàtiques obtingudes en la representació i en el càlcul de les corbes de regressió, ens queda constància dels coeficients lineals i quadràtics de cada coordenada cromàtica i, per tant, de la seva importància dins de l'equació que les relaciona amb la valoració psicològica d'una emoció associada a un determinat color (Taula 24).

COEFICIENTS LINEALS	COEFICIENTS QUADRÀTICS
---------------------	------------------------

JP	L	C	h	a	b	L L ²	C C ²	h h ²	a a ²	b b ²
LD	2,290	1,941	-0,0731	0,2746	0,6047	2,807 -0,00468	2,538 -0,008481	-0,0433 -0,000084	-0,5117 0,04855	-0,1174 0,02329
SH	2,769	0,4135	-0,1872	-0,2319	0,8008	4,659 -0,01712	0,7823 -0,005238	-0,0987 -0,000248	-0,3431 0,006866	0,9595 -0,005119
WC	3,301	-1,217	-0,1617	-0,668	0,1435	3,306 -0,000049	-1,635 0,00594	0,0977 -0,000728	-0,2626 -0,02504	0,8621 -0,02318
DP	3,531	-1,293	-0,1134	-0,911	0,0916	3,935 -0,003659	-1,805 0,00727	0,3379 -0,001266	-0,4434 -0,02887	0,7356 -0,02077
VS	-0,0682	2,421	0,07409	0,7249	0,1392	-1,108 0,00942	3,251 -0,01179	-0,1507 0,000631	-0,2347 0,05926	-1,047 0,03827
PaDy	-0,7247	2,618	0,01765	1,092	-10,4998	0,971 -0,01537	3,033 -0,005892	-0,4824 0,001403	0,1313 0,05934	-0,6233 0,03623
GP	-0,0561	2,746	0,0453	1,022	0,3563	2,009 -0,01871	3,163 -0,00593	-0,3974 0,001242	-0,0331 0,06513	-0,9119 0,0409

Taula 24: Valors gràfics i equacions de regressió (Japó)

Els valors del tant per cent de la confiança en l'exactitud dels resultats s'indiquen a continuació (Taula 25):

R-Sq (%) FÓRMULES LINEALS						R-Sq (%) FÓRMULES QUADRÀTIQUES				
JP	L	C	h	a	b	L	C	h	a	b
LD	40,1	29,4	1,2	0,6	4,0	40,1	29,7	1,2	18,8	13,6
SH	79,1	1,8	10,4	0,6	9,5	80,1	2,0	10,6	1,1	10,1
WC	70,6	9,8	4,9	3,0	0,2	70,6	9,9	5,7	7,1	8,3
DP	0,1	64,4	1,7	5,9	0,3	0,4	65,3	2,7	44,0	36,9
VS	6,1	80,9	0,1	14,4	4,1	6,9	81,1	5,4	55,5	39,4
PaDy	6,1	80,9	0,1	14,4	4,1	6,9	81,1	5,4	55,5	39,4
GP	0,0	75,8	0,6	10,7	1,8	1,1	46,0	4,1	52,9	40,1

Taula 25: R-Sq (%) dels valors gràfics i equacions de regressió (Japó)

Una segona aproximació als [resultats quantitius](#) i a l'ajustament de fórmules matemàtiques la basem en una anàlisi de regressió lineal que correspongui a la fórmula general de (Equació 8):

$$\text{CEI (colour emotion index)} = x_1 L + y_1 C + z_1 h + c_1$$

Equació 8: Segona aproximació als resultats quantitius

Els resultats obtinguts són els següents (Taula 26):

CEI	Fórmula (JP)	R-Sq
LD	2,54 L + 2,14 C + 0,0527 h - 203	75,5
SH	2,74 L + 0,563 C - 0,048 h - 153	83,4
WC	0,507 L + 1,83 C - 0,218 h - 55,5	65,9
DP	3,51 L - 1,06 C + 0,0358 h - 176	88,5
VS	0,266 L + 2,50 C + 0,128 h - 117	69,2
PaDy	-0,508 L + 2,60 C + 0,0365 h - 75,7	84,9
GP	0,266 L + 2,81 C + 0,104 h - 137	78,8

Taula 26: Valors de l'equació 8 (Japó)

Resumint-ho en una taula de valors matemàtics (Taula 27):

COEFICIENTS LINEALS				R-Sq (%)
JP	L	C	h	%
LD	2,54	2,14	0,0527	75,5
SH	2,74	0,563	-0,048	83,4
WC	0,507	1,83	-0,218	65,9
DP	3,51	-1,06	0,0358	88,5
VS	0,266	2,50	0,128	69,2
PaDy	-0,508	2,60	0,0365	84,9
GP	0,266	2,81	0,104	78,8

Taula 27: Coeficients lineals i R-Sq (%) dels valors de l'equació 8 (Japó)

Una tercera aproximació als [resultats quantitius](#) i a l'ajustament de fórmules matemàtiques la basem en una anàlisi de regressió lineal que correspongui a la fórmula general de (Equació 9):

$$\text{CEI (colour emotion index)} = x_1 L + y_1 C^n + z_1 h + c_1$$

Equació 9: Tercera aproximació als resultats quantitius

Els resultats obtinguts són els següents (Taula 28):

CEI	Fórmula (JP)	R-Sq (%)
LD	$2,61 L + 13,91 C^{0,59} + 8,48 h - 240,68$	77,44
SH	$2,74 L + 39,19 C^{0,21} - 4,48 h - 213,40$	85,52
WC	$0,59 L + 20,78 C^{0,48} - 0,21 h - 104,46$	69,04
DP	$3,49 L - 3,76 C^{0,70} + 3,71 h - 168,73$	87,46
VS	$0,29 L + 4,66 C^{0,85} + 0,12 h - 127,70$	69,48
PaDy	$-0,52 L + 1,98 C^{1,06} + 3,03 h - 71,74$	84,91
GP	$0,27 L + 3,36 C^{0,95} + 0,10 h - 140,50$	78,84

Taula 28: Valors de l'equació 9 (Japó)

Resumint-ho en una taula de valors matemàtics (Taula 29):

COEFICIENTS LINEALS					R-Sq (%)
JP	L	C	n	h	%
LD	2,61	13,91	0,59	8,48	77,44
SH	2,74	39,19	0,21	-4,48	85,52
WC	0,59	20,78	0,48	-0,21	69,04
DP	3,49	-3,76	0,70	3,71	87,46
VS	0,29	4,66	0,85	0,12	69,48
PaDy	-0,52	1,98	1,06	3,03	84,91
GP	0,27	3,36	0,95	0,10	78,84

Taula 29: Coeficients lineals i R-Sq (%) dels valors de l'equació 9 (Japó)

7.2. Resum i conclusions respecte de les dades i dels resultats del model del Japó

En aquest model també és molt important comprovar que, en **tots els casos** estudiats, les avaluacions subjectives de propietats no físiques associades als colors segueixen un **patró** que pot ser determinat o **expressat matemàticament** mitjançant paràmetres que es corresponen a mesures físiques i instrumentals dels colors.

Per tant, l'associació de qualificatius subjectius o apreciacions psicològiques a colors **també és quantificable en el cas de les dades del Japó.**

En segon lloc, constatem l'existència de tres grans grups segons quins siguin els tipus de paràmetres més influents en la definició de la qualitat psicològica associada al color.


Les emocions estudiades poden associar-se a:

- Paràmetres acromàtics (L), que bàsicament indiquen intensitat, i paràmetres cromàtics (C):
 - LD
 - SH
 - WC
 - PaDy

- Paràmetres acromàtics (L) i paràmetres cromàtics (C, h):
 - DP

- Paràmetres cromàtics (C), que bàsicament indiquen coloració o propietats associades al color pròpiament dit:
 - VS
 - GP

En els casos concrets estudiats, la majoria d'emocions descrites tenen com a influència i qualificació paràmetres dels anomenats cromàtics, el principal dels quals és la cromaticitat (C).



8. ESTUDI ESTADÍSTIC DE LES DADES OBTINGUDES A TAILÀNDIA



El color
transmite fuerza,
sensaciones; es
positivo, amoroso;
cura, mima, te aparta
de la uniformidad...
Si no le tienes miedo
al color, no le tienes
miedo a la libertad”

Ágatha Ruiz de la Prada

8.1. Obtenció de fórmules matemàtiques, representacions gràfiques i models colorimètrics associats a model de Tailàndia

Per comprovar el grau de significació matemàtica dels resultats obtinguts, s'han fet representacions estadístiques gràfiques d'aquests resultats. Bàsicament consisteixen en la distribució (incloent-hi l'histograma) de les dades experimentals respecte dels paràmetres colorimètrics mesurats i la representació de les equacions de regressió (lineal, quadràtica i cúbica).

Els gràfics obtinguts es mostren a continuació, amb un comentari d'interpretació.

Emoció associada al color **LD** (light-dark) (claro-oscuro)

Emoció associada exclusivament als valors de la coordenada de la lluminositat (L). (Fig. 136)
(Fig. 137)

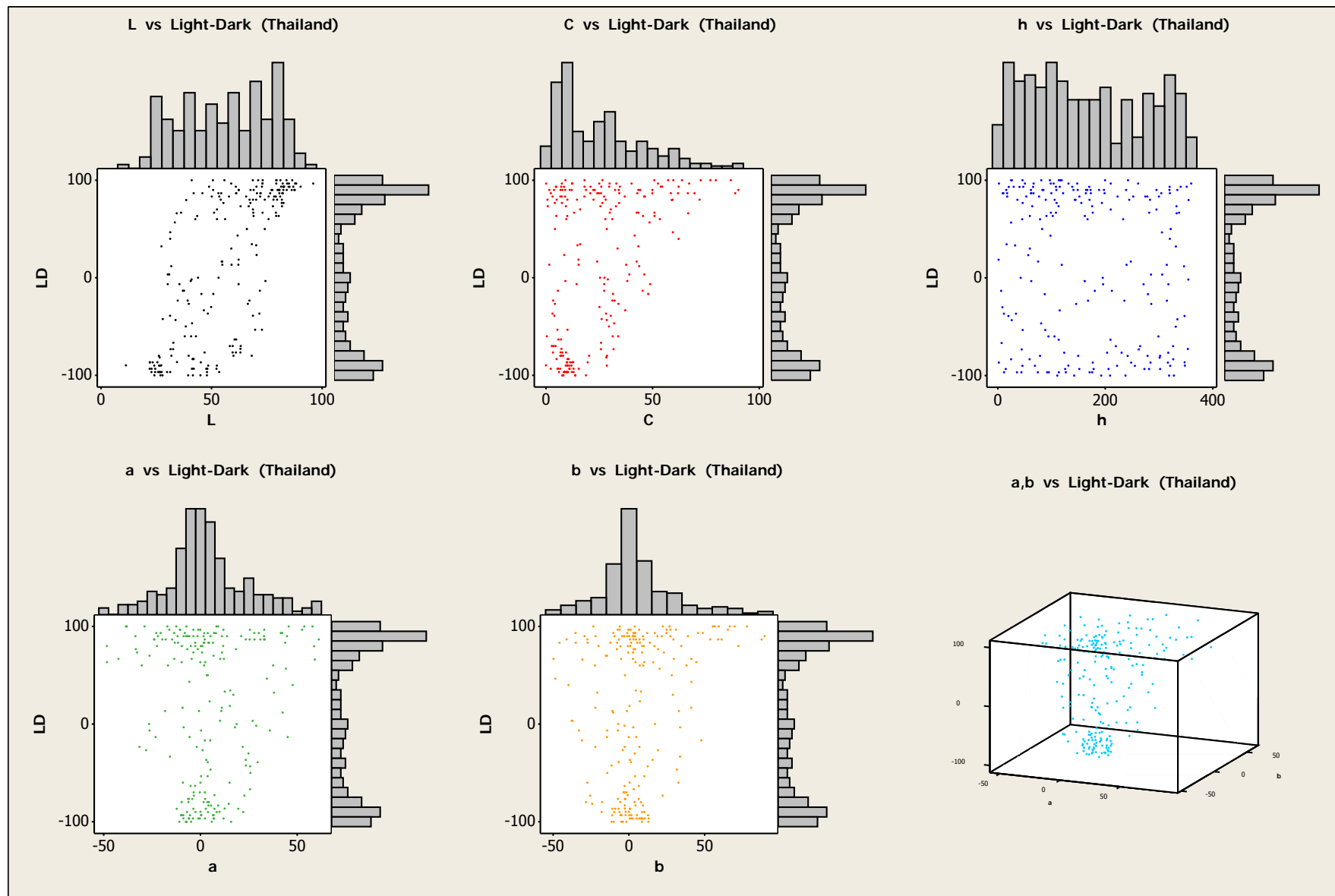


Fig. 136: Emoció associada al color LD/Tailàndia (histogrames i gràfics de dispersió)

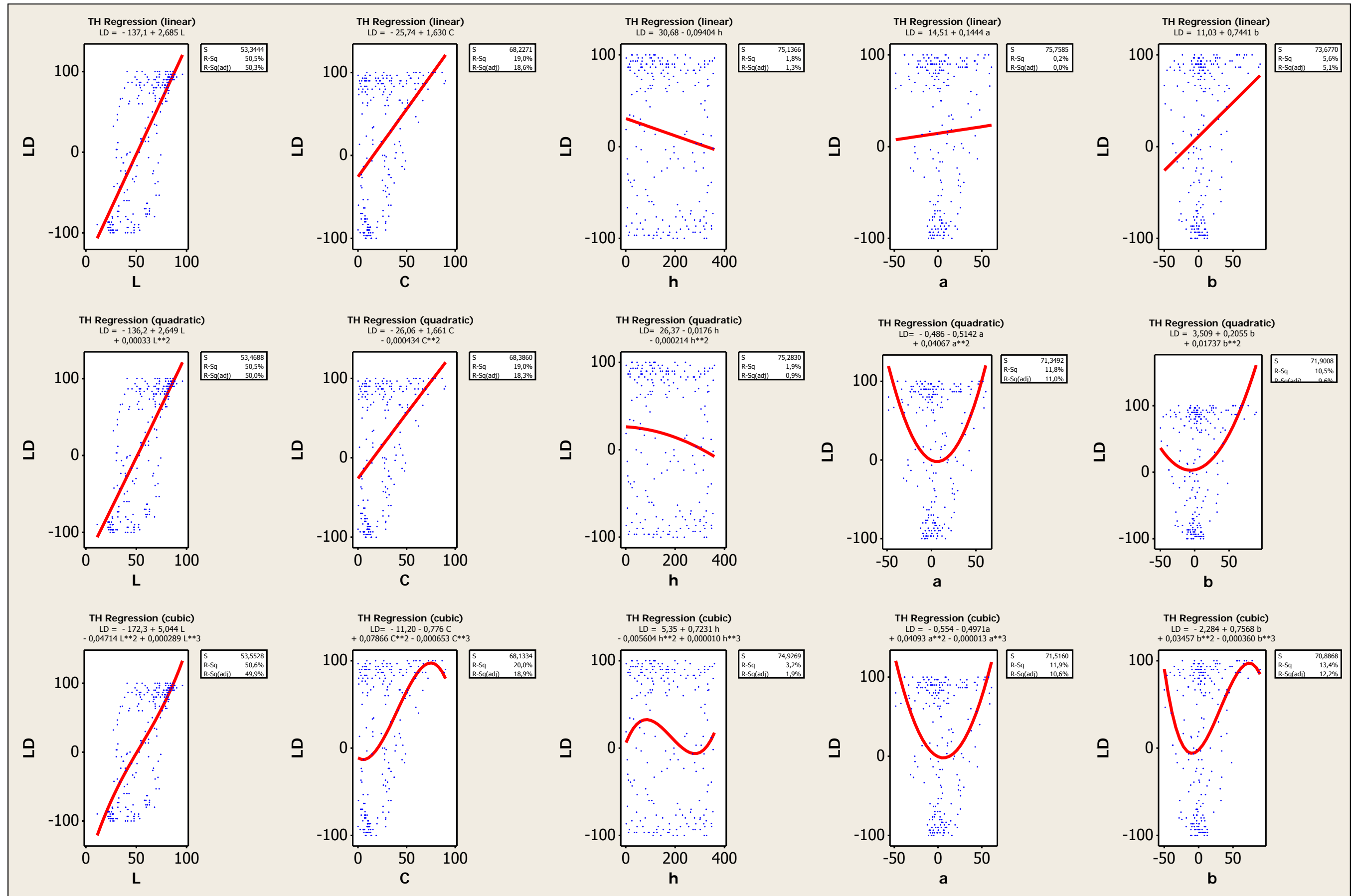


Fig. 137: Emoció associada al color LD/Tailàndia (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **SH** (soft-hard) (suave-duro)

Les valoracions de l'emoció associada a SH s'expressen totalment en els valors de la coordenada de lluminositat L . (Fig. 138) (Fig. 139)

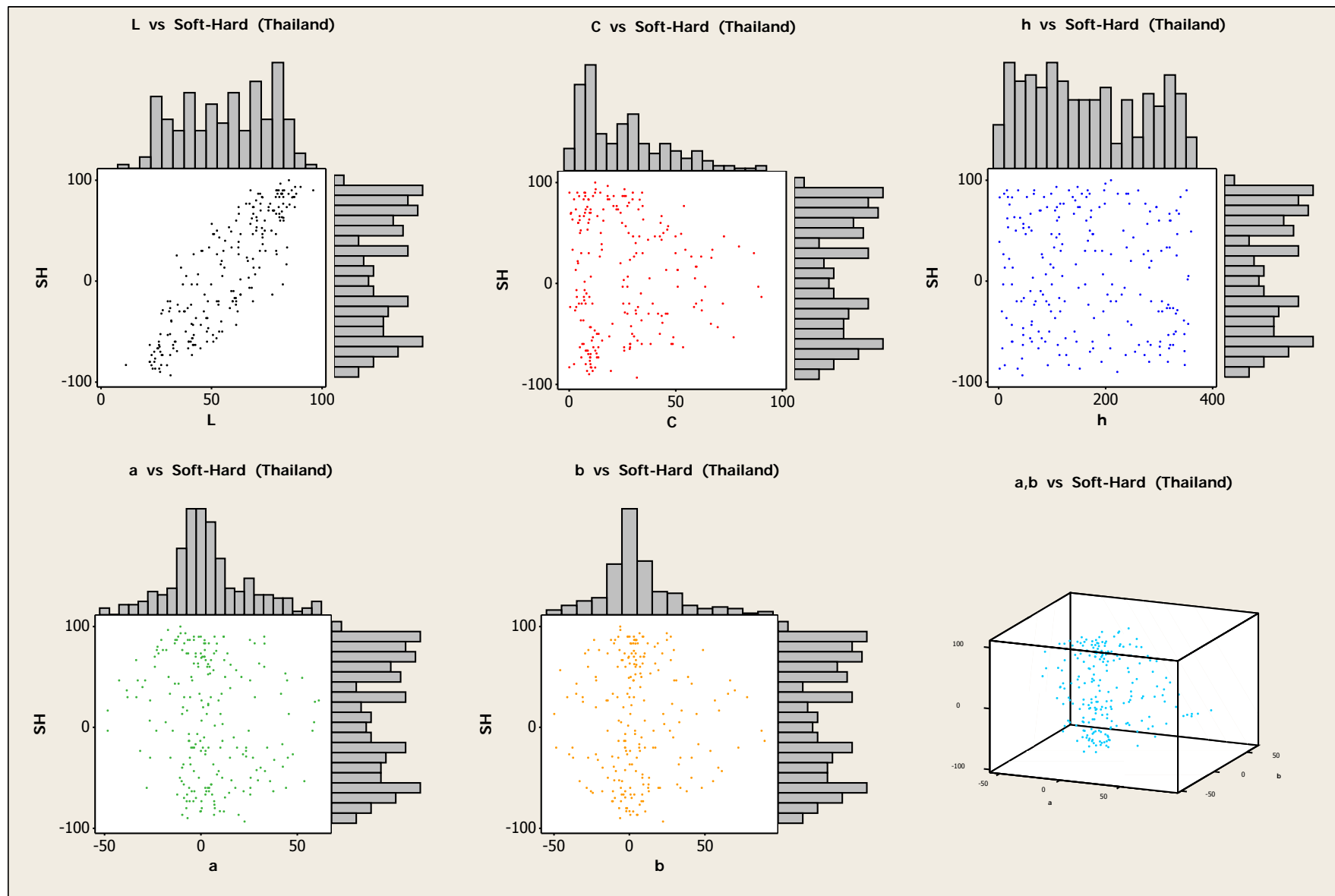


Fig. 138: Emoció associada al color SH/Tailàndia (histogrames i gràfics de dispersió)

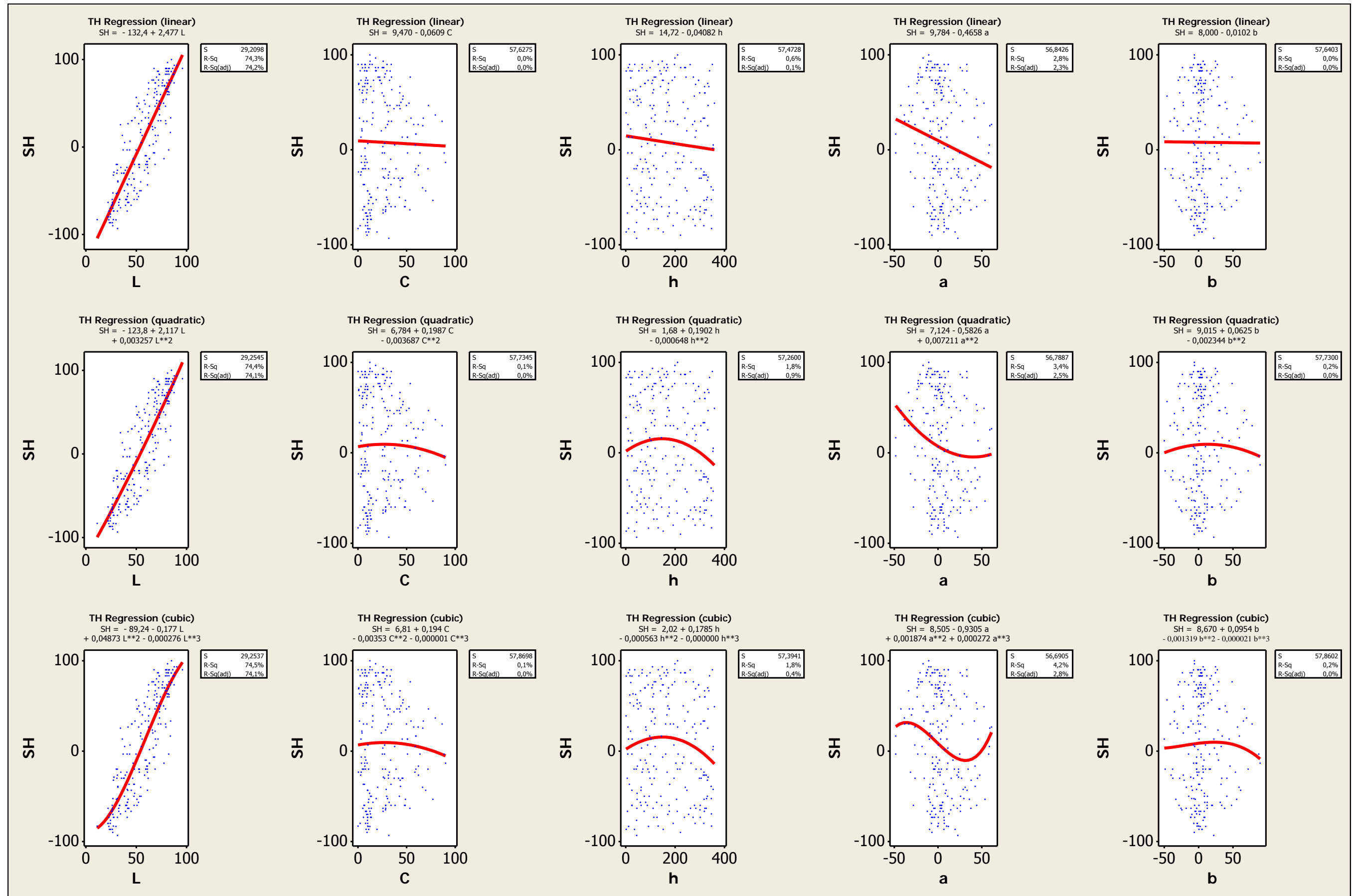


Fig. 139: Emoció associada al color SH/Tailàndia (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **WC** (warm-cold) (caliente-frío)

En aquest cas, les valoracions fetes pels observadors són una combinació dels valors de les coordenades cromàtiques C , h , a i b , és a dir, de la cromaticitat, del to i de les coordenades del color, en unes proporcions bastant similars. (Fig. 140) (Fig. 141)

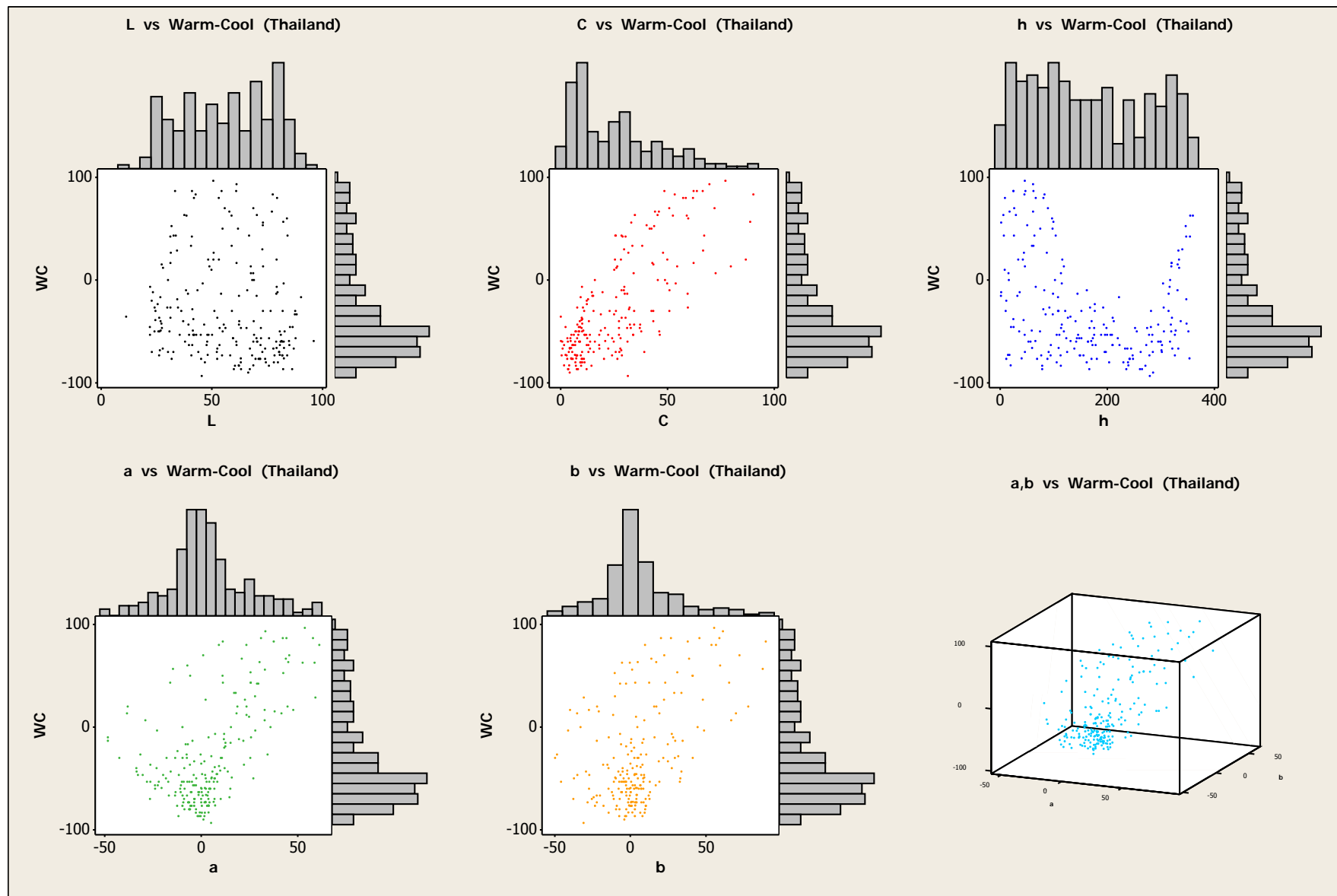


Fig. 140: Emoció associada al color WC/Tailàndia (histogrames i gràfics de dispersió)

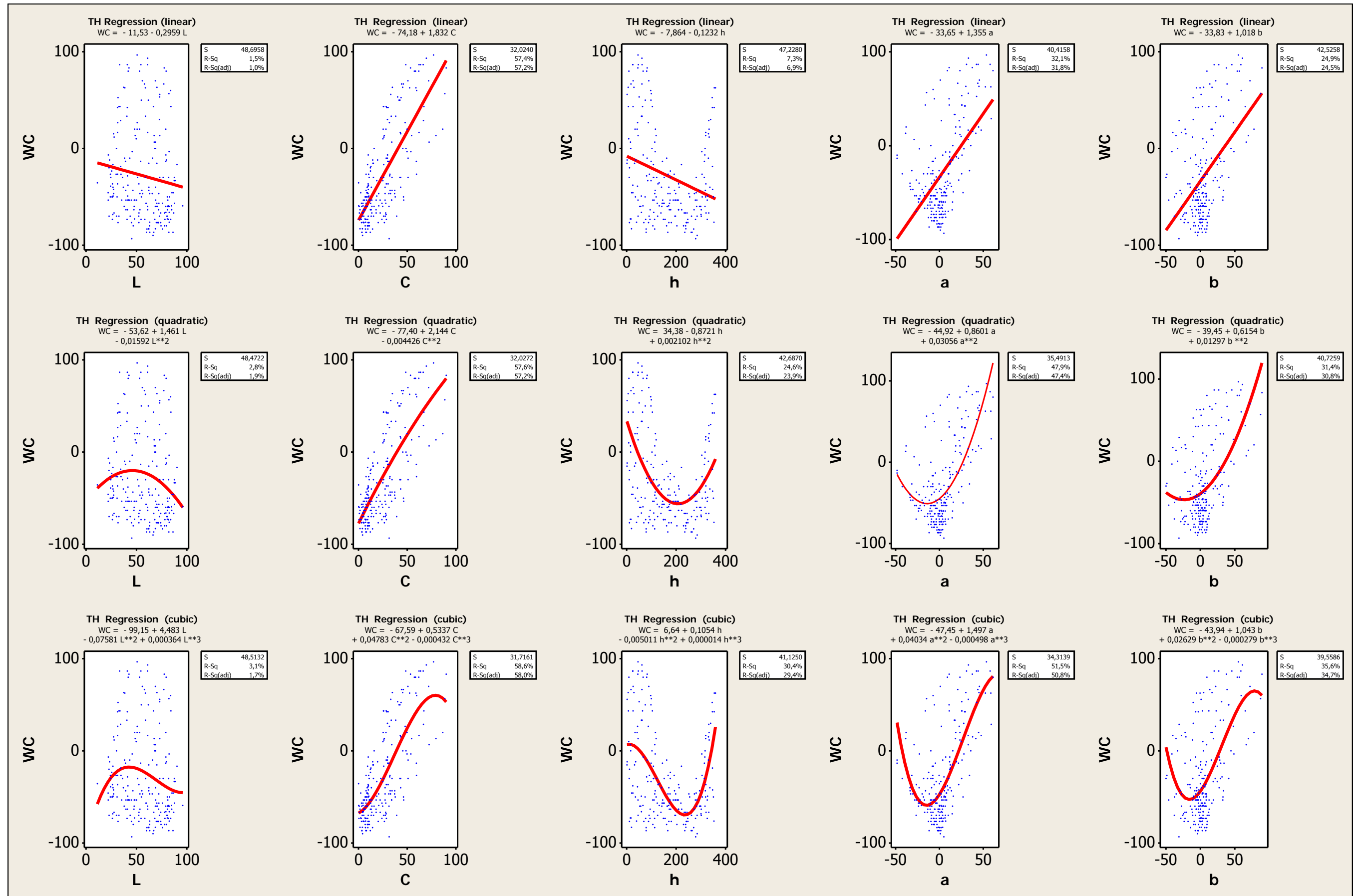


Fig. 141: Emoció associada al color WC/Tailàndia (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **DP** (deep-pale) (intenso-pálido)

En aquest cas, l'única dependència o relació entre la qualificació de les mostres i la seva definició matemàtica ve donada pel valor de la lluminositat (L). (Fig. 142) (Fig. 143)

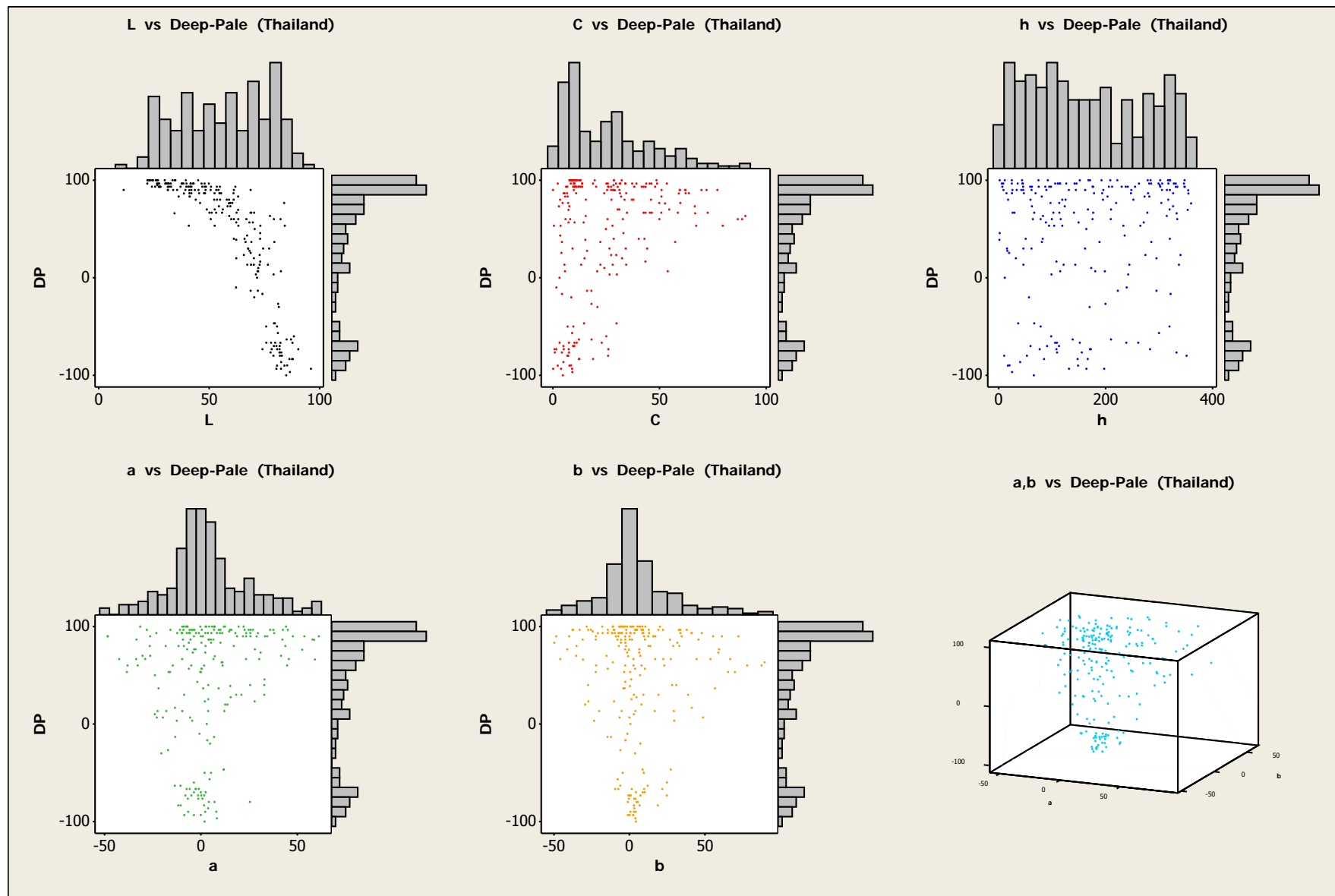


Fig. 142: Emoció associada al color DP/Tailàndia (histogrames i gràfics de dispersió)

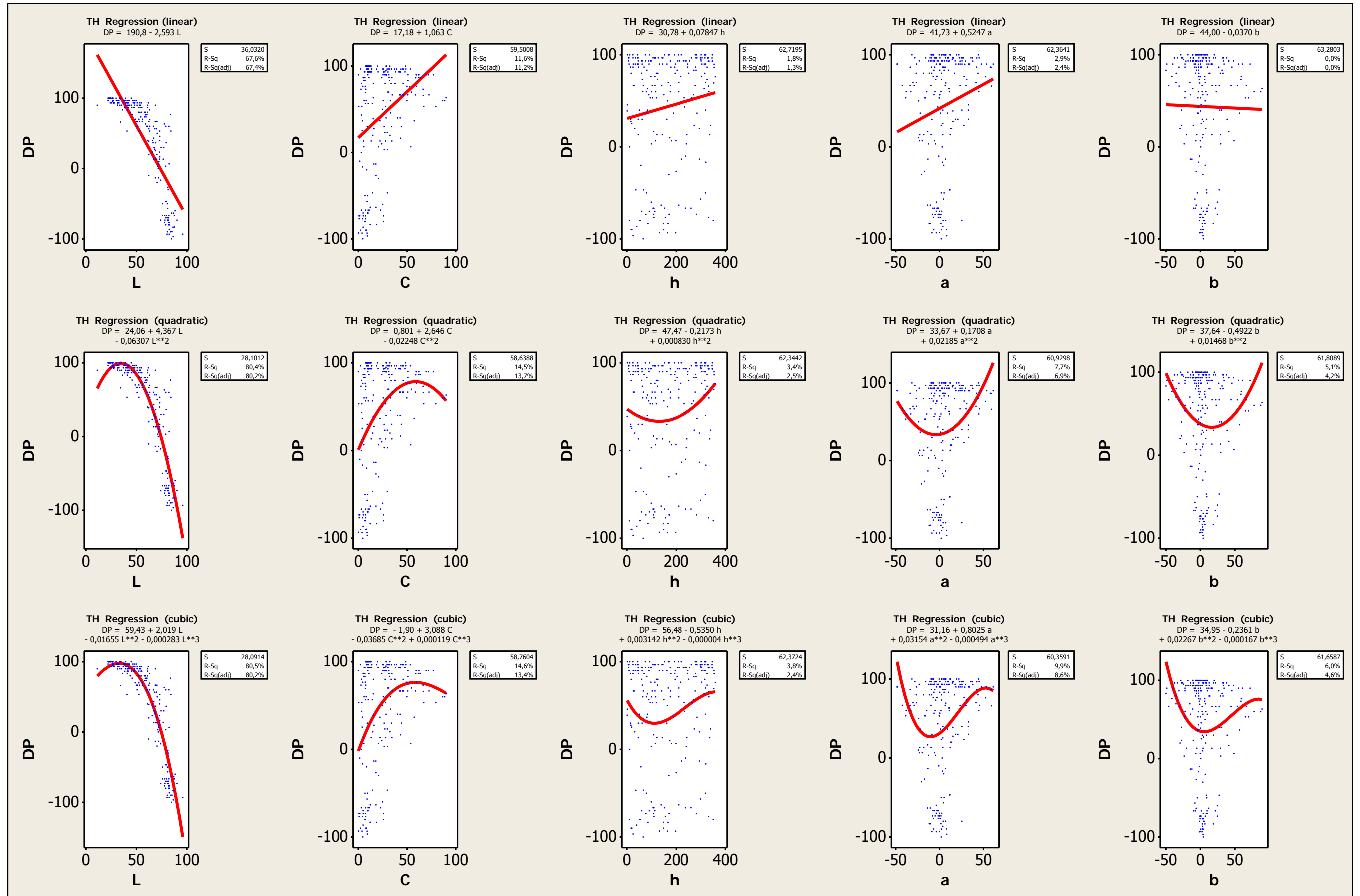


Fig. 143: Emoció associada al color DP/Tailàndia (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **VS** (vivid-sombre) (vivo-apagado)

Valoracions de l'emoció que responen a la dependència a la cromaticitat (C) i, en molt menys grau, a les coordenades cromàtiques a i b . (Fig. 144) (Fig. 145)

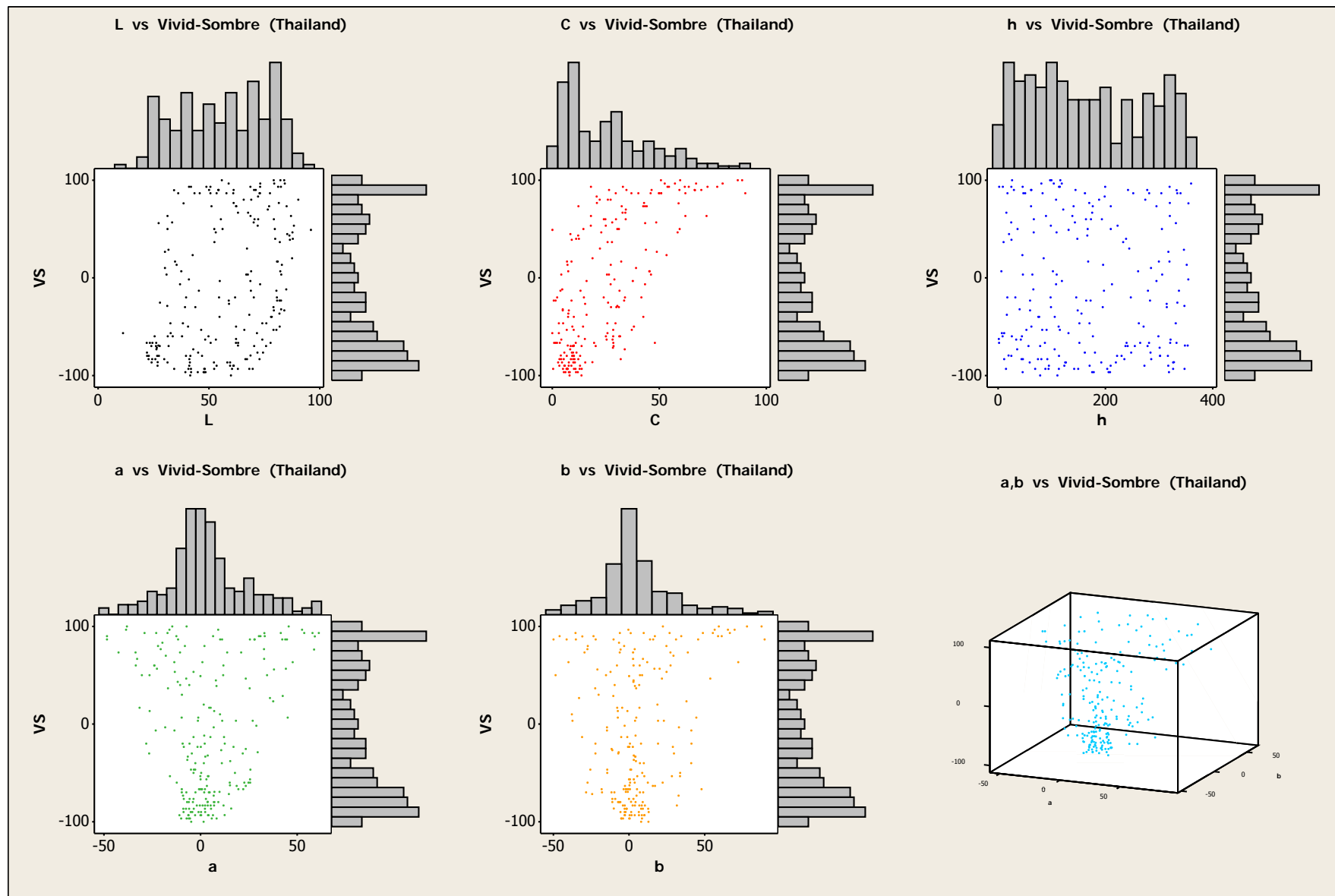


Fig. 144: Emoció associada al color VS/Tailàndia (histograma i gràfics de dispersió)

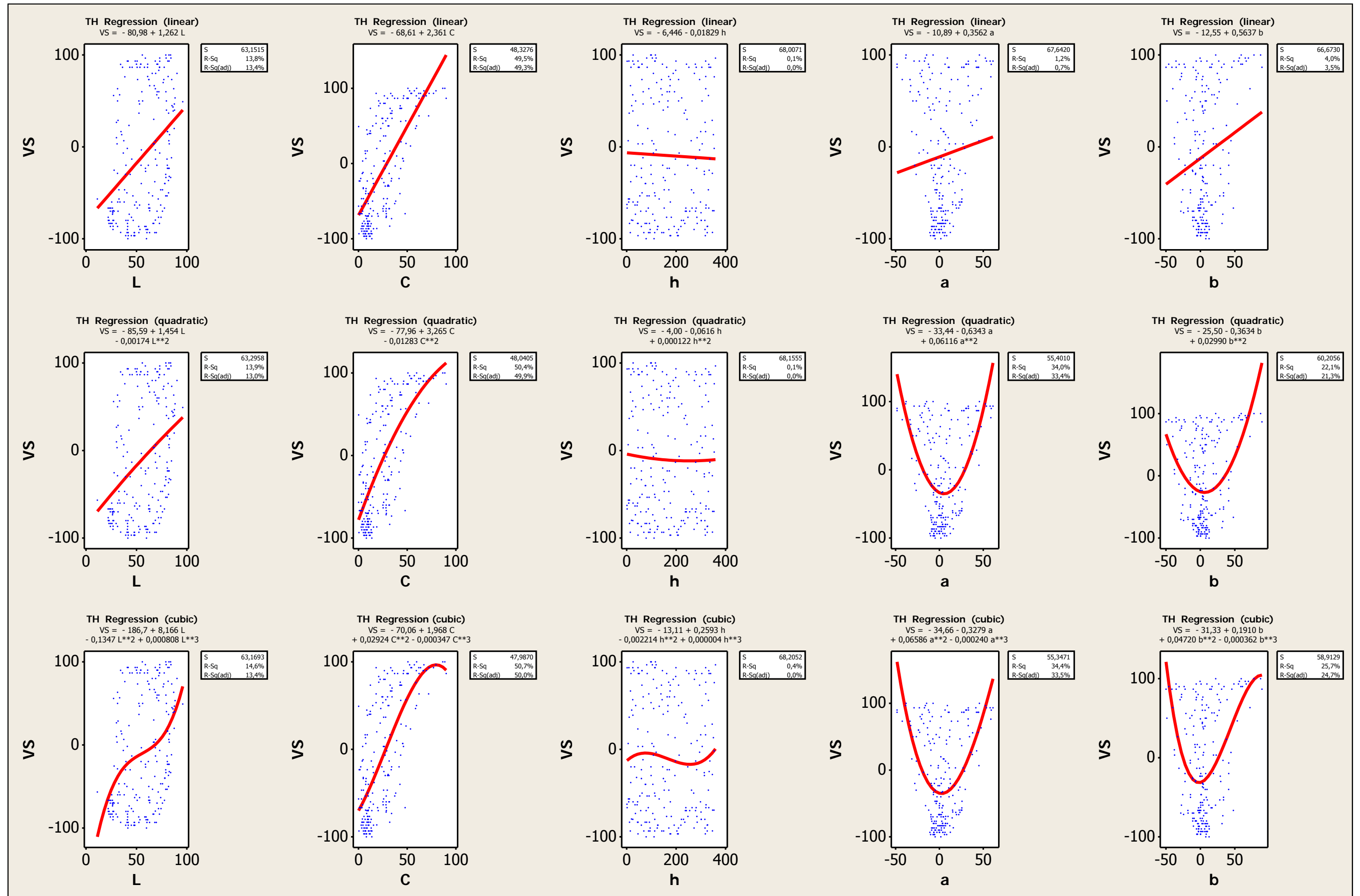


Fig. 145: Emoció associada al color VS/Tailàndia (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **PaDy** (passive-dynamic) (pasivo-dinámico)

La valoració estadística d'aquesta emoció està expressada en els valors de la cromaticitat (C) i en conseqüència, però en una proporció molt més baixa, als valors de les coordenades cromàtiques *a* i *b*. (Fig. 146) (Fig. 147)

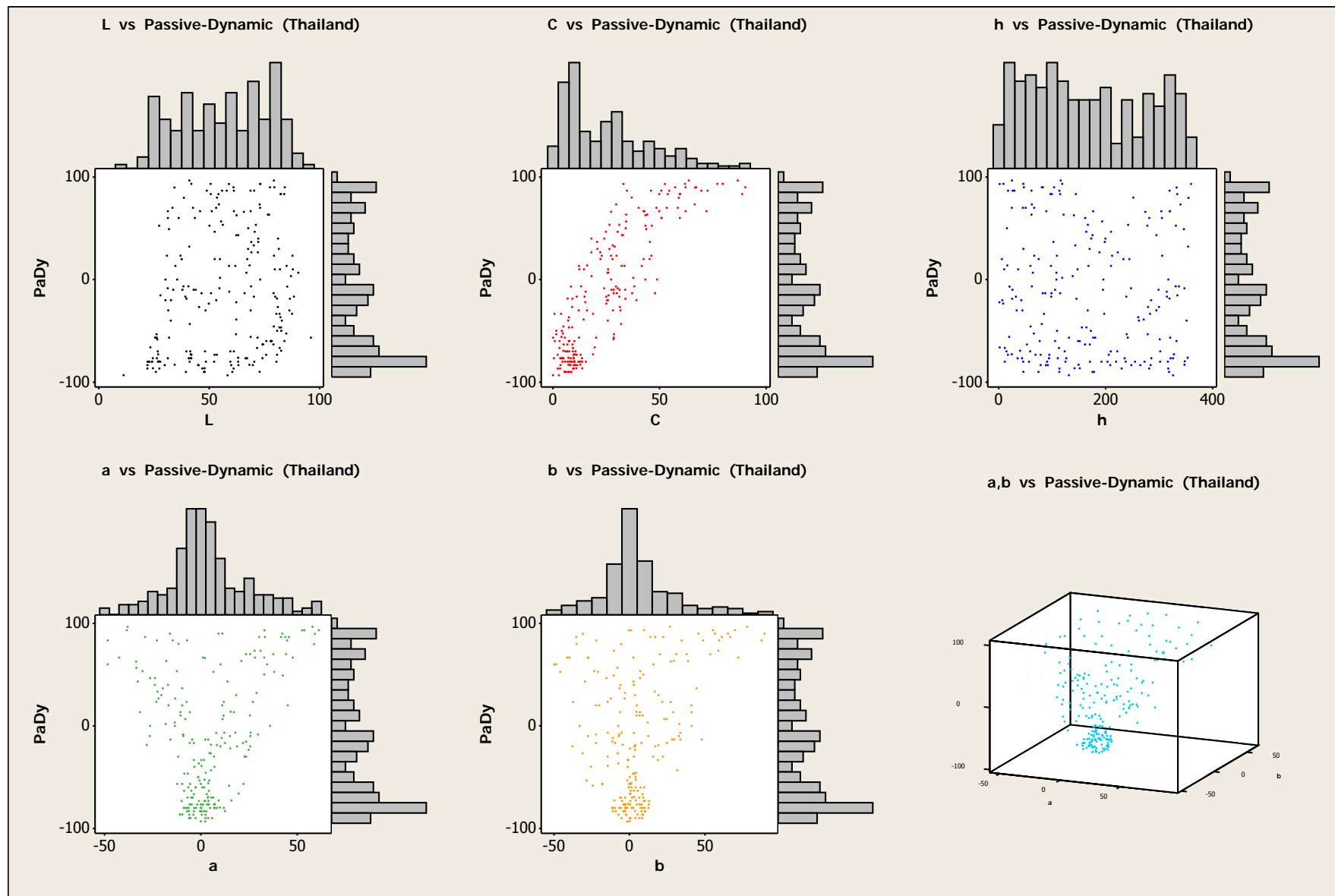


Fig. 146: Emoció associada al color PaDy/Tailàndia (histogrames i gràfics de dispersió)

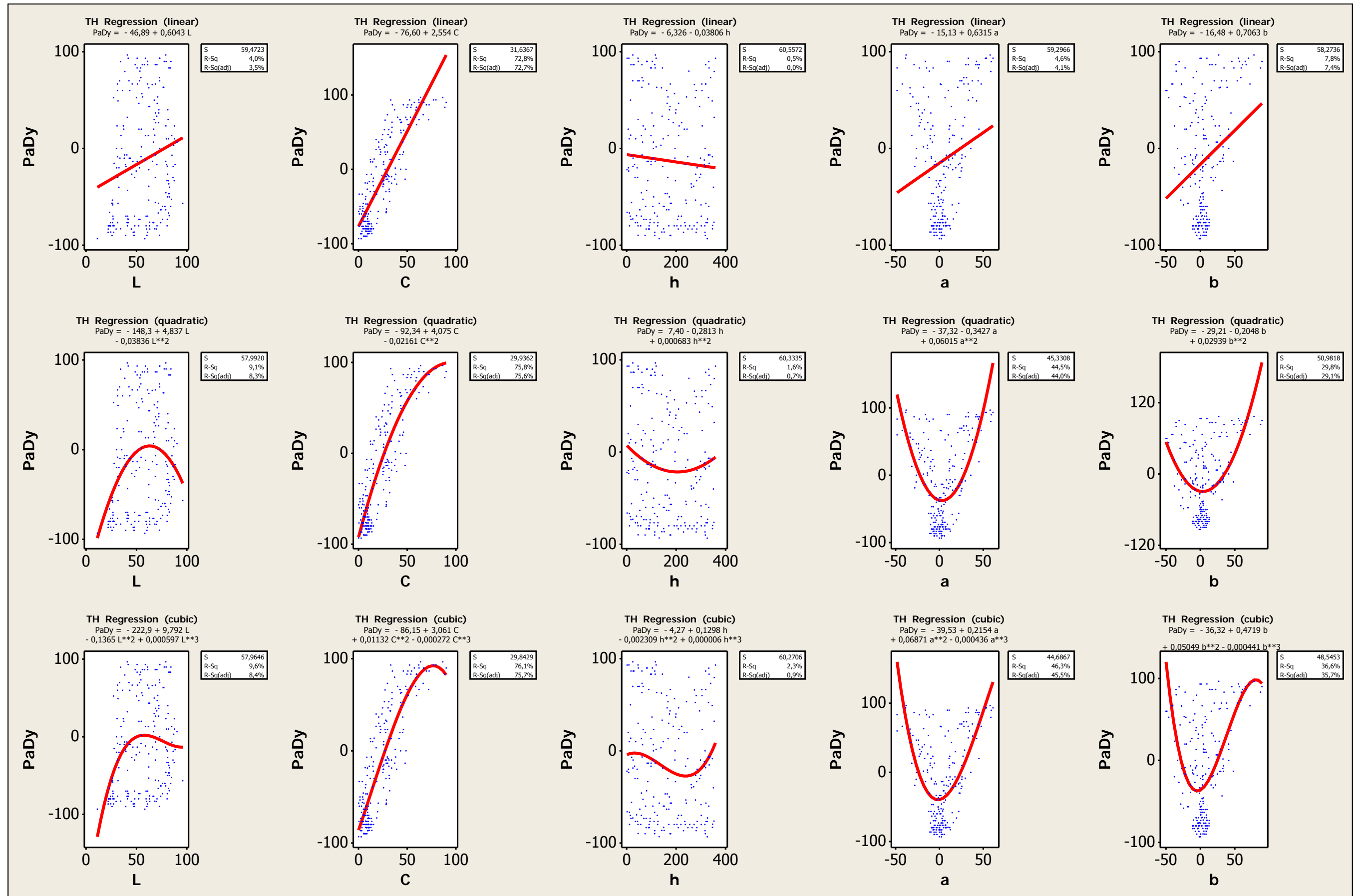


Fig. 147: Emoció associada al color PaDy/Tailàndia (gràfics i equacions de regressió)

Emoció associada al color **GP** (gaudy-plain) (chillón-serio)

Aquesta valoració depèn claríssimament dels valors de la cromaticitat (C) de les mostres.

Com que la cromaticitat (C) és una combinació matemàtica dels valors de les coordenades cromàtiques (a , b), també s'observa en aquests valors de a i b una certa periodicitat. (Fig. 148) (Fig. 149)

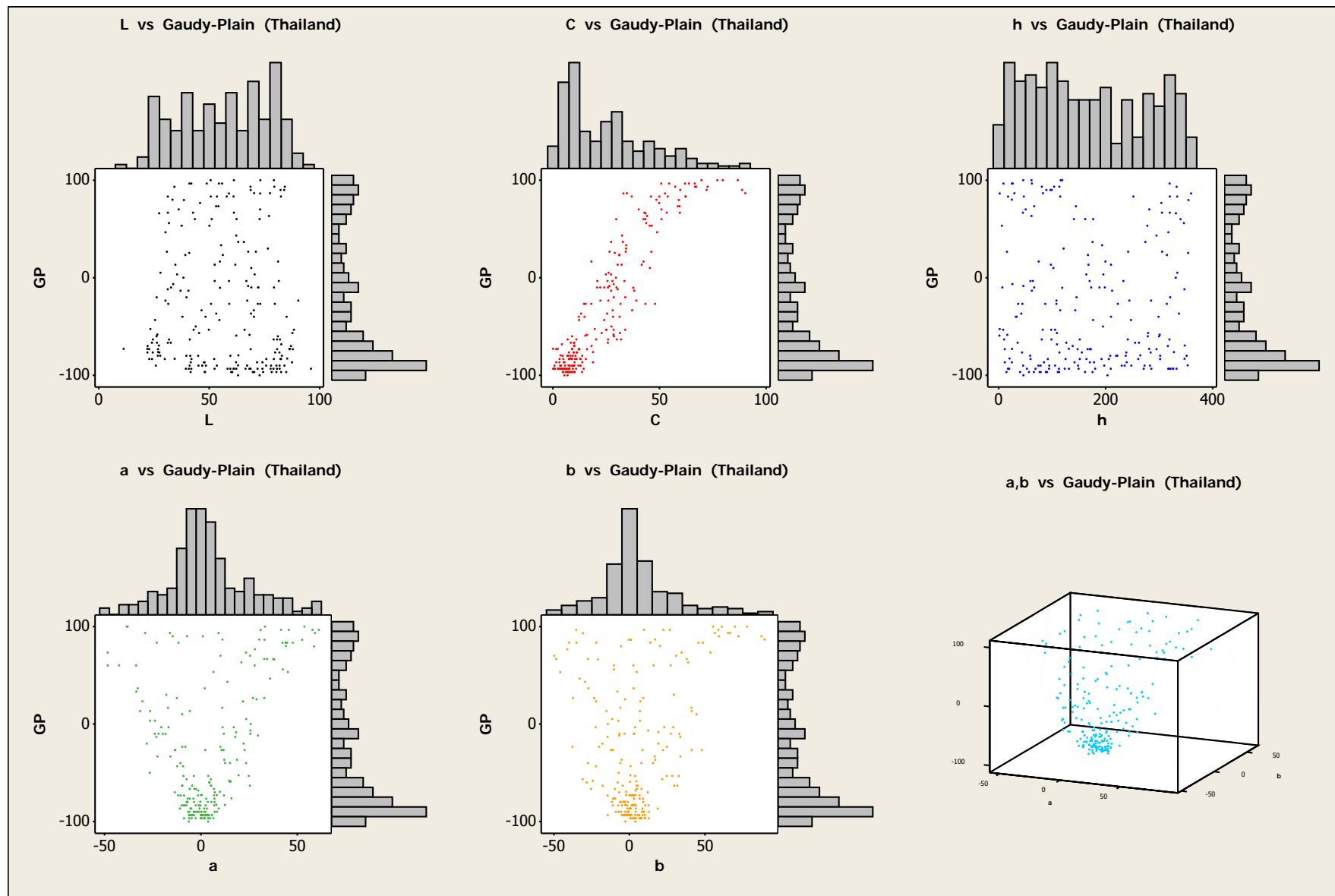


Fig. 148: Emoció associada al color GP/Tailàndia (histogrames i gràfics de dispersió)

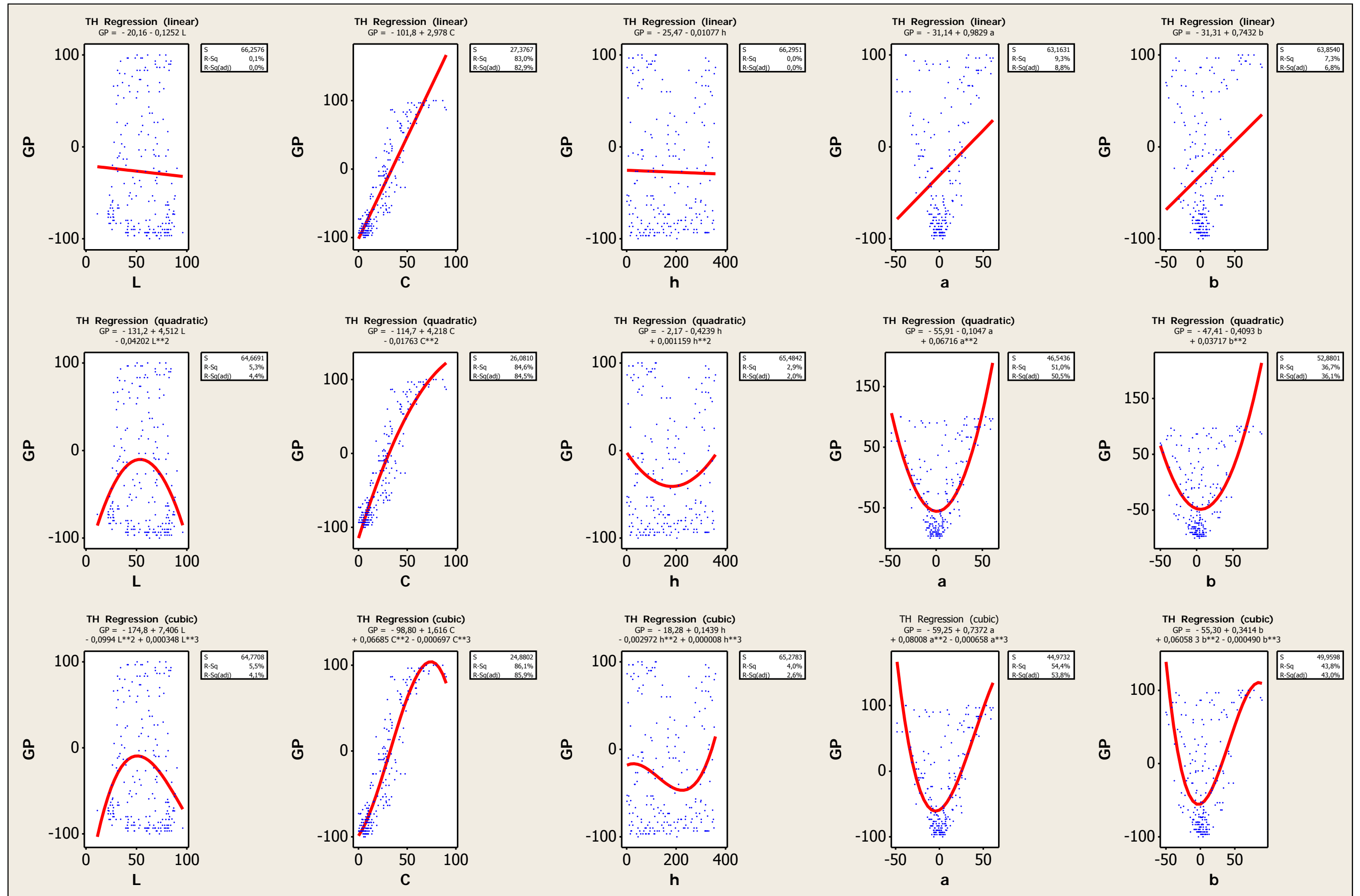


Fig. 149: Emoció associada al color GP/Tailàndia (gràfics i equacions de regressió)

Els [resultats qualitius](#) de Tailàndia (TH) es poden resumir en les taules següents (Taula 30):

TH	Paràmetre principal	Paràmetre secundari
LD (light-dark)	L	-
SH (soft-hard)	L	-
WC (warm-cool)	L	a b h
DP (deep-pale)	L	-
VS (vivid-sombre)	C	a
PaDy (passive-dynamic)	C	a
GP (gaudy-plain)	C	a

Taula 30: Paràmetres colorimètrics principals i secundaris de les dades de Tailàndia

Paràmetres que tenen més influència (Taula 31):

TH	a	b	L	C	h
LD (light-dark)	-	-	sí	-	-
SH (soft-hard)	-	-	sí	-	-
WC (warm-cool)	sí	sí	-	sí	sí
DP (deep-pale)	sí	sí	sí	sí	-
VS (vivid-sombre)	sí	sí	-	sí	-
PaDy (passive-dynamic)	sí	sí	-	sí	-
GP (gaudy-plain)	sí	sí	-	sí	-
Total	5	5	3	5	1

Taula 31: Paràmetres colorimètrics que tenen més influència (Tailàndia)

Els [resultats quantitius](#) es poden resumir en les taules següents:

De les fórmules matemàtiques obtingudes en la representació i en el càlcul de les corbes de regressió, ens queda constància dels coeficients lineals i quadràtics de cada coordenada cromàtica i, per tant, de la seva importància dins de l'equació que les relaciona amb la valoració psicològica d'una emoció associada a un determinat color (Taula 32).

COEFICIENTS LINEALS	COEFICIENTS QUADRÀTICS
---------------------	------------------------

TH	L	C	h	a	b	L L ²	C C ²	h h ²	a a ²	b b ²
LD	2,685	1,630	-0,0940	0,1444	0,7441	2,646 0,00033	1,661 -0,000434	-0,0176 -0,000214	-0,5142 0,04067	0,2055 0,01737
SH	2,477	-0,0609	-0,0408	-0,4658	-0,0102	2,117 0,003257	0,1987 -0,003687	0,1902 -0,000648	-0,5826 0,007211	0,0625 -0,002344
WC	-0,2959	1,832	-0,1232	2,355	1,018	1,461 -0,01592	2,144 -0,004426	-0,8721 0,002102	0,8601 0,03056	0,6154 0,01297
DP	-2,593	1,063	0,07847	0,5247	-0,037	4,367 -0,06307	2,646 -0,02248	-0,2173 0,00083	0,1708 0,02185	-0,4922 0,01468
VS	1,262	2,361	-0,0182	0,3562	0,5637	1,454 -0,00174	3,265 -0,01283	-0,0616 -0,000122	-0,6343 0,06116	-0,3634 0,0299
PaDy	0,6043	2,554	-0,0380	0,6315	0,7063	4,837 -0,03836	4,075 -0,02161	-0,2813 0,000683	-0,3427 0,06015	-0,2048 0,02939
GP	-0,1252	2,978	-0,0107	0,9829	0,7432	4,512 -0,04202	4,218 -0,01763	-0,4239 0,001159	-0,1047 0,06716	-0,4093 0,03717

Taula 32: Valors gràfics i equacions de regressió (Tailàndia)

Els valors del tant per cent de la confiança en l'exactitud dels resultats s'indiquen a continuació (Taula 33):

R-Sq (%) FÓRMULES LINEALS						R-Sq (%) FÓRMULES QUADRÀTIQUES				
TH	L	C	h	a	b	L	C	H	a	b
LD	50,5	19,0	1,8	0,2	5,6	50,5	19,0	1,9	11,8	10,5
SH	74,3	0,0	0,6	2,8	0,0	74,4	0,1	1,8	3,4	0,2
WC	1,5	57,4	7,3	32,1	24,9	2,8	57,6	24,6	47,9	31,4
DP	67,6	11,6	1,8	2,9	0,0	80,4	14,5	3,4	7,7	5,1
VS	13,8	49,5	0,1	1,2	4,0	13,9	50,4	0,1	34,0	22,1
PaDy	4,0	72,8	0,5	4,6	7,8	9,1	75,8	1,6	44,5	29,8
GP	0,1	83,0	0,0	9,3	7,3	5,3	84,6	2,9	51,0	36,7

Taula 33: R-Sq (%) dels valors gràfics i equacions de regressió (Tailàndia)

Una segona aproximació als [resultats quantitativs](#) i a l'ajustament de fórmules matemàtiques la basem en una anàlisi de regressió lineal que correspongui a la fórmula general de (Equació 10):

$$\text{CEI (colour emotion index)} = x_1 L + y_1 C + z_1 h + c_1$$

Equació 10: Segona aproximació als resultats quantitativs

Els resultats obtinguts són els següent (Taula 34):

CEI	Fórmula (TH)	R-Sq
LD	1,86 L + 0,535 C + 0,036 h - 110	24,2
SH	1,75 L - 0,575 C + 0,0666 h - 88,4	41,0
WC	-0,467 L + 1,33 C - 0,131 h - 13,4	43,6
DP	-2,05 L + 0,985 C - 0,0534 h + 145	53,9
VS	0,617 L + 1,02 C + 0,0358 h - 76,3	11,4
PaDy	0,234 L + 1,35 C - 0,0153 h - 56,9	20,9
GP	-0,328 L + 1,72 C - 0,0215 h - 47,8	29,7

Taula 34: Valors de l'equació 10 (Tailàndia)

Resumint-ho en una taula de valors matemàtics (Taula 35):

COEFICIENTS LINEALS				R-Sq (%)
TH	L	C	h	%
LD	1,86	0,535	0,036	24,2
SH	1,75	-0,575	0,0666	41,0
WC	-0,467	1,33	-0,131	43,6
DP	-2,05	0,985	-0,0534	53,9
VS	0,617	1,02	0,0358	11,4
PaDy	0,234	1,35	-0,0153	20,9
GP	-0,328	1,72	-0,0215	29,7

Taula 35: Coeficients lineals i R-Sq (%) dels valors de l'equació 10 (Tailàndia)

Una tercera aproximació als [resultats quantitatius](#) i a l'ajustament de fórmules matemàtiques la basem en una anàlisi de regressió lineal que correspongui a la fórmula general de (Equació 11):

$$\text{CEI (colour emotion index)} = x_1 L + y_1 C^n + z_1 h + c_1$$

Equació 11: Tercera aproximació als resultats quantitatius

Els resultats obtinguts són els següents (Taula 36):

CEI	Fórmula (TH)	R-Sq (%)
LD	$1,85 L + 0,44 C^{1,05} + 3,62 h - 109,94$	24,29
SH	$1,74 L - 0,51 C^{1,02} + 6,65 h - 88,77$	41,02
WC	$-0,47 L + 10,3 C^{1,06} - 0,13 h - 11,68$	44,09
DP	$-2,04 L + 0,83 C^{1,03} - 5,34 h + 145,73$	53,93
VS	$0,61 L + 0,80 C^{1,06} + 0,03 h - 75,50$	11,85
PaDy	$0,23 L + 1,14 C^{1,04} - 1,51 h - 55,90$	21,25
GP	$-0,33 L + 1,39 C^{1,05} - 2,11 h - 46,24$	30,31

Taula 36: Valors de l'equació 11 (Tailàndia)

Resumint-ho en una taula de valors matemàtics (Taula 37):

COEFICIENTS LINEALS					R-Sq (%)
TH	L	C	n	h	%
LD	1,85	0,44	1,05	3,62	24,29
SH	1,74	-0,51	1,02	6,65	41,02
WC	-0,47	1,03	1,06	-0,13	44,09
DP	-2,04	0,83	1,03	-5,34	53,93
VS	0,61	0,80	1,06	0,03	11,85
PaDy	0,23	1,14	1,04	-1,15	21,25
GP	-0,33	1,39	1,05	-2,11	30,31

Taula 37: Coeficients lineals i R-Sq (%) dels valors de l'equació 11 (Tailàndia)

8.2. Resum i conclusions respecte de les dades i dels resultats del model de Tailàndia

En aquest model també és molt important comprovar que, en **tots els casos** estudiats, les avaluacions subjectives de propietats no físiques associades als colors segueixen un **patró** que pot ser determinat o **expressat matemàticament** mitjançant paràmetres que es corresponen a mesures físiques i instrumentals dels colors.

Per tant, l'associació de qualificatius subjectius o apreciacions psicològiques a colors **també és quantificable en el cas de les dades de Tailàndia.**

En segon lloc, constatem l'existència de tres grans grups segons quins siguin els tipus de paràmetres més influents en la definició de la qualitat psicològica associada al color.

Les emocions estudiades poden associar-se a:

- Paràmetres acromàtics (L) i cromàtics (C):
 - VS
- Paràmetres acromàtics (L) i paràmetres cromàtics (C, h):
 - LD
 - SH
 - DP
- Paràmetres cromàtics (C), que bàsicament indiquen coloració o propietats associades al color pròpiament dit:
 - WC
- Paràmetres cromàtics (C, h):
 - PaDy
 - GP

Les correlacions per a les dades de Tailàndia són molt més baixes que les obtingudes en els estudis dels altres països.

En els casos concrets estudiats, la majoria d'emocions descrites tenen, com a influència i qualificació, paràmetres dels anomenats cromàtics, el principal dels quals és la cromaticitat (C).

9. ESTUDI DEL FACTOR CORRECTOR (n) DE LA COORDENADA DE CROMATICITAT (C): FACTOR INTERCULTURAL



Fig. 150 ¹⁵⁰

Comparativa entre els índexs CEI (índex d'emoció dels colors), les coordenades cromàtiques i les dades dels diferents països (Taula 38):

		L	LC	L h	LCh	C	Ch	h
LD	SP	X						
	HK				X			
	JP		X					
	TH				X			
SH	SP				X			
	HK			X				
	JP		X					
	TH				X			
WC	SP					X		
	HK						X	
	JP		X					
	TH					X		
DP	SP				X			
	HK			X				
	JP				X			
	TH				X			
VS	SP					X		
	HK						X	
	JP					X		
	TH		X					
PaDy	SP					X		
	HK						X	
	JP		X					
	TH						X	
GP	SP					X		
	HK					X		
	JP					X		
	TH						X	

Taula 38: Comparativa entre els índexs CEI (índex d'emoció dels colors), les coordenades cromàtiques i les dades dels diferents països

De la taula anterior tenim, per a un total de 28 resultats (Taula 38):

- Que depengui només de L : 1 resultat.
- **Que depengui només de C : 8** resultats.
- Que depengui només de h : 0 resultats.
- **Que depengui d'una combinació de L , C i h : 14** resultats.
- Que depengui d'una combinació de C i h : 5 resultats.

Per tant, **la coordenada cromàtica més important en l'apreciació psicològica d'un color és la cromaticitat**, i la seva combinació amb la lluminositat.

Espanya és l'únic país que té resultats que depenen només de la lluminositat.

En els índexs CEI light-dark (**LD**), soft-hard (**SH**) i deep-pale (**DP**) sempre intervé la coordenada de la lluminositat L en tots els països.

Els altres CEI, warm-cold (**WC**), vivid-sombre (**VS**), passive-dynamic (**PaDy**) i gaudy-plain (**GP**), pràcticament depenen només de C , tot i que també de h .

Encara que majoritàriament tots els països estudiats tenen uns resultats similars, cada un d'ells presenta sempre alguna particularitat en alguns CEI que el diferencia dels altres.

Com que l'estudi dels resultats ha demostrat que els paràmetres colorimètrics més influents són L (luminositat) i C (cromaticitat), i com que s'ha posat de manifest que en la majoria dels parells de definició psicològica proposats per a les mostres de color la influència de C ha estat predominant, la fórmula matemàtica que ajusta millor els resultats obtinguts és la que pondera aquest valor de C amb un exponent al qual hem anomenat n (Equació 12).

$$CEI \text{ (colour emotion index)} = x_1L + y_1C^n + z_1h + c_1$$

Equació 12 : Tercera aproximació als resultats quantitius

Per estudiar específicament aquest factor n , agrupem els seus valors segons els adjectius específics amb què hem estudiat les mostres de color.

El resultats obtinguts són els següents (Taula 39):

n	LD	SH	WC	DP	VS	PaDy	GP
SP	0,29	0,65	0,59	0,91	0,54	0,53	0,62
HK	0,72	0,63	0,50	0,60	0,62	0,86	0,73
JP	0,59	0,21	0,48	0,70	0,85	1,06	0,95
TH	1,05	1,02	1,06	1,03	1,06	1,04	1,05

Taula 39: Resultats obtinguts del factor n

Per poder interpretar millor els resultats s'han representat gràficament els valor obtinguts.

El valor de l'índex n es representa a l'eix d'ordenades (Fig. 151) (Fig. 152):

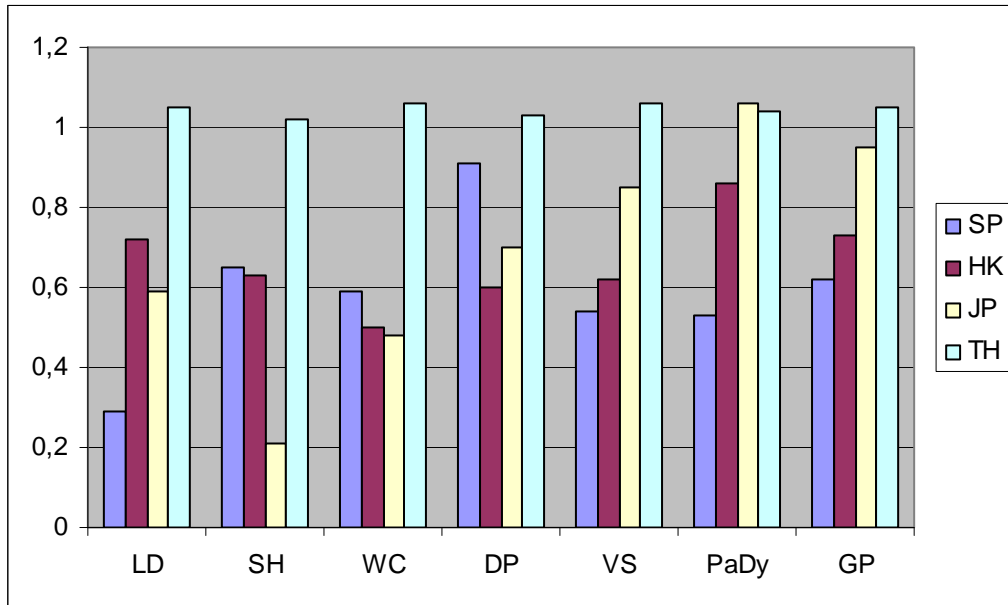


Fig. 151: El valor de l'índex n segons l'índex CEI

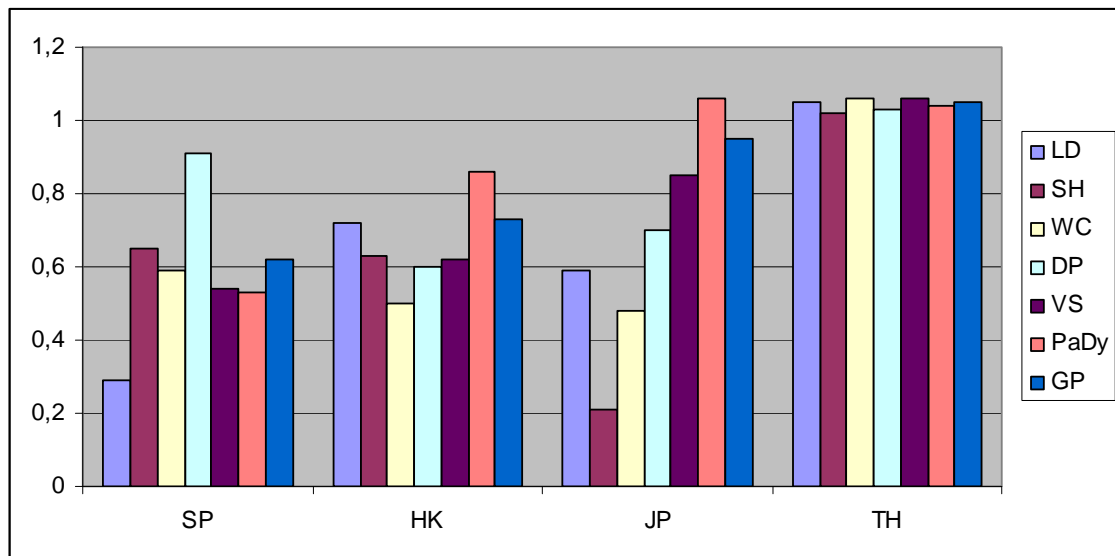


Fig. 152: El valor de l'índex n per països participants

A partir dels gràfics podem observar que Espanya i Hong Kong tenen valors bastant similars de l'índex n , el Japó té els valors de l'índex n més dispers i de rang més diferent i a Tailàndia el valor de l'índex n és pràcticament 1 per a tots els CEI estudiats.

La gràfica següent (Fig. 153) també corrobora d'una manera molt visual això que acabem d'exposar:

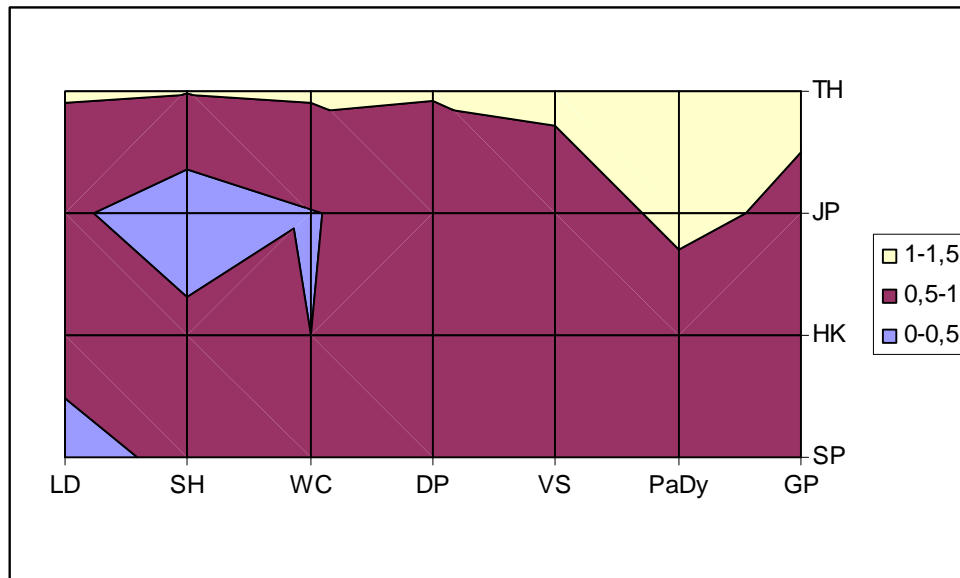


Fig. 153: El valor de l'índex n segons l'índex CEI i per països participants

Podem concloure, per tant, que en certa mesura aquest valor n és característic de cada país o de cada cultura, però manté les característiques de correspondència entre les coordenades físiques dels colors i les associacions psicològiques fetes pels observadors de cada país, la majoria amb tendències similars i, per tant, en certa manera universals, fet que demostra que les valoracions psicològiques dels colors es basen principalment en les seves coordenades cromàtiques i són, per tant, mesurables físicament i matemàticament.

10. CONCLUSIONS.

L'estudi de la colorimetria com a ciència física és **sistemàtic** i respon plenament al mètode científic. En la primera part de la tesi doctoral s'ha fet una àmplia exposició de l'estudi històric i físic del color i de la seva mesura instrumental derivada de l'adequació dels paràmetres definits i de la deducció posterior de les fórmules matemàtiques respectives.

La **colorimetria** com a ciència que estudia el color a escala física i química, de comparació i de diferenciació de paràmetres físics mesurables instrumentalment entre diferents mostres de colors, és una part de la ciència històrica. Per tant, els estudis i **les fórmules colorimètriques** obtingudes han estat contrastades àmpliament per la pràctica d'experts de tot el món durant prou temps per garantir-ne la validesa.

L'estudi de la **psicologia o de les atribucions psicològiques del color** ha estat històricament subjectiu i ple de nocions simplistes o apreciacions de tradició popular, com ara que el verd és el color de l'esperança, que el vermell és un color calent, etc. La tesi doctoral consisteix, bàsicament, en l'aplicació de models experimentals i matemàtics a aquesta suposada psicologia del color.

Per tant, **el plantejament principal de la tesi doctoral és la quantificació numèrica del component psicològic dels colors en col·lectivitats de diferents nacionalitats.**

Conclusió n. 1:

A la psicologia del color se li pot aplicar el mètode científic d'experimentació i, posteriorment, l'estudi estadístic i de modelització matemàtica.

Per dur a terme la part experimental va ser necessària **la posada a punt** de pautes d'experimentació noves i adequades a la finalitat de l'estudi.

La part experimental de la tesi doctoral està basada en la definició de diferents propietats o impressions psicològiques dels colors a través del **llenguatge qualificatiu**.

De l'obtenció de les dades experimentals, se n'extreuen resultats i deduccions interessants.

Conclusió n. 2:

L'apreciació psicològica del color no contempla la variable de l'edat ni del sexe de les mostres poblacionals estudiades. Això és vàlid tant pel que fa a les dades espanyoles, com a les dades japoneses, xineses i tailandeses.

Des del punt de vista de la metodologia utilitzada en la part experimental, cal destacar:

Conclusió n. 3:

Tots els observadors que han participat en la valoració psicològica de les mostres acolorides per relacionar una emoció amb cada una d'aquestes mostres, no han presentat cap resultat en blanc. És a dir, la capacitat d'assignar una emoció a un color és universal.

Això, però, podria ser conseqüència del fet que la metodologia experimental no buscava la manifestació d'aquestes diferències, sinó només la valoració psicològica dels colors.

Nova línia d'investigació, n. 1:

Aconseguir, mitjançant l'aplicació de noves línies experimentals més específiques, la confirmació o la no-confirmació de la no-influència dels factors de l'edat i del sexe en l'apreciació psicològica del color.

També es va comprovar mitjançant els tests pertinents que la mostra de la població estudiada no presentava **defectes visuals**.

Nova línia d'investigació, n. 2:

Dictaminar si l'apreciació psicològica dels colors és igual o diferent en les persones amb diferents defectes visuals i quins possibles principis de compensació apliquen per adaptar-se als patrons de la realitat social i cultural de l'apreciació psicològica del color definida pels grups majoritaris de població que no tenen aquests defectes visuals.

Un cop obtingudes aquestes dades s'inicia l'estudi estadístic i matemàtic per obtenir **fórmules i índexs** generals.

Els diferents nivells d'estudi han estat:

1. Nivell estadístic, de **representacions gràfiques** i les primeres fórmules matemàtiques entre les qualificacions psicològiques i un sol paràmetre colorimètric. Obtenció de les **equacions lineals**.

Una de les primeres **conclusions** que es deriva de l'estudi és que el **factor psicològic** no presenta anomalies ni dispersions estadístiques, sinó una **gran proporcionalitat** i una claredat de conclusions significatives quan es comparen els resultats de l'estudi psicològic amb els **paràmetres colorimètrics** físics i mesurables amb colorímetre de les mostres estudiades, és a dir, els valors de ***L*** (**Iluminositat o claredat**), ***C*** (**croma o cromaticitat**), ***h*** (**to o tonalitat**), ***a*** (coordenada de color vermell-verd) i ***b*** (coordenada de color groc-blau).

Conclusió n. 4:

Els paràmetres de definició psicològica dels colors i els paràmetres físics colorimètrics tradicionals estan relacionats per equacions i proporcions matemàtiques prou exactes i precises.

2. **Equació lineal** en què intervenen tots els paràmetres (Equació 13):

$$\text{CEI (colour emotion index)} = x_1L + y_1C + z_1h + c_1$$

Equació 13: Segona aproximació als resultats quantitius

3. **Equació exponencial** en què intervenen tots els paràmetres (Equació 14):

$$\text{CEI (colour emotion index)} = x_1L + y_1C^n + z_1h + c_1$$

Equació 14: Tercera aproximació als resultats quantitius

4.

estudi de l'índex *n* i comparació entre cultures diferents

L'estudi estadístic de les **dades espanyoles** ens mostra que:

Conclusió n. 5:

La quantificació numèrica de les emocions associades al color (CEI, *colour emotion index*) és regular estadísticament segons cada cas i mostra correlacions matemàticament clares entre l'índex CEI i les coordenades colorimètriques dels colors mesurades espectromètricament.

Dels gràfics i de les fórmules que es deriven de cada CEI amb una sola coordenada cromàtica deduïm:

Conclusió n. 6:

Bàsicament, hi ha dos tipus de CEI, els que depenen del paràmetre colorimètric *L* (lluminositat) i els que depenen del paràmetre *C* (cromaticitat). En el cas de les dades espanyoles, no es troben CEI mixtos, és a dir, que depenguin tant dels paràmetres *L* com *C*, ni que depenguin del paràmetre *h* (tonalitat).

En el cas de les dades espanyoles, (Taula 40), els índexs CEI de les valoracions de **LD** (*light-dark*), **SH** (*soft-hard*) i **DP** (*deep-pale*) depenen del paràmetre colorimètric *L* (lluminositat), mentre que els índexs CEI de les valoracions **WC** (*warm-cool*), **VS** (*vivid-sombre*), **PaDy** (*passive-dynamic*) i **GP** (*gaudy-plain*) depenen del paràmetre *C* (cromaticitat).

<i>Intenso</i>	<i>Pálido</i>	DP (<i>deep-pale</i>)
<i>Chillón</i>	<i>Serio</i>	GP (<i>gaudy-plain</i>)
<i>Claro</i>	<i>Oscuro</i>	LD (<i>light-dark</i>)
<i>Pasivo</i>	<i>Dinámico</i>	PaDy (<i>passive-dynamic</i>)
<i>Suave</i>	<i>Duro</i>	SH (<i>soft-hard</i>)
<i>Vivo</i>	<i>Apagado</i>	VS (<i>vivid-sombre</i>)
<i>Caliente</i>	<i>Frio</i>	WC (<i>warm-cold</i>)

Taula 40: Parells de paraules oposades

Conclusió n. 7:

Les fórmules estadístiques que relacionen els índexs CEI amb cada coordenada cromàtica individualment són equacions de primer ordre. Els valors experimentals són significatius estadísticament quan se'ls relaciona amb les coordenades de mesura física dels colors.

Si s'estudia la implicació de les **coordenades de color a i b** , es comprova que en els casos en què els índexs CEI depenen de la coordenada C , la coordenada a té una major representativitat i influència que la coordenada b .

Conclusió n. 8:

En general, els colors vermell i verd són més influents en la determinació dels índexs CEI que els colors blau i groc.

Introduint millores en la formulació matemàtica s'aplica la **fórmula polinòmica de primer ordre**, en què intervien **totes les coordenades colorimètriques (Equació 15)**.

$$\text{CEI (colour emotion index)} = x_1L + y_1C + z_1h + c_1$$

Equació 15: Segona aproximació als resultats quantitius

Les tendències que hem vist abans entre la dependència dels índexs CEI i les coordenades cromàtiques es mantenen. Per fer més palesa la influència de la cromaticitat, és a dir, el que popularment entenem per color, es proposa i s'estudia una tercera fórmula (Equació 16):

$$\text{CEI (colour emotion index)} = x_1L + y_1C^n + z_1h + c_1$$

Equació 16: Tercera aproximació als resultats quantitius

En aquest cas obtenim dues diferències bàsiques amb les anteriors formulacions (Taula 41):

1. Apareixen **índexs CEI "mixtos"**: **SH** (*soft-hard*) i **DP** (*deep-pale*), que depenen de les coordenades L (lluminositat) i C (cromaticitat).
2. En alguns índexs CEI, **SH** (*soft-hard*) i **DP** (*deep-pale*), el paràmetre colorimètric h (tonalitat) pondera amb els altres dos L (lluminositat) i C (cromaticitat).

Resumint,

1. Índexs **CEI** que depenen de **L** (lluminositat), **C** (cromaticitat) i **h** (tonalitat):

LD (*light-dark*), **SH** (*soft-hard*),
DP (*deep-pale*)

2. Índexs **CEI** que depenen de **C** (cromaticitat) i **h** (tonalitat):

VS (*vivid-sombre*), **PaDy** (*passive-dynamic*)

3. Índexs **CEI** que depenen de **C** (cromaticitat):

WC (*warm-cold*),
GP (*gaudy-plain*)

<i>Intenso</i>	<i>Pálido</i>	DP (<i>deep-pale</i>)
<i>Chillón</i>	<i>Serio</i>	GP (<i>gaudy-plain</i>)
<i>Claro</i>	<i>Oscuro</i>	LD (<i>light-dark</i>)
<i>Pasivo</i>	<i>Dinámico</i>	PaDy (<i>passive-dynamic</i>)
<i>Suave</i>	<i>Duro</i>	SH (<i>soft-hard</i>)
<i>Vivo</i>	<i>Apagado</i>	VS (<i>vivid-sombre</i>)
<i>Caliente</i>	<i>Frio</i>	WC (<i>warm-cold</i>)

Taula 41: Parells de paraules oposades

En totes les formulacions estudiades els **nivells de confiança** són elevats, excepte en el cas de l'índex CEI de **WC** (*warm-cool*), que és de 60,60 (límit inferior). El valor trobat més alt (89,3) correspon a l'índex CEI de **SH** (*soft-hard*).

Nova línia d'investigació n. 3:

Aplicació d'altres models matemàtics més complexos per comprovar si realment la complexitat matemàtica millora la correlació física i estadística trobada a l'estudi.

De l'estudi de les **dades espanyoles** podem, per tant, afirmar que:

Conclusió n. 9:

Es poden trobar fórmules matemàtiques que s'ajustin a les valoracions psicològiques dels colors, fórmules matemàtiques que estan estretament lligades amb les fórmules utilitzades en les mesures físiques dels colors, és a dir, amb les fórmules colorimètriques tradicionals.

Hi ha casos en què l'índex CEI (per exemple, LD [*light-dark*] i SH [*soft-hard*]) depèn exclusivament del paràmetre L , és a dir, la lluminositat, i no de C (croma), popularment denominat *color*. Per tant, el que popularment es coneix com a *color* seria un factor secundari en aquests casos.

Conclusió n. 10:

L'apreciació popular simplificada en l'assignació de propietats psicològiques a determinats colors és errònia. Per exemple, quan es diu que el color vermell és calent, això només és contrastat per una determinada gama de colors vermells, ja que n'hi ha d'altres que la majoria de la població classifica com a freds.

Els resultats obtinguts de les dades de Hong Kong :

1. El mateix **comportament matemàtic de les dades** pel que fa a la reproductibilitat, el tractament matemàtic, etc.
2. Introduint l'**equació exponencial** s'observa també l'augment d'índexs CEI (Taula 42) que depenen de L (lluminositat), C (cromaticitat) i/o de h (tonalitat),

Índexs **CEI** que depenen de L (lluminositat), C (cromaticitat) i h (tonalitat):

LD (*light-dark*)

Índexs **CEI** que depenen de L (lluminositat) i h (tonalitat):

SH (*soft-hard*), **DP** (*deep-pale*)

Índexs **CEI** que depenen de C (cromaticitat) i h (tonalitat):

WC (*warm-cold*), **VS** (*vivid-sombre*), **PaDy** (*passive-dynamic*)

Índexs **CEI** que depenen de C (cromaticitat):

GP (*gaudy-plain*)

<i>Intenso</i>	<i>Pálido</i>	DP (<i>deep-pale</i>)
<i>Chillón</i>	<i>Serio</i>	GP (<i>gaudy-plain</i>)
<i>Claro</i>	<i>Oscuro</i>	LD (<i>light-dark</i>)
<i>Pasivo</i>	<i>Dinámico</i>	PaDy (<i>passive-dynamic</i>)
<i>Suave</i>	<i>Duro</i>	SH (<i>soft-hard</i>)
<i>Vivo</i>	<i>Apagado</i>	VS (<i>vivid-sombre</i>)
<i>Caliente</i>	<i>Frío</i>	WC (<i>warm-cold</i>)

Taula 42: Parells de paraules oposades

3. El valor del **nivell de confiança** més alt és de **91,72** i el valor més baix és de **68,11**.

Els resultats obtinguts de les dades de Japó:

4. El mateix **comportament matemàtic de les dades** pel que fa a la reproductibilitat, el tractament matemàtic, etc.
5. Introduint l'**equació exponencial** s'observa també l'augment d'índexs CEI (Taula 43) que depenen de L (lluminositat), C (cromaticitat) i/o de h (tonalitat),

Índexs **CEI** que depenen de L (lluminositat), C (cromaticitat) i h (tonalitat):

DP (*deep-pale*)

Índexs **CEI** que depenen de L (lluminositat) i C (cromaticitat):

LD (*light-dark*), **SH** (*soft-hard*), **WC** (*warm-cold*)

Índexs **CEI** que depenen de C (cromaticitat) i h (tonalitat):

PaDy (*passive-dynamic*)

Índexs **CEI** que depenen de C (cromaticitat):

GP (*gaudy-plain*), **VS** (*vivid-sombre*)

<i>Intenso</i>	<i>Pálido</i>	DP (<i>deep-pale</i>)
<i>Chillón</i>	<i>Serio</i>	GP (<i>gaudy-plain</i>)
<i>Claro</i>	<i>Oscuro</i>	LD (<i>light-dark</i>)
<i>Pasivo</i>	<i>Dinámico</i>	PaDy (<i>passive-dynamic</i>)
<i>Suave</i>	<i>Duro</i>	SH (<i>soft-hard</i>)
<i>Vivo</i>	<i>Apagado</i>	VS (<i>vivid-sombre</i>)
<i>Caliente</i>	<i>Frío</i>	WC (<i>warm-cold</i>)

Taula 43: Parells de paraules oposades

6. El valor del **nivell de confiança** més alt és de **87,46** i el valor més baix és de **69,04**.

Els resultats obtinguts de les dades de Tailàndia:

7. El mateix **comportament matemàtic de les dades** pel que fa a la reproductibilitat, el tractament matemàtic, etc.
8. Introduint l'**equació exponencial** s'observa també l'augment d'índexs CEI (Taula 44) que depenen de L (lluminositat), C (cromaticitat) i/o de h (tonalitat),

Índexs CEI que depenen de L (lluminositat):

LD (*light-dark*), **SH** (*soft-hard*), **DP** (*deep-pale*)

Índexs CEI que depenen de C (cromaticitat):

WC (*warm-cold*), **VS** (*vivid-sombre*),
PaDy (*passive-dynamic*), **GP** (*gaudy-plain*)

<i>Intenso</i>	<i>Palido</i>	DP (<i>deep-pale</i>)
<i>Chillón</i>	<i>Serio</i>	GP (<i>gaudy-plain</i>)
<i>Claro</i>	<i>Oscuro</i>	LD (<i>light-dark</i>)
<i>Pasivo</i>	<i>Dinámico</i>	PaDy (<i>passive-dynamic</i>)
<i>Suave</i>	<i>Duro</i>	SH (<i>soft-hard</i>)
<i>Vivo</i>	<i>Apagado</i>	VS (<i>vivid-sombre</i>)
<i>Caliente</i>	<i>Frio</i>	WC (<i>warm-cold</i>)

Taula 44: Parells de paraules oposades

9. El valor del **nivell de confiança** més alt és de **53,90** i el valor més baix és d'**11,4**.

De la comparació intercultural de dades podem deduir que:

Conclusió n. 11:

La metodologia de càlcul de l'índex d'emoció del color i els principis generals i bàsics que el defineixen són transculturals. Les dades obtingudes dels diferents països poden rebre el mateix tractament matemàtic, de manera que se n'obtenen informacions comparables. No s'ha rebutjat cap dels estudis obtinguts dels diferents països participants.

Conclusió n. 12:

Cada cultura, però, modula aquests principis generals d'una manera específica i pròpia. Aquest factor o característica cultural, que també inclou els factors ambientals, és definible matemàticament (en el nostre estudi l'hem anomenat factor cultural n).

El factor cultural n és l'índex exponencial associat al paràmetre C (cromaticitat).

El factor exponencial n sembla ser, doncs, un factor de ponderació important del paràmetre C (de la cromaticitat). També, encara que en menor proporció, ho és del paràmetre h (tonalitat). Sembla ser també **l'índex de la culturalitat**, és a dir, ens pot indicar fins a quin punt **la cultura pot modificar l'apreciació psicològica dels colors**, la qual sembla que té majoritàriament una **base física i anatòmica**, així com també les vies fisiològiques de percepció d'un color, **universals**.

Una altra conclusió de l'estudi intercultural de la influència de la cultura o, en aquest cas, de la situació geogràfica en l'estudi de l'apreciació psicològica dels colors, és la següent:

Conclusió n. 13:

La lluminositat ha resultat ser un factor molt important en l'apreciació psicològica d'un color.

Podríem considerar, doncs, que els humans tenim aproximadament el mateix *background* biològic en relació amb els colors, que es pot mesurar principalment pel paràmetre colorimètric *C* (cromaticitat)—molt modificat, però, segons la localització geogràfica— i, per tant, per les propietats de la llum —factor mesurat principalment pel paràmetre colorimètric de la *L* (lluminositat). En la tesi hem definit **un índex matemàtic (*n*) que atribueix un valor i compara aquests dos factors i és, per tant, una indicació sobre les diferències culturals i/o geogràfiques, que influeixen en l'apreciació psicològica dels colors.**

Nova línia d'investigació, n. 4:

Seria interessant poder atribuir en un futur un percentatge matemàtic als factors genètics enfront dels factors culturals.

Per finalitzar, podem concloure que a **l'estudi psicològic dels colors se li pot aplicar una metodologia matemàtica** tal com s'ha fet en el cas de l'estudi de la colorimetria tradicional, la qual cosa obre, per tant, la porta a **futurs estudis objectius i científics**, com ara l'aplicació artística dels colors; estudis que se sumaran al nombrosos estudis existents, la majoria dels quals són subjectius o tracten dels mateixos temes, **ja que,**

Conclusió n. 14:

Els factors físics i psicològics semblen profundament interrelacionats i inseparables quant a la percepció del color i la seva posterior mesura física i/o valoració psicològica.

Nova línia d'investigació, n. 5:

Aquesta nova i necessària aproximació a la psicologia del color pot tenir com a resultat l'automatització del càlcul d'aquests paràmetres en colorímetres i en altres aplicacions útils en camps d'interès com ara la publicitat o el màrqueting.

11. BIBLIOGRAFIA.

1. Fig. 1: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.78). John Wiley & Sons, Inc. 2000.
2. Fig. 2: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.37). John Wiley & Sons, Inc. 2000.
3. *Sir Isaac Newton. OPTICKS, or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. Dover Publications, New York, 1952.
4. Fig. 3: *Frans Gerritsen. Color*. (pag.126). Editorial Blume, 1976.
5. Fig.4: Datacolor International. *Color & Colorimetria* (pag.5). Alain Christment, Paris, 1998.
6. *K. Nassau. The Physics and Chemistry of Color; The Fifteen Causes of Color*. John Wiley & Sons, New York, 1983.
7. Fig. 5: Datacolor International. *Color & Colorimetria* (pag.6). Alain Christment, Paris, 1998.
8. Fig. 6: Datacolor International. *Color & Colorimetria* (pag.7). Alain Christment, Paris, 1998.
9. Fig. 7: Datacolor International. *Color & Colorimetria* (pag.7). Alain Christment, Paris, 1998..
10. *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology*. John Wiley & Sons, Inc. 2000. (pag.3-6)
11. Fig. 8: Datacolor International. *Color & Colorimetria* (pag.8). Alain Christment, Paris, 1998.
12. *ASTM E 284. Standard Terminology of Appearance*. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
13. *ASTM E 284. Standard Terminology of Appearance*. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
14. Fig. 9: Datacolor International. *Color & Colorimetria* (pag.9). Alain Christment, Paris, 1998.
15. *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology*. John Wiley & Sons, Inc. 2000. (pag.7-9)
16. *ASTM E 284. Standard Terminology of Appearance*. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
17. *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology*. John Wiley & Sons, Inc. 2000. (pag.10)
18. *CIE N° 38. Radiometric and Photometric Characteristics of Materials and Their Measurement*. Commission Internationale de l'Éclairage, Vienna, Austria, 1977.
19. Fig. 10: *Suzy Chiazzari. Color*. (pag.26). Ed. Blume, 1999.
20. *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology*. John Wiley & Sons, Inc. 2000. (pag.13)
21. *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology*. John Wiley & Sons, Inc. 2000. (pag.14)
22. Fig. 11: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology*. (pag.15). John Wiley & Sons, Inc. 2000.
23. Fig. 12: Datacolor International. *Color & Colorimetria* (pag.11). Alain Christment, Paris, 1998.

24. Fig. 13: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.12). Alain Christment, Paris, 1998.
25. *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology*. John Wiley & Sons, Inc. 2000. (pag.16-17)
26. Fig. 14: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology*. (pag.16). John Wiley & Sons, Inc. 2000.
27. *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology*. John Wiley & Sons, Inc. 2000. (pag.18-19)
28. Fig. 15: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.15). Alain Christment, Paris, 1998.
29. Fig. 16: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.10). Alain Christment, Paris, 1998
30. *Frans Gerritsen. Color*. (pag.51). Editorial Blume, 1976.
31. Fig. 17: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.16). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
32. Fig. 18: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.19). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
33. Fig. 19: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.20). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
34. *Ishihara. Test for Colour-Blindness*. 16 plates edition, Kanehara Shuppan Co.,Ltd., Tokyo, 1962.
35. *Suzy Chiazzari. Color*. (pag.11). Ed. Blume, 1999.
36. Fig. 20: *Suzy Chiazzari. Color*. (pag.10). Ed. Blume, 1999.
37. Fig. 21: *Suzy Chiazzari. Color*. (pag.2). Ed. Blume, 1999.
38. *CIE N° 17.4. International Lighting Vocabulary*. 4th ed., Commission Internationale de l'Éclairage, Vienna, Austria, 1987.
39. *ASTM E 284. Standard Terminology of Appearance*. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
40. *ASTM E 284. Standard Terminology of Appearance*. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
41. Fig. 22: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.3). Alain Christment, Paris, 1998.
42. Fig. 23: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.21,22). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
43. *Roy Osborne. Telesio's Dictionary of Latin Color Terms*. Color Research and Application, Volume 27, Issue 3, 2002.
44. Fig. 24: *Suzy Chiazzari. Color*. (pag.62). Ed. Blume, 1999.
45. Fig. 25: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.21). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
46. Fig. 26: *Suzy Chiazzari. Color*. (pag.164). Ed. Blume, 1999.

47. Fig. 27: *Suzy Chiazzari. Color.* (pag.139). Ed. Blume, 1999.
48. Fig. 28: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.32). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
49. Fig. 29: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.32). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
50. Fig. 30: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.32). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
51. *W.C. Granville, E. Jacobson. Colorimetric specification of the Color Harmony Manual from spectrophotometric measurements.* J. Opt. Spc. Am. 34, 1944.
52. **True Color Process Guide**, Krug Litho Art Co., Inc., Kansas City, MO, 1955.
53. **Pantone Matching System**, Pantone, Inc., 590 Commerce Blvd., Carlstadt, NJ, 07072-3098.
54. **TRUMATCH**, Inc., 50 East 72nd, Suite 15B, New York, NY 10021.
55. Fig. 31: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.33). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
56. *C. S. McCamy. Physical exemplification of color order systems.* Color Res. Appl. 10, 1985.
57. Fig. 32: *Frans Gerritsen. Color.* (pag.108). Editorial Blume, 1976.
58. *H. Munsell. Munsell Book of Color.* Munsell Color Co., Baltimore, MD, 1929.
59. Fig. 33: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.38). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
60. Fig. 34: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.39). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
61. Fig. 35: *Frans Gerritsen. Color.* (pag.107). Editorial Blume, 1976.
62. Fig. 36: *Frans Gerritsen. Color.* (pag.109). Editorial Blume, 1976.
63. Fig. 37: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.39). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
64. Fig. 38: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.39). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
65. *Natural Color System (NCS), SS 01 91 00. Colour Notation System.* Swedish Standards Institute, Stockholm, 1979, 2nd edition, 1990.
66. Fig. 39: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.40). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
67. Fig. 40: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.41). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
68. *ASTM E 1360. Standard Practice for Specifying Color by Using the Optical Society of America Uniform Color Scales System.* American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

69. Fig. 41: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.41). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
70. Fig. 42: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.41). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
71. Fig. 43: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.43). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
72. Fig. 44: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.43). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
73. *CIE N° 116. Industrial Colour-Difference Evaluation*. Commission Internationale de l'Éclairage, Vienna, Austria, 1995.
74. *CIE N° 130. Practical Methods for the Measurement of Reflectance and Transmittance*. Commission Internationale de l'Éclairage, Vienna, Austria, 1998.
75. Fig. 45: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.9). Alain Christment, Paris, 1998.
76. Fig. 46: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.9). Alain Christment, Paris, 1998.
77. Fig. 47: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.12). Alain Christment, Paris, 1998.
78. *CIE N° 15.2. Colorimetry*. 2nd ed., Commission Internationale de l'Éclairage, Vienna, Austria, 1986.
79. Fig. 48: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.13). Alain Christment, Paris, 1998.
80. Fig. 49: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.13). Alain Christment, Paris, 1998
81. *CIE N° 41. Light as a True Visual Quantity: Principles of Measurement*. Commission Internationale de l'Éclairage, Vienna, Austria, 1978.
82. Fig. 50: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.13). Alain Christment, Paris, 1998
83. Fig. 51: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.14). Alain Christment, Paris, 1998
84. Fig. 52: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.15). Alain Christment, Paris, 1998
85. Fig. 53: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.15). Alain Christment, Paris, 1998
86. Fig. 54: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.16). Alain Christment, Paris, 1998
87. Fig. 55: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.17). Alain Christment, Paris, 1998
88. Fig. 56: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.3). Alain Christment, Paris, 1998
89. Fig. 57: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.17). Alain Christment, Paris, 1998
90. Fig. 58: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.18). Alain Christment, Paris, 1998
91. Fig. 59: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.18). Alain Christment, Paris, 1998
92. Fig. 60: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.19). Alain Christment, Paris, 1998
93. Fig. 61: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.19). Alain Christment, Paris, 1998
94. Fig. 62: Datacolor International. *Color & Colorimetrica* (pag.20). Alain Christment, Paris, 1998

95. Fig. 63: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.21). Alain Christment, Paris, 1998
96. *CIE N° 15.2. Colorimetry*. 2nd ed., Commission Internationale de l'Éclairage, Vienna, Austria, 1986.
97. Fig. 64: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.21). Alain Christment, Paris, 1998
98. Fig. 65: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.21). Alain Christment, Paris, 1998
99. *CIE N° 15.2. Colorimetry*. 2nd ed., Commission Internationale de l'Éclairage, Vienna, Austria, 1986.
100. Fig. 66: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.22). Alain Christment, Paris, 1998
101. *CIE N° 15.2. Colorimetry*. 2nd ed., Commission Internationale de l'Éclairage, Vienna, Austria, 1986.
102. Fig. 67: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.22). Alain Christment, Paris, 1998
103. *CIE N° 15.2. Colorimetry*. 2nd ed., Commission Internationale de l'Éclairage, Vienna, Austria, 1986.
104. Fig. 68: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.22). Alain Christment, Paris, 1998
105. Fig. 69: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.23). Alain Christment, Paris, 1998
106. Fig. 70: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.23). Alain Christment, Paris, 1998
107. Fig. 71: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.23). Alain Christment, Paris, 1998
108. *John H. Xin, Ka-Man Cheng. Quantitative evaluation of colour emotion*. Microsymposium on Colour Research and Application (2000), Kyoto, Japan.
109. Fig. 72: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.23). Alain Christment, Paris, 1998
110. Fig. 73: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.24). Alain Christment, Paris, 1998
111. Fig. 74: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.24). Alain Christment, Paris, 1998
112. *Yuka Miki, Tetsuhiro Shinno, Kouichi Kuwano, Hirishi Hoshino, Taeko Nakamura, Tetsuya Sato, Kanji Kajiwara. Color emotional assessments with three independent media*. Proceedings of AIC Midterm Meeting (1999), Warsaw, Poland.
113. Fig. 75: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.24). Alain Christment, Paris, 1998
114. *John H. Xin, Ka-Man Cheng. Quantitative evaluation of colour emotion*. Microsymposium on Colour Research and Application (2000), Kyoto, Japan.
115. Fig. 76: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.25). Alain Christment, Paris, 1998
116. Fig. 77: Datacolor International. **Color & Colorimetrica** (pag.25). Alain Christment, Paris, 1998
117. Fig. 78: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.119). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
118. Fig. 79: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.119). John Wiley & Sons, Inc. 1954.

119. Fig. 80: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.119). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
120. Fig. 81: *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.119). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
121. *Roy S. Berns. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology* (pag.115-121). John Wiley & Sons, Inc. 1954.
122. Fig. 82: *Suzy Chiazzari. Color.* (pag.229). Ed. Blume, 1999.
123. *W. D. Wells, D. Prenskey. Consumer behavior.* John Wiley & Sons, 1996.
124. *D. Hawkins, R. Best, K. Coney. Consumer behavior implications for marketing strategy.* Richard Irwin, Inc., 1995.
125. *E. McKenna. Business psychology and organisational behaviour.* Lawrence Erlbaum Associates, 1994.
126. *M. M. Terwogt, J. B. Hoeksma. J. General Psychol,* 1995.
127. *T. F. Karwoski, H. S. Odbert. Psychol. Monographs,* 1938.
128. *Bjerstedt. Perceptual Motor Skills,* 1960.
129. *S. E. Katz. J. Abnormal Social Psychol,* 1931.
130. *H. Rorschach. Psychodiagnostics.* New York: Grune nad Stratton, 1942.
131. *M. Lüscher. The Lüscher color test.* Ed. I Scott, New York: Random House, 1965.
132. *R. Heiss. Psychol. Rev,* 1952.
133. *K. Goldstein. Occupational Therapy,* 1942.
134. *J. S. Nakashian. J. General Psychol.,* 1964.
135. Fig. 83: *Suzy Chiazzari. Color.* (pag.166). Ed. Blume, 1999.
136. *K. L. Kelly, D. B. Judd. Color: universal language and dictionary of names.* NBS Special Publication 440, US Government Printing Office, 1976.
137. Fig. 84: *Suzy Chiazzari. Color.* (pag.55). Ed. Blume, 1999.
138. Fig. 85: *Suzy Chiazzari. Color.* (pag.53). Ed. Blume, 1999.
139. Fig. 86: *Mark Waid. Batman: Barcelona, El caballero del Dragón.* Portada. Planeta de Agostini, 2009.
140. *Monica Billger, Ylva Konradsson, Beata Stahre. Colour emotions in Sweden.* International Conference on colour emotion, research and application (2992), Chulalongkorn University, Thailand.
141. *L. Grace Juan, Yang-Cheng Lin, Shing-Sheng Guan. Color emotions based on data of Taiwanese.* International Conference on Color Emotion Research and Application (2002) Chulalongkorn University, Thailand.

142. *P. Pungrassamee, A. Hansuebsai, O. Promsakha-na-Sakonnakorn, T. Sato, T. Nakamura.* **The arrangement of Thai color emotion words in color spaces.** International Conference on Color Emotion Research and Application (2002). Chulalongkorn University, Thailand.
143. *M. R. Luo.* **Memory and colours and colour naming.** International Conference on Color Emotion Research and Application (2002). Chulalongkorn University, Thailand..
144. *J. Valldeperas, R Manau, M.L. Lis, J.A. Navarro.* **Specificity in the color sensations evaluation by Spanish observers.** International Conference on Color Emotion Research and Application (2002). Chulalongkorn University, Thailand.
145. *John H. Xin.* **Culture effects on colour emotions.** Institute of Textiles & Clothing, The Hong-Kong Polytechnic University, Hong Kong. International Conference on Color Emotion Research and Application (2002). Chulalongkorn University, Thailand.
146. *T. Sato, K. Morimoto, T. Nakamura, H. Hocino, K. Kajiwara.* **Numerical Expression of Colour Emotion and its Application.** International Conference on Color Emotion Research and Application (2002). Chulalongkorn University, Thailand.
147. Fig. 105: **Spiderman 3.** Publicitat Cines Segle XXI, 2007, Terrassa.
148. Fig. 120: Contraportada **HONDA world** nº7, 2008.
149. Fig. 135: **AR La revista de Ana Rosa Quintana** (pag.37). nº 48, 2008
150. Fig. 150: Fig. 81: *Roy S. Berns.* **Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology** (pag.30). John Wiley & Sons, Inc. 1954.

12. ARTICLES PUBLICATS.
GRUPS DE TREBALL.COMISSIONS TÈCNIQUES.
CONGRESSOS I CONFERÈNCIES.

12.1 Artículos publicats referents al tema amb la participació de la doctorant.

C. Abad, M. Calatrava, J. Carmona, M. Escriba, J. Gibert, M. Luria, R. Manau, M. Palat, M. Reig, M. Sitjà, J. Valldeperas. **Diferencias de cálculo en distintos sistemas colorimétricos.** Revista de Química Textil. Nº 106, enero-marzo, 1992.

C. Abad, C. Aguilar, M. Calatrava, J. Carmona, J. Gibert, M. Luria, R. Manau, M. Palat, C. Roig, M. Sitjà, J. Valldeperas. **Evaluación de la fórmula CMC para el cálculo de diferencias de color.** Revista de Química Textil. Nº 122, abril-junio, 1995

J. Valldeperas, R. Manau, M.L. Lis, J.A. Navarro. **Specificity in the color sensations evaluation by Spanish observers.** International Conference on Color Emotion Research and Application (2002). Chulalongkorn University, Thailand.

12.2 Grups de treball. Comissions tècniques.

La doctorant és membre del Grup de Treball **GT-Color de la Subcomissió de Solideses, SC Solideces del CTN-40 d'AENOR**, des del 26 d'octubre de l'any 1989 segons consta en l'Acta N°8 d'aquest Grup de Treball.

12.3 Congressos i Conferències.

El Laboratori de Tecnologia Tèxtil Química i Control de Qualitat de INTEXTER, mitjançant la Subcomisión de Solideces y Medida del Color SC1/CTN-40/AENOR, ha participat des de l'any 1974 a les reunions internacionals ISO/TC38/SC1 , ECE i CEN on es tracten entre altres temes les Normes Tècniques relacionades amb la Colorimetria com per exemple, diferències de color, graus de blanc, mesures colorimètriques de les mostres de solideses, etc... La doctorand ha participat en dues d'aquestes reunions (marcades amb negreta).

Els articles publicats amb motiu de la participació a les esmentades reunions internacionals són:

- 10^o Reunión de la ISO TC 38/SC1 (Paris, 1974). Prof. J. Cegarra, J. Pes, Dr. J. Valldeperas. Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial, N^o 60, octubre-diciembre 1974.
- Reunión de la ECE en Mulhouse (1974). J. Pes, J. Valldeperas. Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial, N^o 62, abril-junio 1975.
- 11^a Reunión Plenaria de la ECE (Rhoendorf bei Bonn, 1976). J. Pes, J. Valldeperas. Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial, N^o 69, abril-junio 1977.
- XI Reunión plenaria de la ISO/TC38/SC1 (Ottawa, 1977). Prof. J. Cegarra, J. Pes, Dr. J. Valldeperas. Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial, N^o 72, 1977.
- 12^a Reunión de la ECE (Bradford, 1980). Prof. J. Pes, Dr. J. Valldeperas. Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial, 1977.
- XII Reunión del ISO/TC38/SC1 (Copenhague, 1981). J. Pes, Dr. J. Valldeperas. Revista de Química Textil, N^o 63, julio-septiembre, 1981.
- XIII Reunión del ISO/TC38/SC1 (Manchester, 1984). J. Pes, Dr. J. Valldeperas, M. Reig. Revista de la Industria Textil N^o 223, diciembre 1984. Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial, N^o 86, 1984.
- 13^a Reunión de la ECE (St. Gallen, 1984). Dr. J. Valldeperas, I. Forcada. Revista de la Industria Textil, N^o 222, noviembre 1984.
- 14^a Reunión Plenaria de la ECE (Mulhouse, 1987). Dr. J. Valldeperas, J.M. Gibert. Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial, N^o 91, 1987.
- XIV Reunión Plenaria de la ISO/TC38/SC1 (Bad Soden am Taunus, 1987). Prof. J. Cegarra, Dr. J. Valldeperas, J.M. Gibert. Revista de Química Textil, N^o 87, julio-septiembre, 1987.
- 15^a Reunión Plenaria de ISO/TC38/SC1 (Williamsburg, 1989). Prof. J. Cegarra, Dr. J. Valldeperas, J.M. Gibert. Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial, N^o 97, 1990. Revista de Química Textil, N^o 98, julio, 1990.
- 15^a Reunión Plenaria de la ECE (Barcelona, 1989). Prof. J. Cegarra, J. Pes, Dr. J. Valldeperas. Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial, N^o 98, 1990.
- Reunión del CEN/TC 248/SC3 (Paris, 1991). Dr. J. Valldeperas. Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial, N^o 101, 1992.
- 16^a Reunión Plenaria de la ECE (St. Gallen, 1992). Dr. J. Valldeperas. Revista de Química Textil, N^o 107, abril-junio, 1992.
- **16^a Reunión Plenaria del ISO/TC38/SC1 (Paris, 1992). Dr. J. Valldeperas, J.M. Gibert, R. Manau. Revista de Química Textil, N^o 103, julio, 1992.**
- 11^a Reunión del ISO/TC38 (Manchester, 1993). J.M. Gibert. Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial, N^o 105, 1994.

- Reunión del CEN/TC248 (Manchester, 1993). J.M. Gibert. Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial, Nº 105, 1994.
- **17ª Reunión Plenaria del ISO/TC38/SC1 (St. Gallen, 1995). Dr. J. Valldeperas, J.M. Gibert, R. Manau. Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial, Nº 108, 1995. Revista de Química Textil, Nº 124, julio-septiembre, 1995.**
- 17ª Reunión Plenaria de la ECE (Berlín, 1995). Dr. J. Valldeperas, J.M. Gibert. Revista de Química Textil, Nº 124, julio-septiembre, 1995.
- 18ª Reunión Plenaria de la ECE (Bradford, 1998). Dr. J. Valldeperas, J.M. Gibert. Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial, Nº 113, 1998.
- 18ª Reunión Plenaria del ISO/TC38/SC1 (Charleston, 1998). Prof. J. Cegarra, Dr. J. Valldeperas, J.M. Gibert. Revista de Química Textil, Nº 144, julio-septiembre, 1999.
- 19ª Reunión Plenaria del ISO/TC38/SC1 (Goteborg, 2001). Dr. J. Valldeperas, J.M. Gibert, Dr. F. Enrich. Revista de Química Textil, Nº 156, enero-marzo, 2002.
- 20ª Reunión Plenaria del ISO/TC38/SC1 (Terrassa, 2004). Dr. J. Valldeperas, J.M. Gibert, Dr. F. Enrich. Revista de Química Textil, 12, 14 julio del 2004.

13. ANNEXOS.

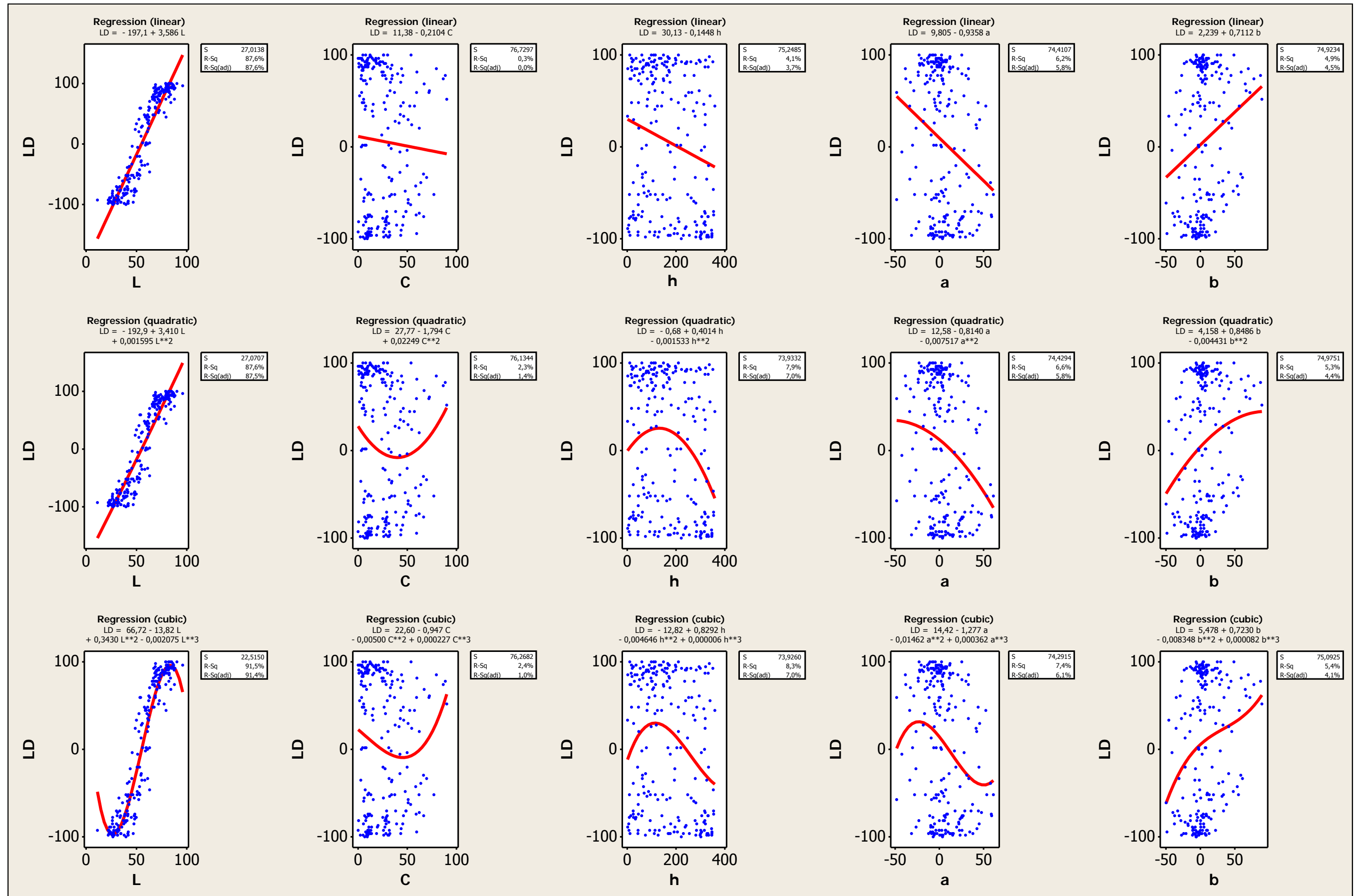


Fig. 92: Emoció associada al color LD/Espanya (gràfics i equacions de regressió)

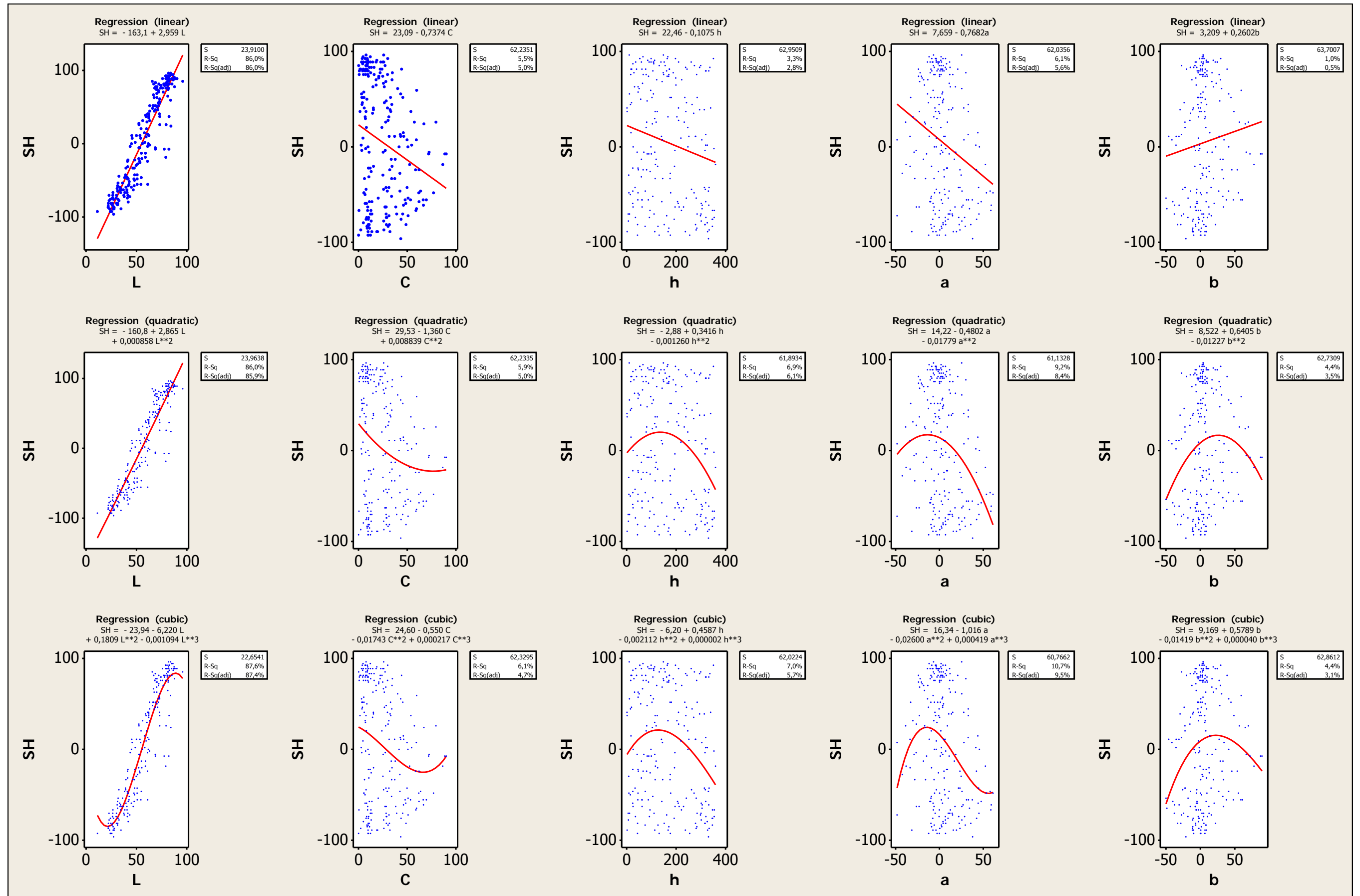


Fig. 94: Emoció associada al color SH/Espanya (gràfics i equacions de regressió)

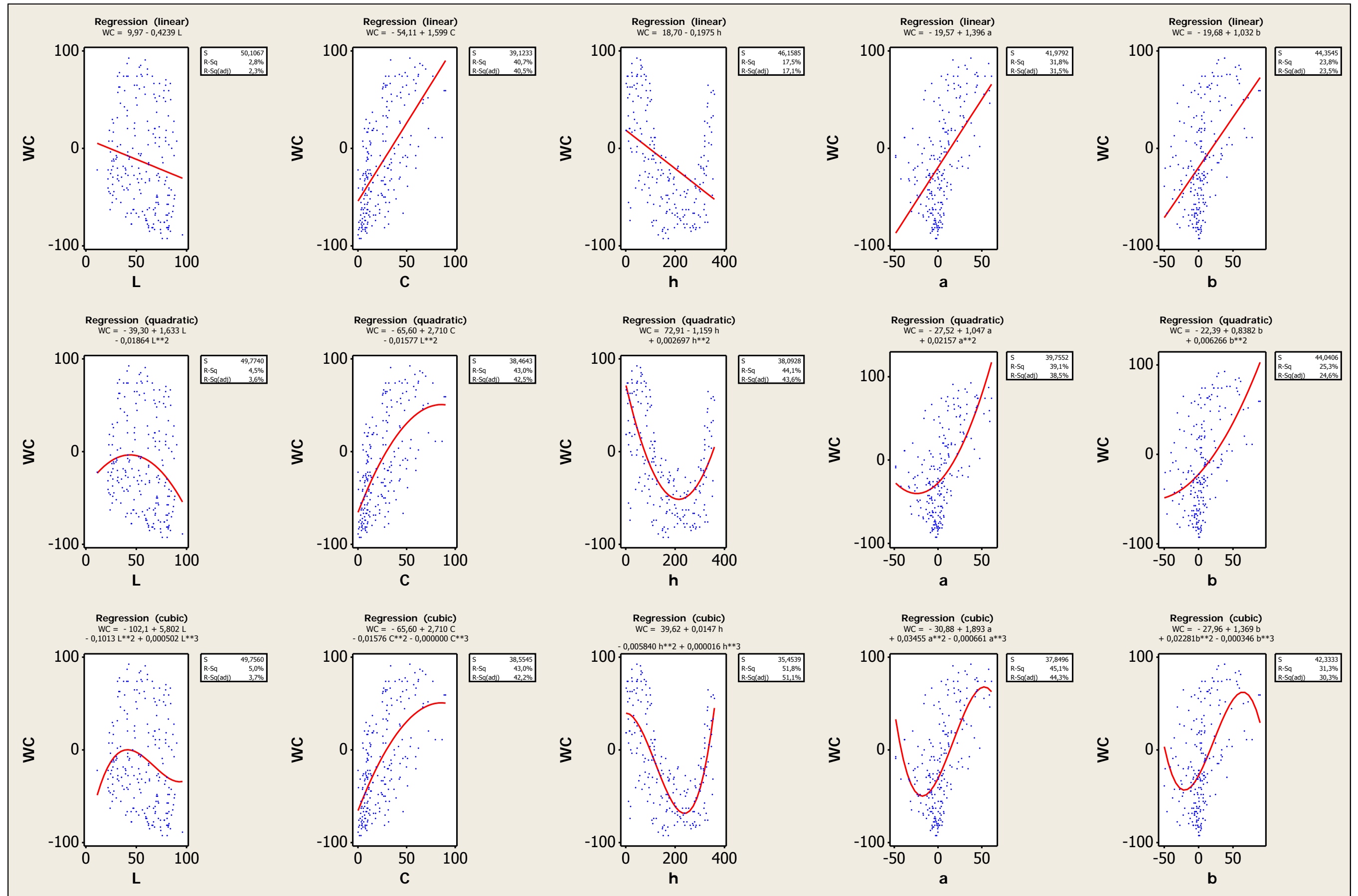


Fig. 96: Emoció associada al color WC/Espanya (gràfics i equacions de regressió)

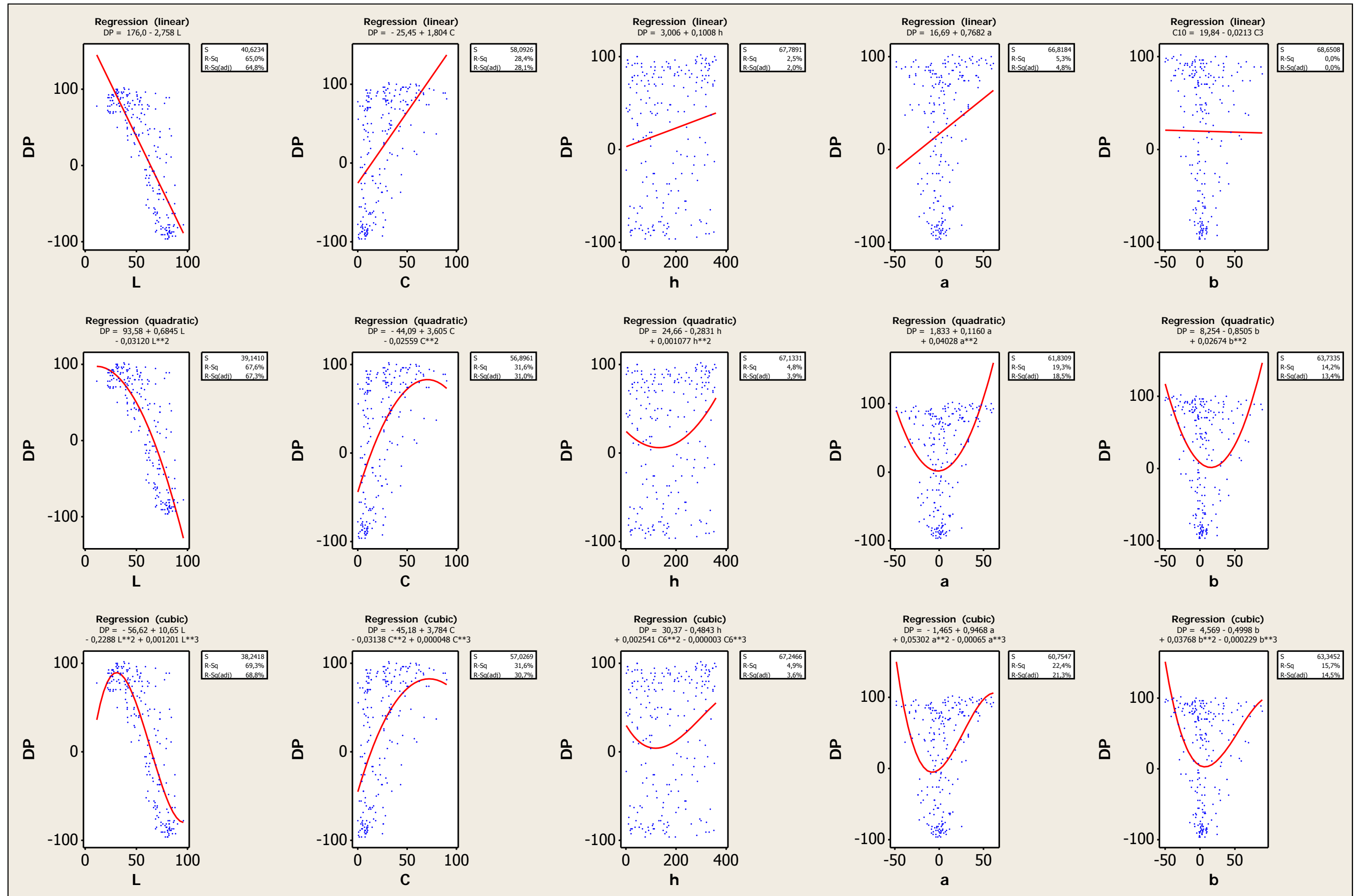


Fig.98: Emoció associada al color DP/Espanya (gràfics i equacions de regressió)

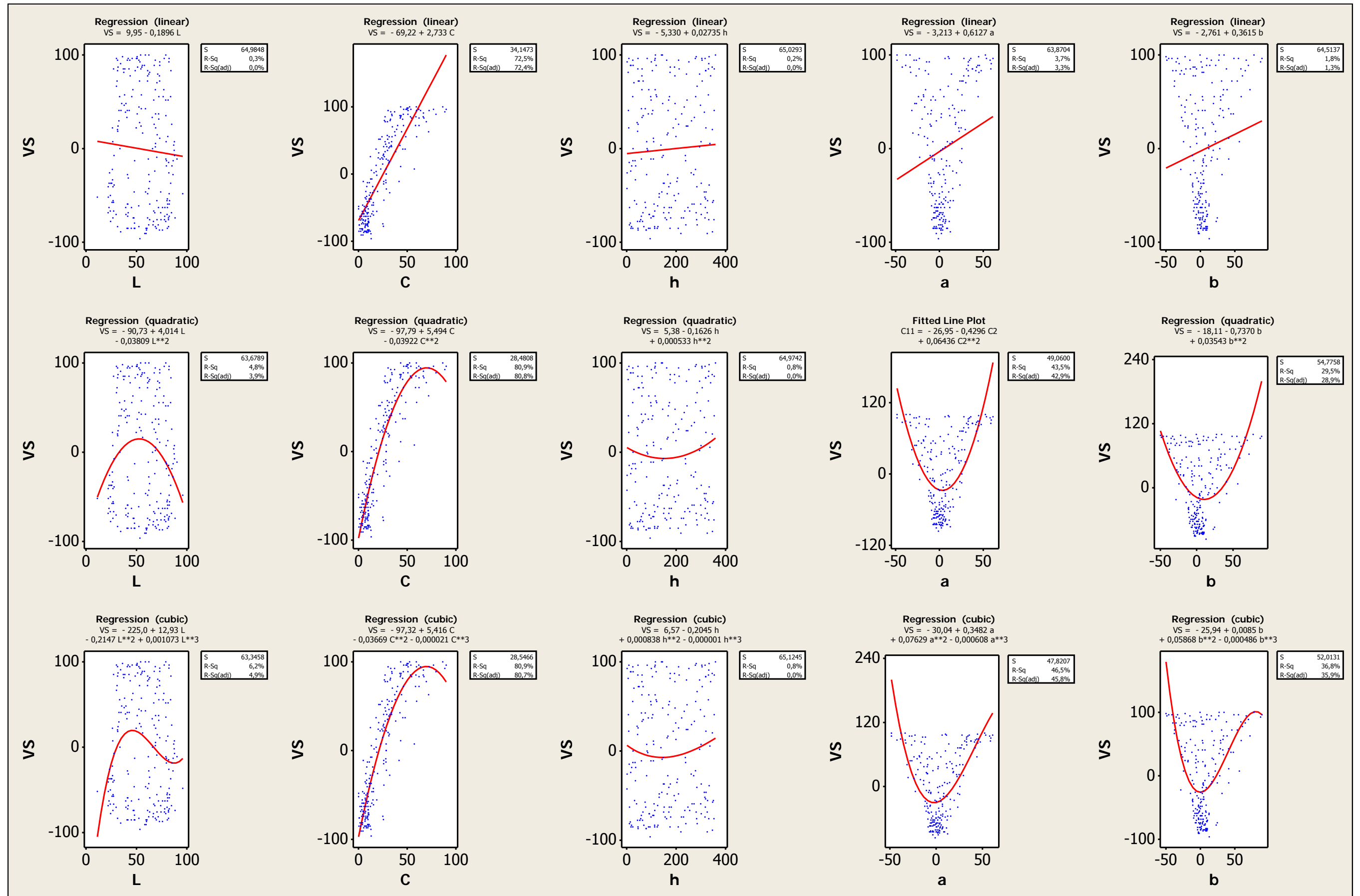


Fig. 100: Emoció associada al color VS/Espanya (gràfics i equacions de regressió)

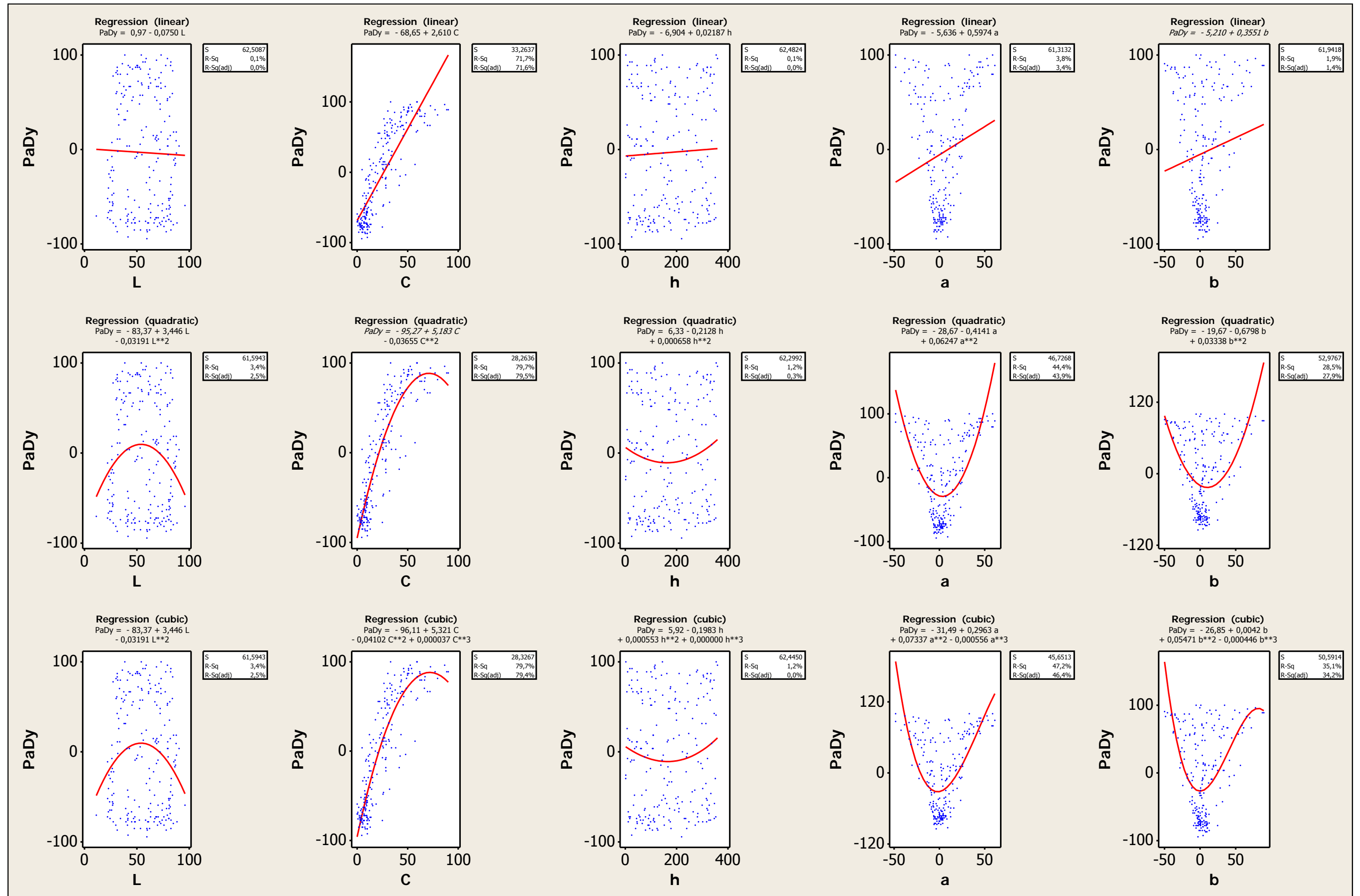


Fig. 102: Emoció associada al color PaDy/Espanya (gràfics i equacions de regressió)

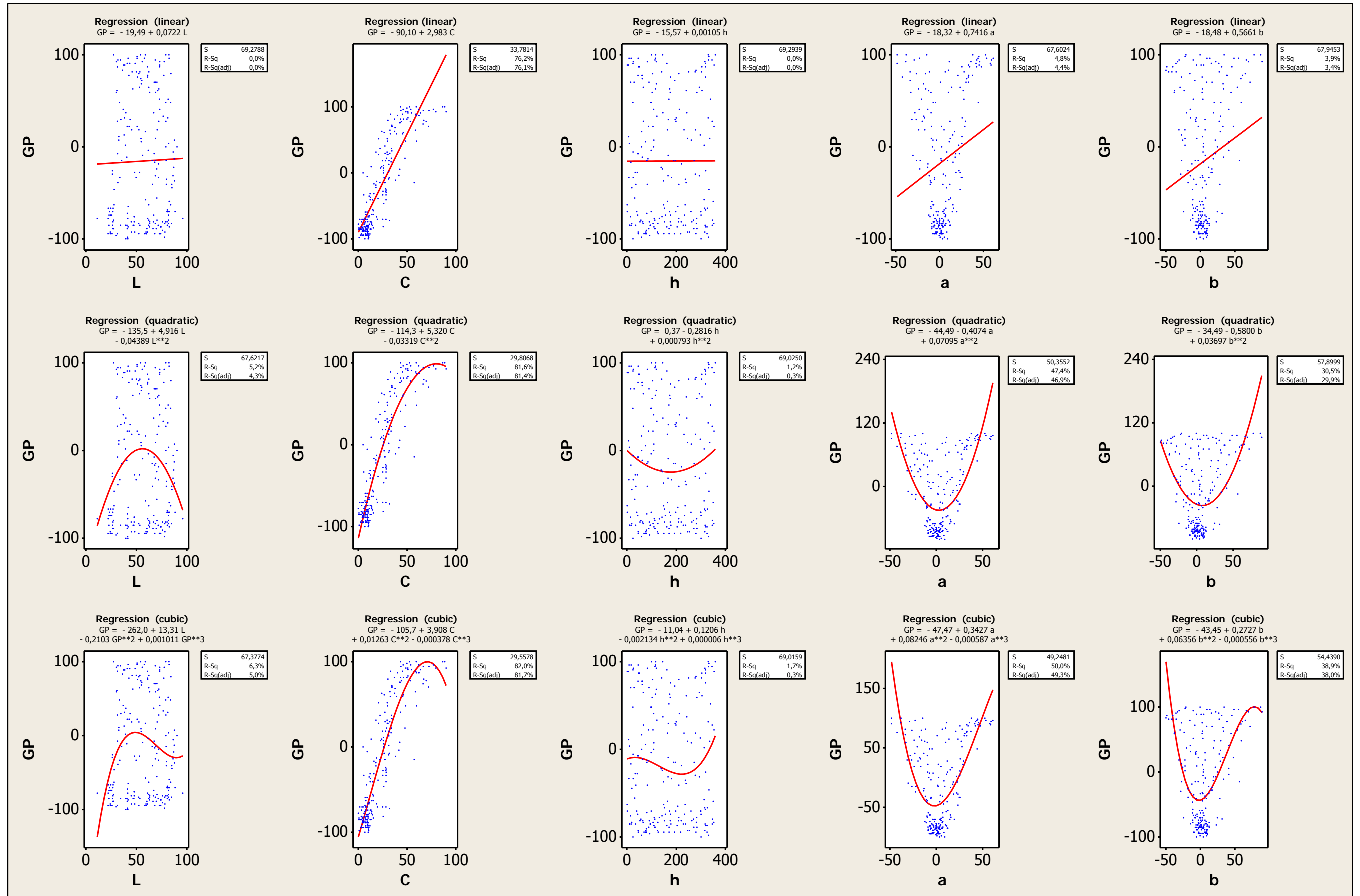


Fig. 104. Emoció associada al color GP/Espanya (gràfics i equacions de regressió)

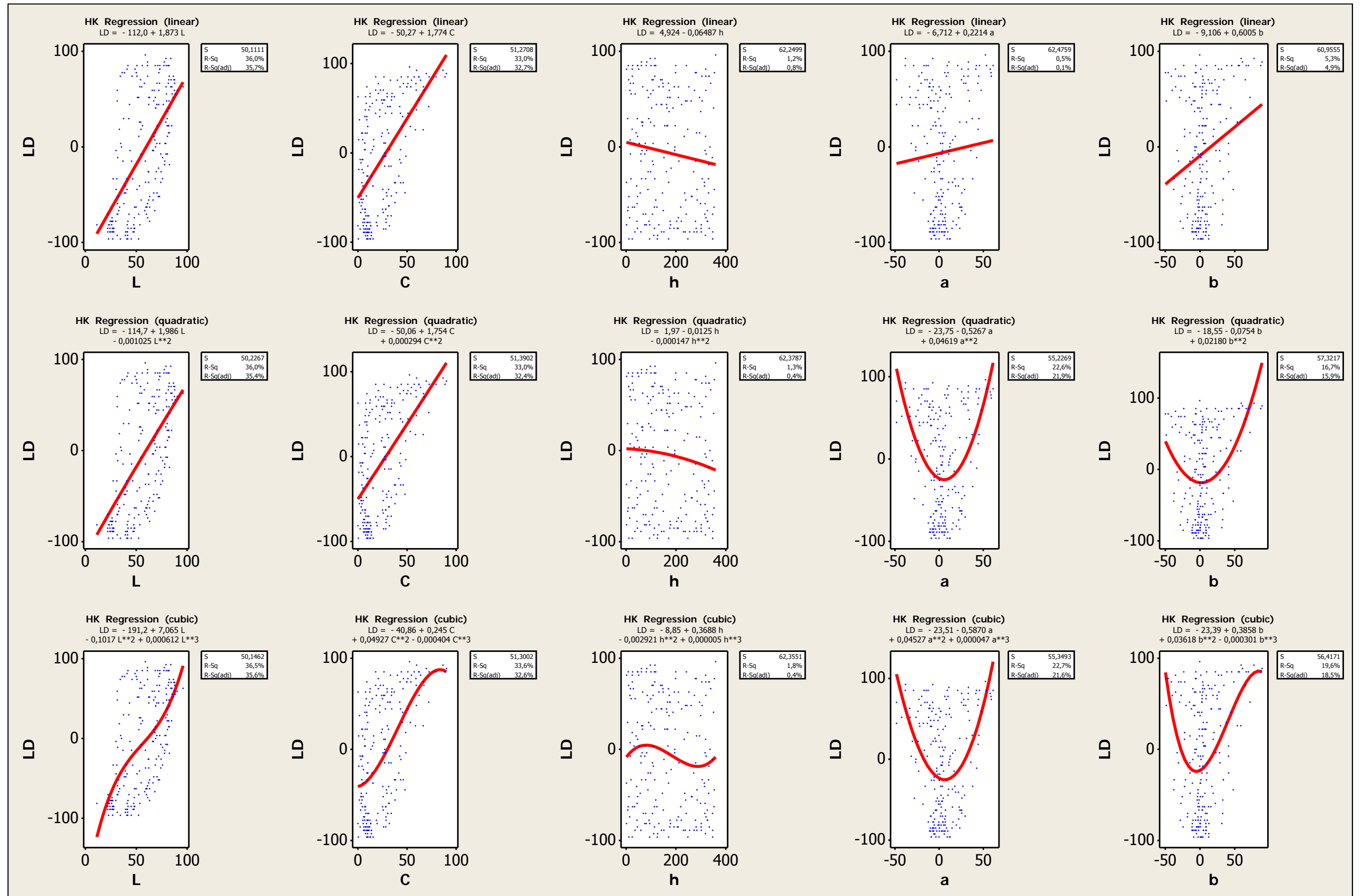


Fig. 107: Emoció associada al color LD/Hong Kong (gràfics i equacions de regressió)

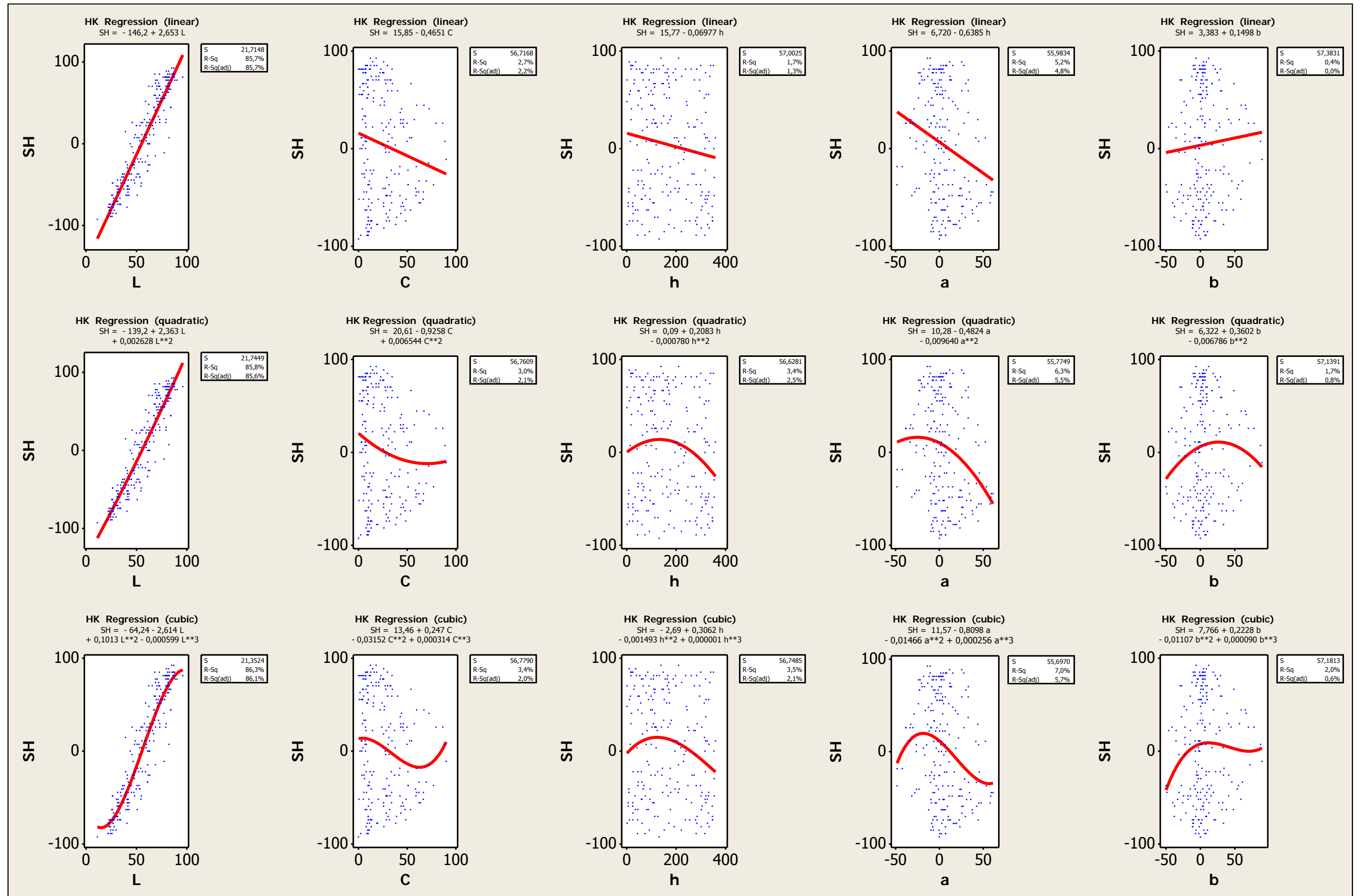


Fig. 109: Emoció associada al color SH/Hong Kong (gràfics i equacions de regressió)

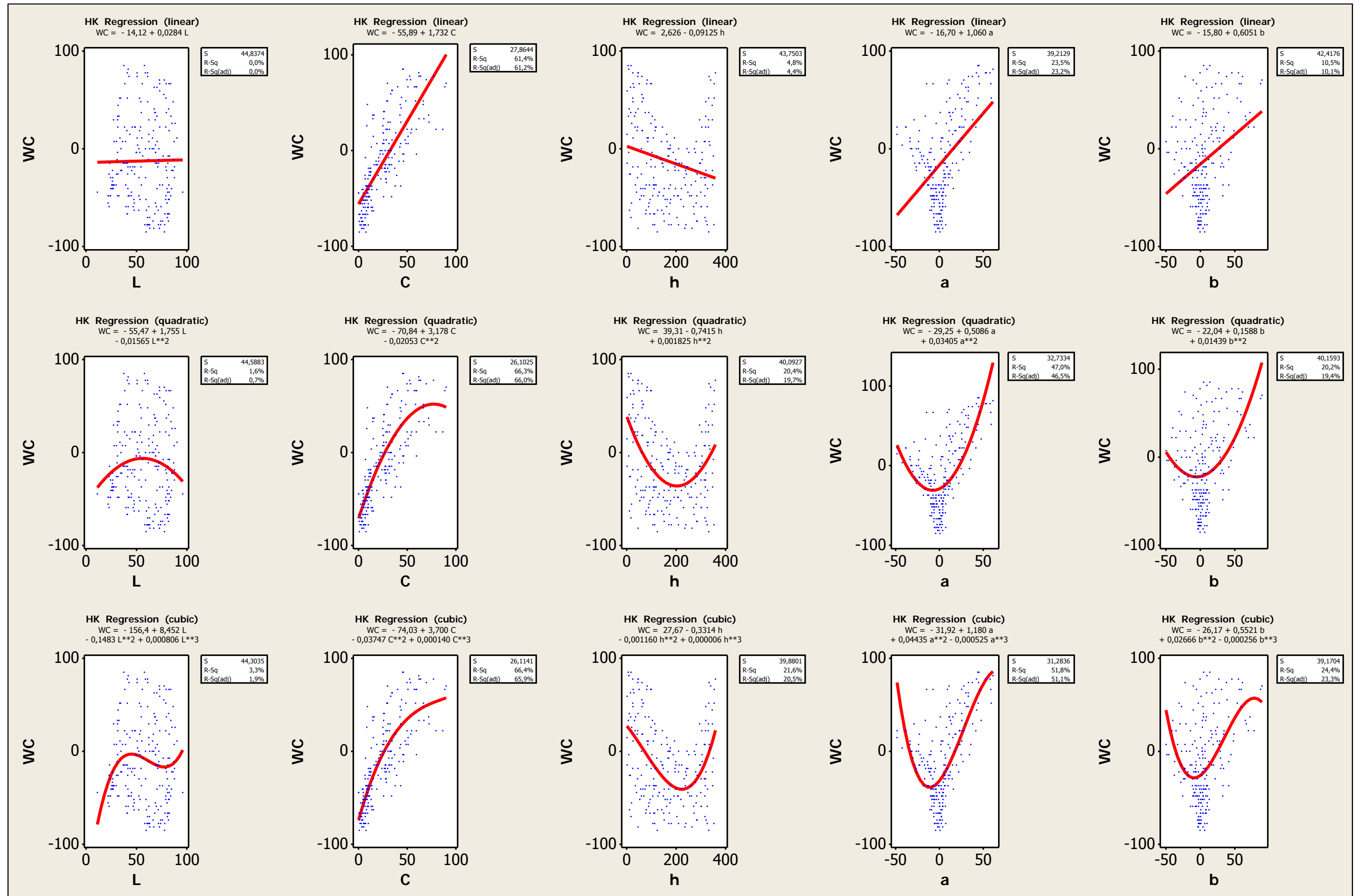


Fig. 111: Emoció associada al color WC/Hong Kong (gràfics i equacions de regressió)

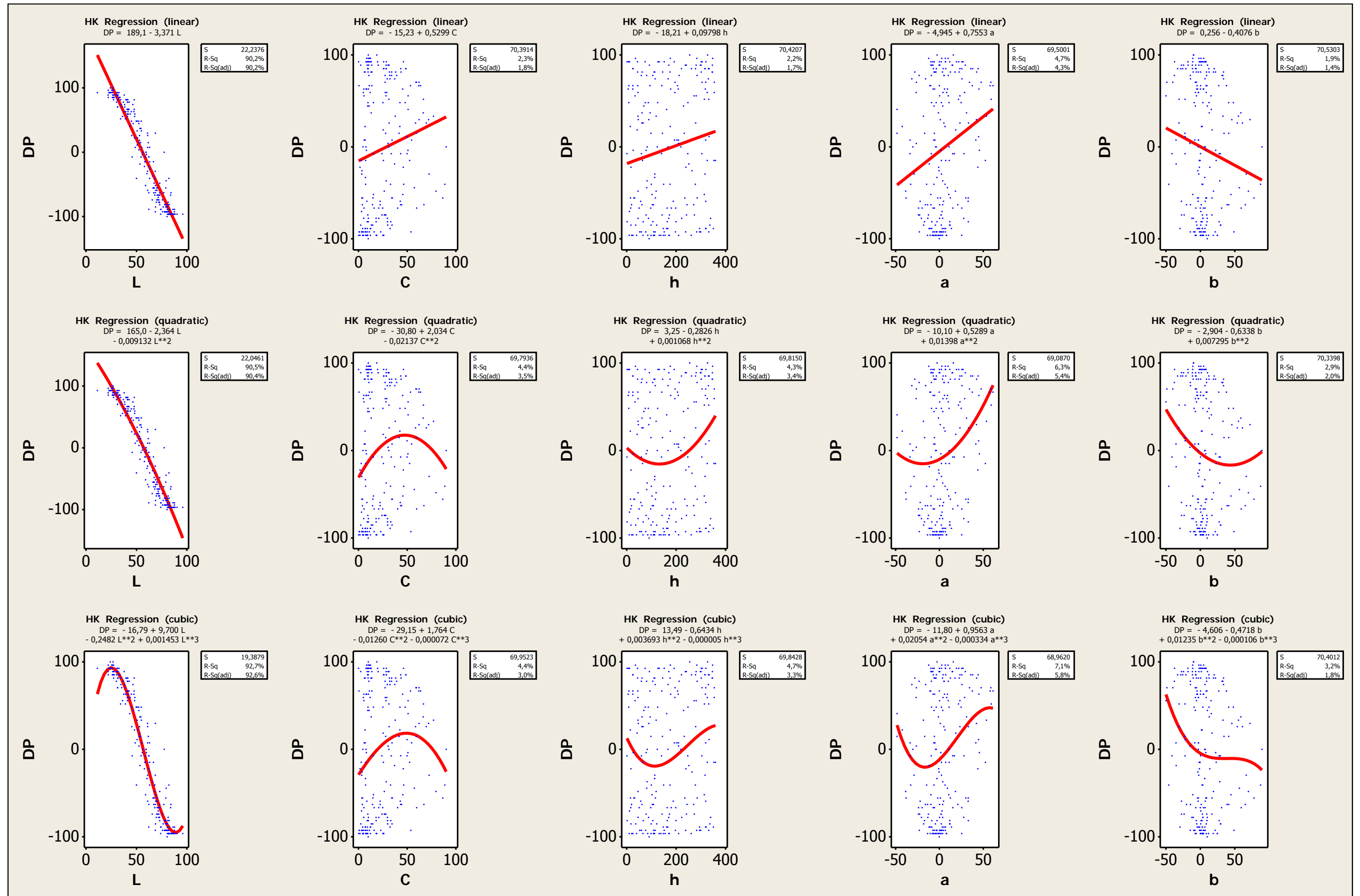


Fig. 113: Emoció associada al color DP/Hong Kong (gràfics i equacions de regressió)

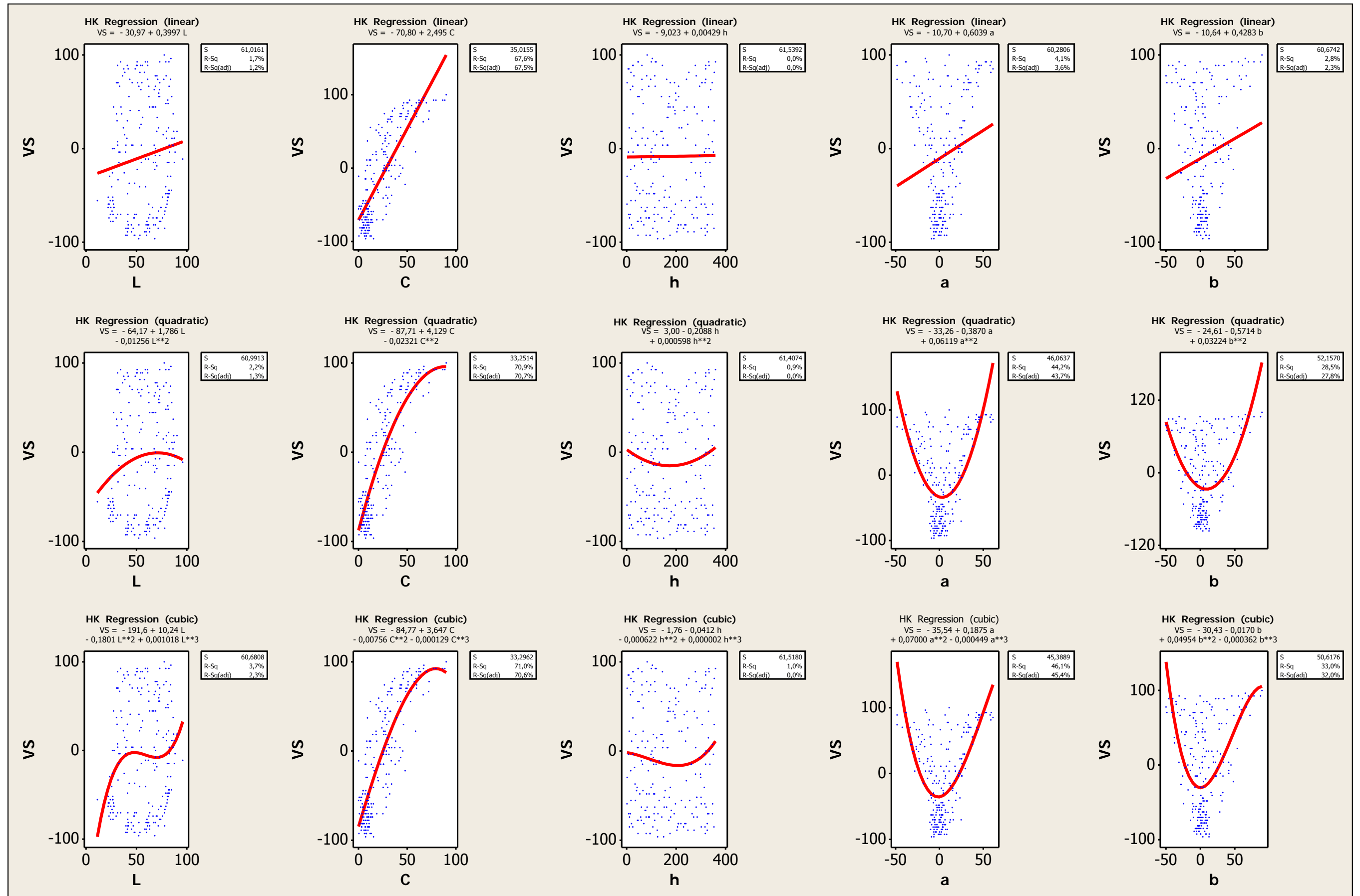


Fig. 115: Emoció associada al color VS/Hong Kong (gràfics i equacions de regressió)

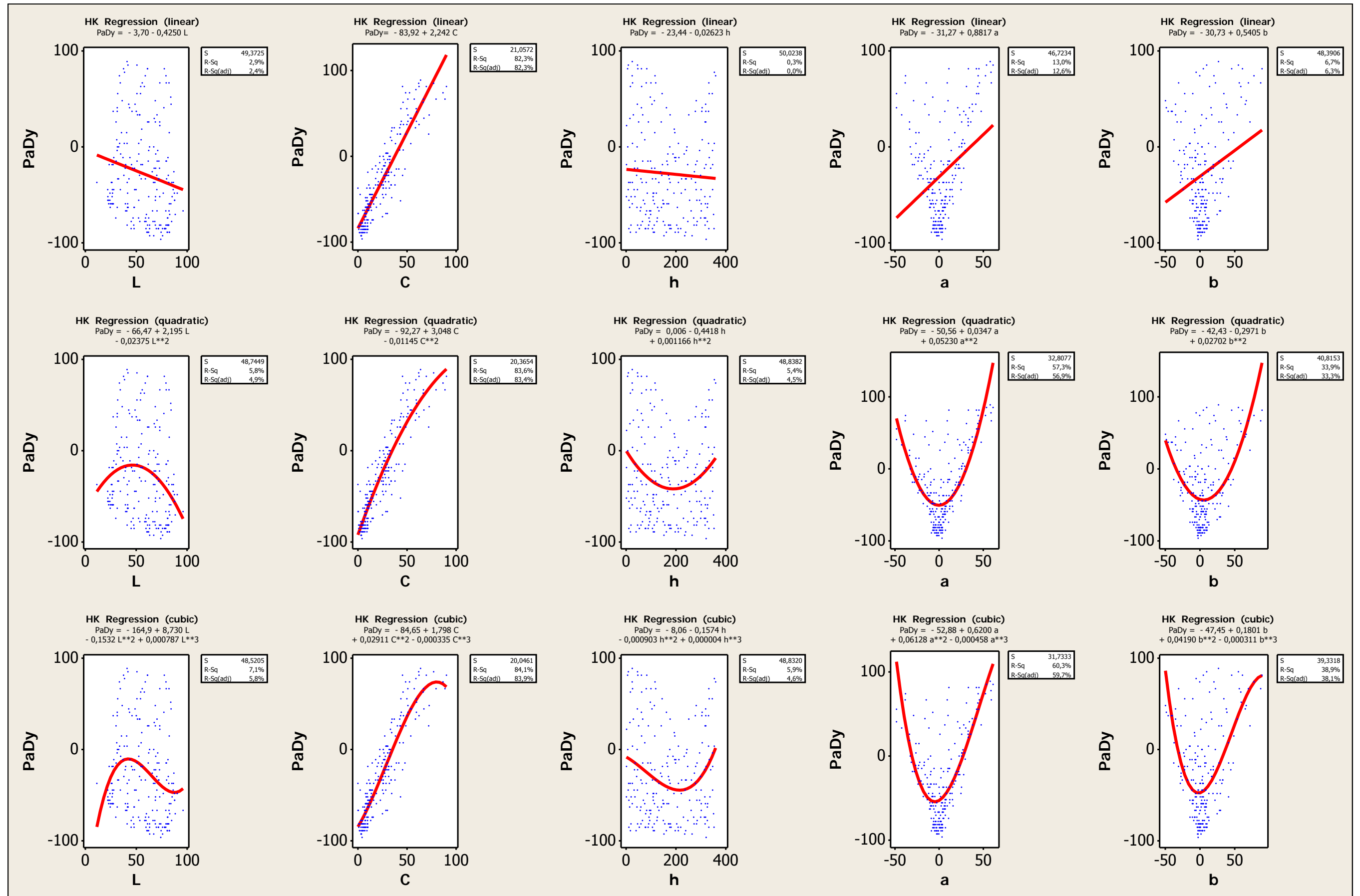


Fig. 117: Emoció associada al color PaDy/Hong Kong (gràfics i equacions de regressió)

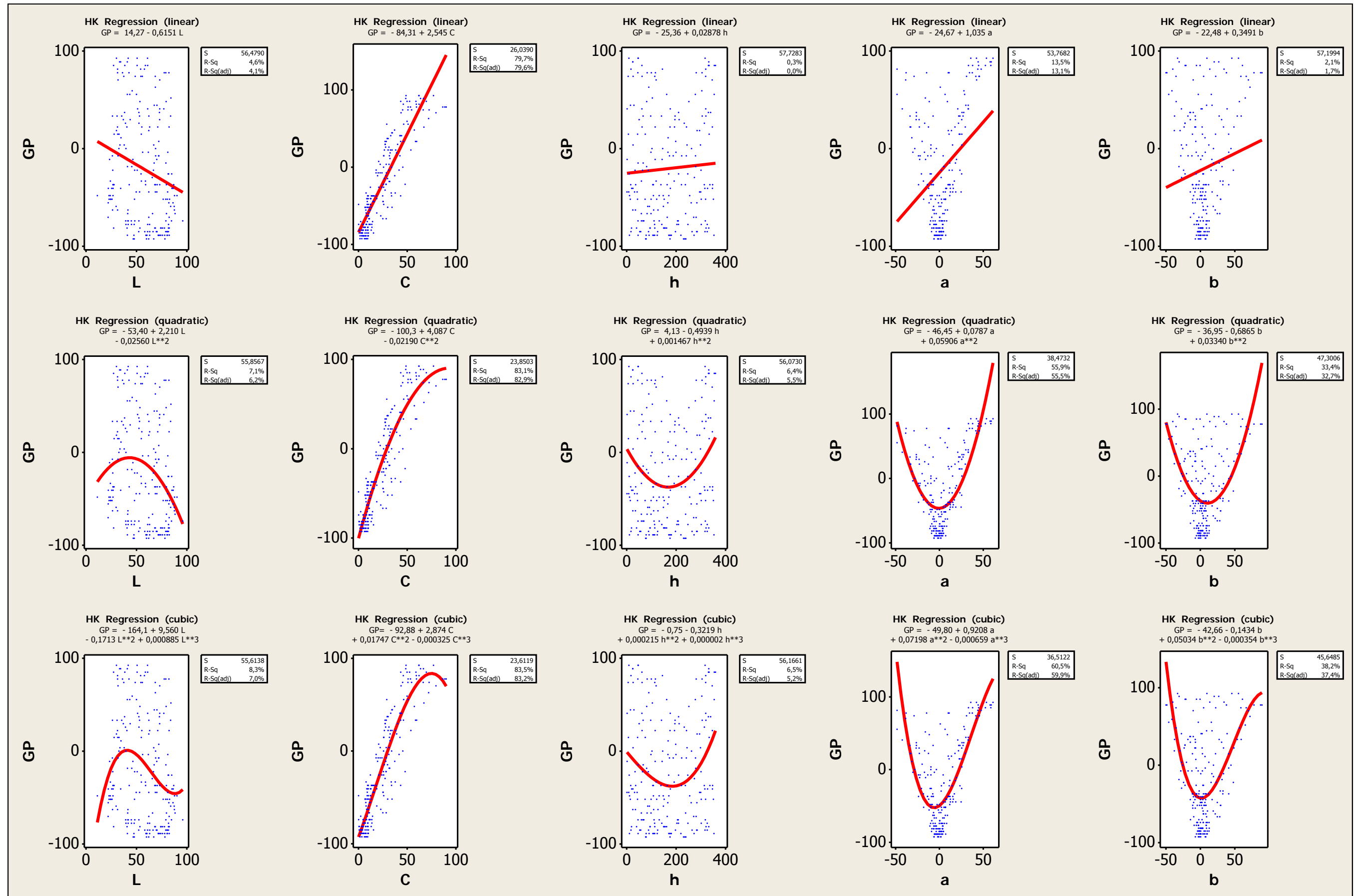


Fig. 119: Emoció associada al color GP/Hong Kong (gràfics i equacions de regressió)

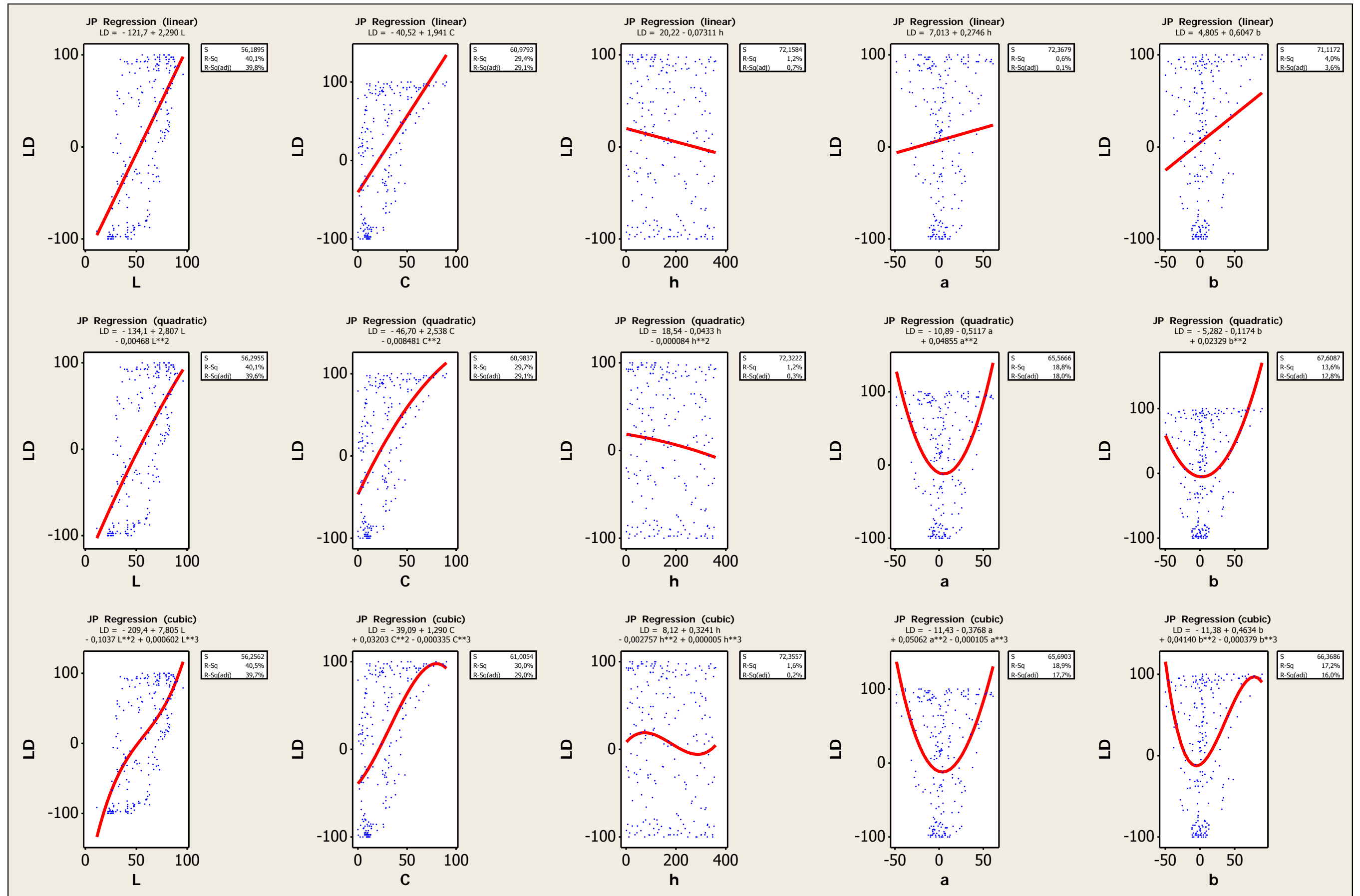


Fig. 122: Emoció associada al color LD/Japó (gràfics i equacions de regressió)

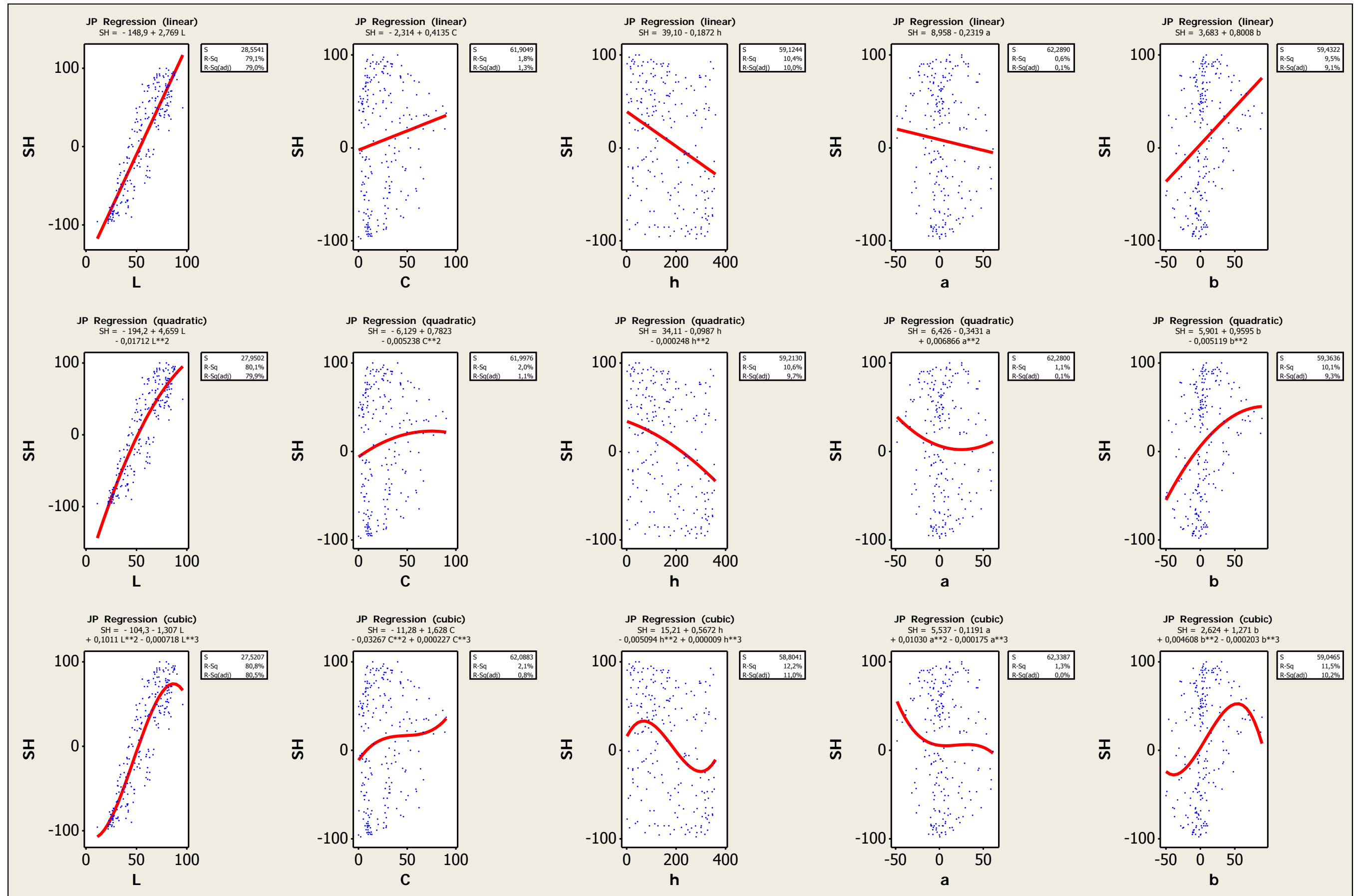


Fig. 124: Emoció associada al color SH/Japó (gràfics i equacions de regressió)

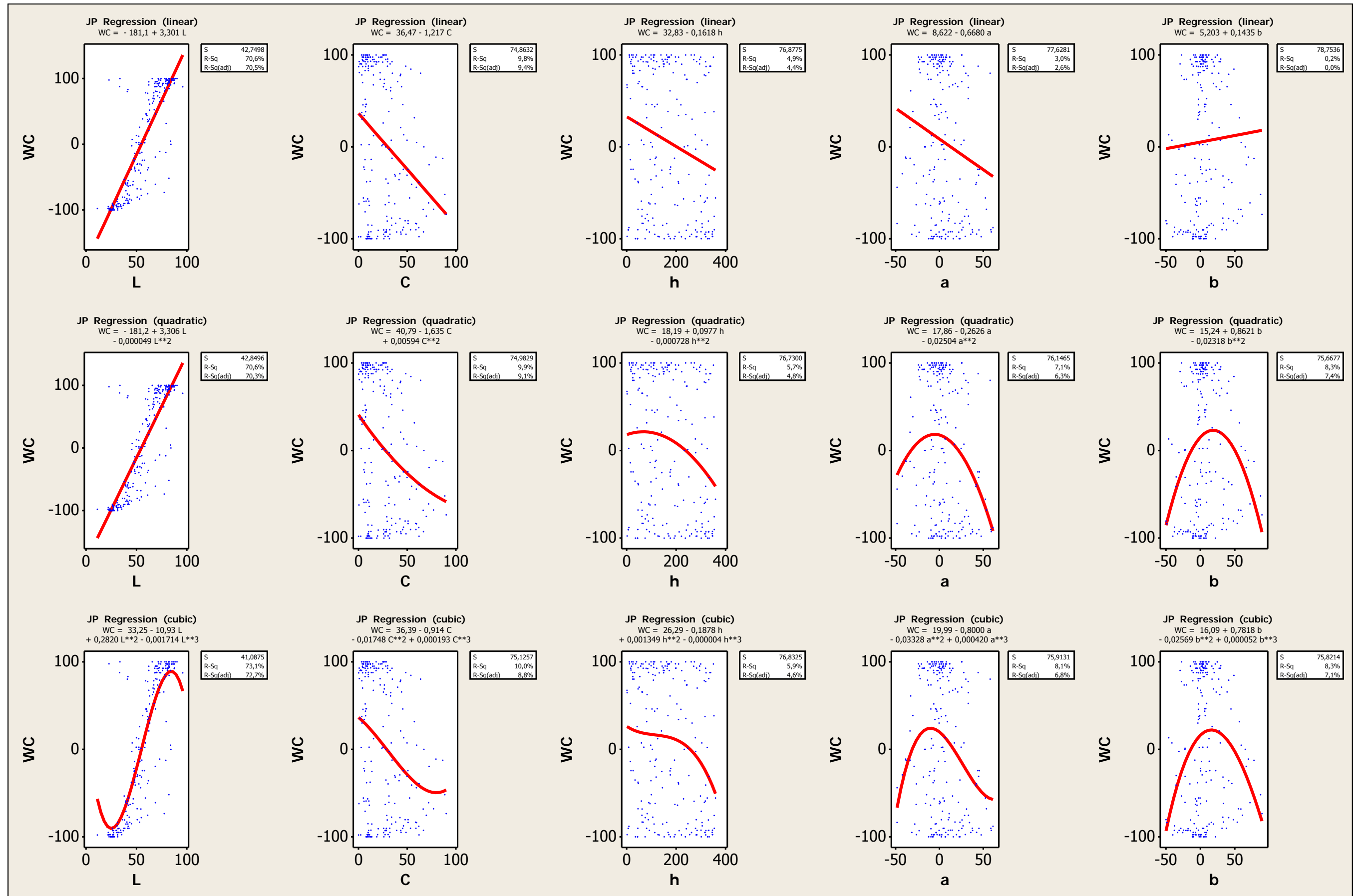


Fig. 126: Emoció associada al color WC/Japó (gràfics i equacions de regressió)

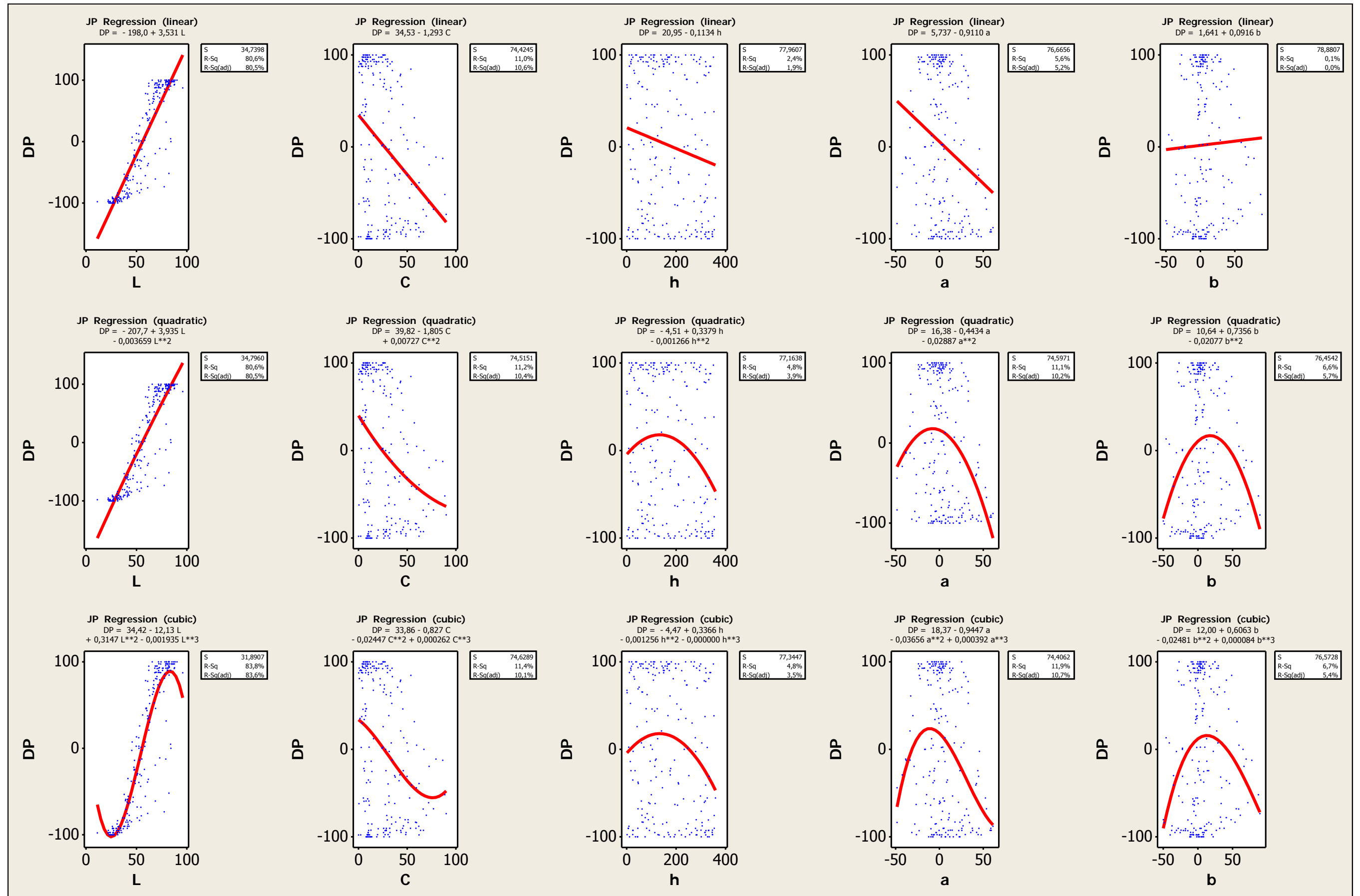


Fig. 128: Emoció associada al color DP/Japó (gràfics i equacions de regressió)

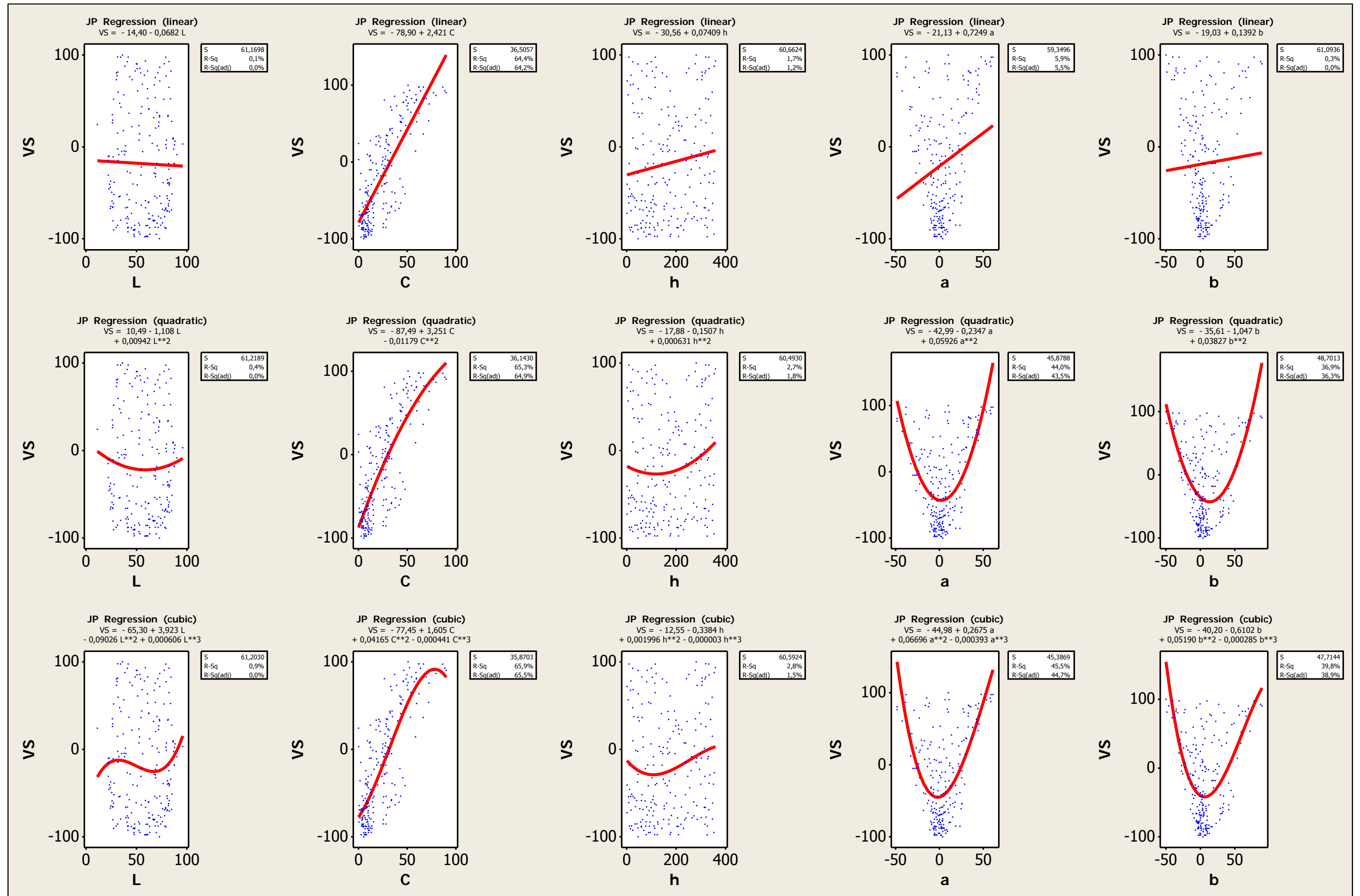


Fig. 130: Emoció associada al color VS/Japó (gràfics i equacions de regressió)

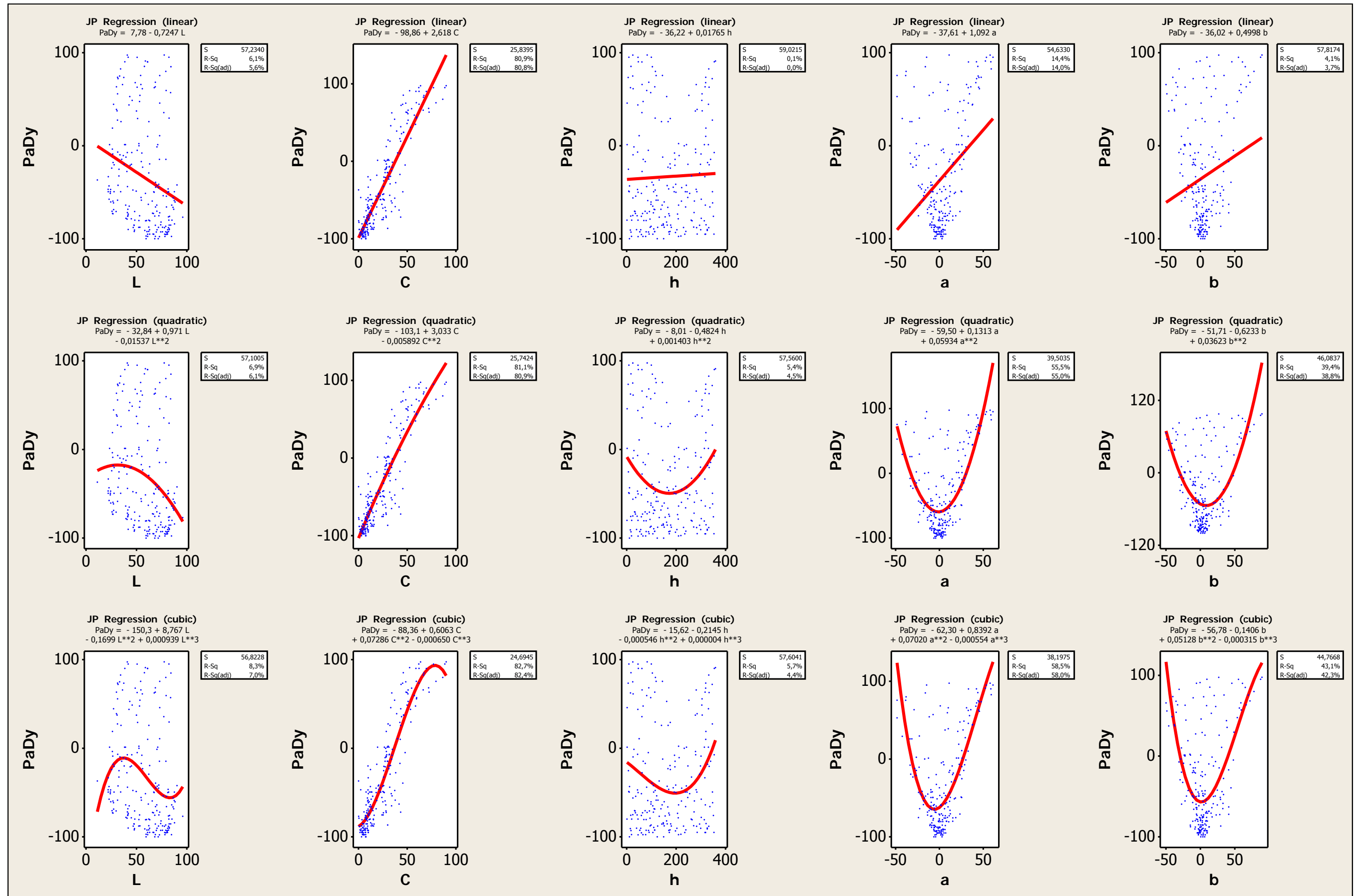


Fig 132: Emoció associada al color PaDy/Japó (gràfics i equacions de regressió)

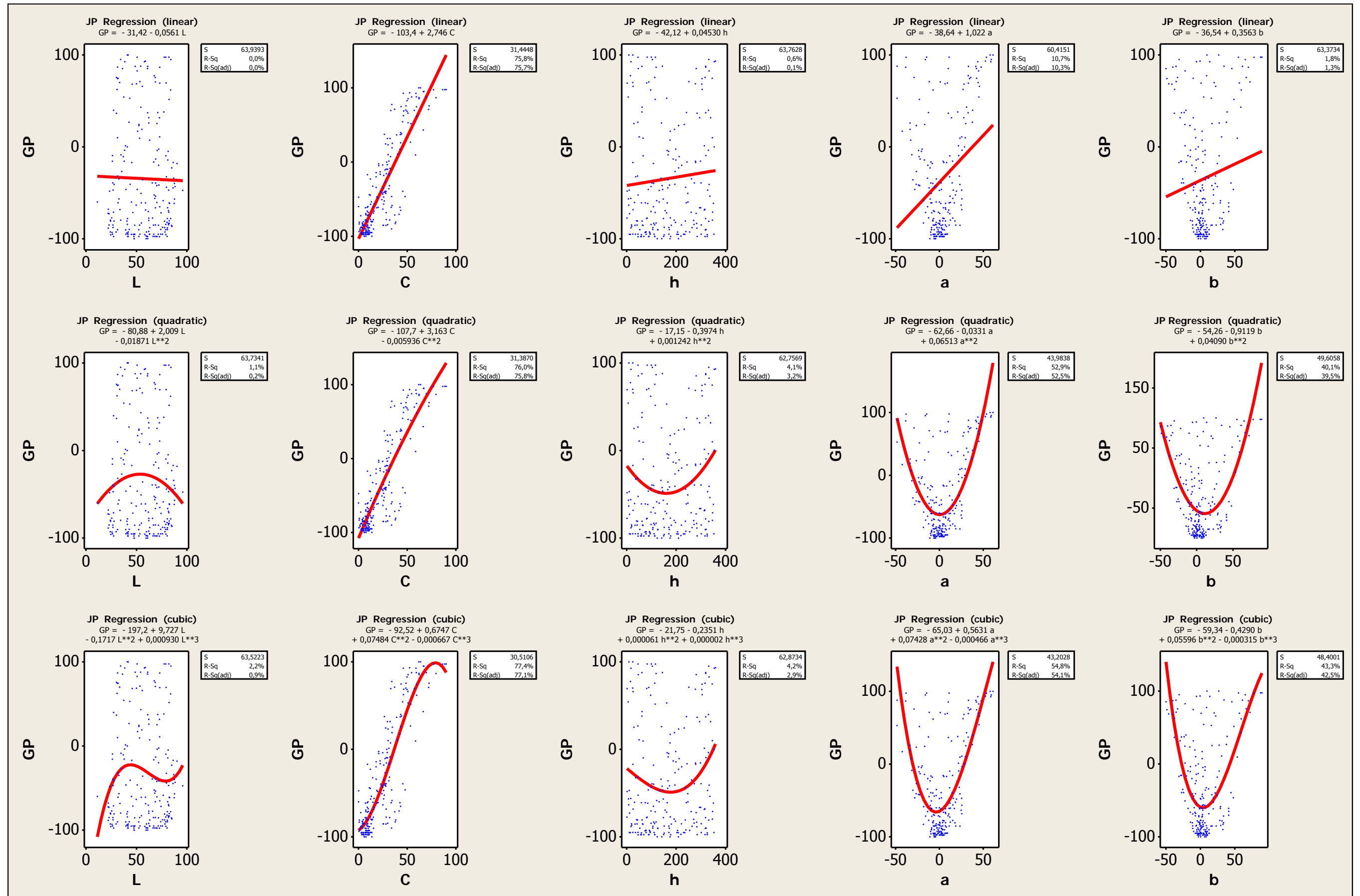


Fig. 134: Emoció associada al color GP/Japó (gràfics i equacions de regressió)

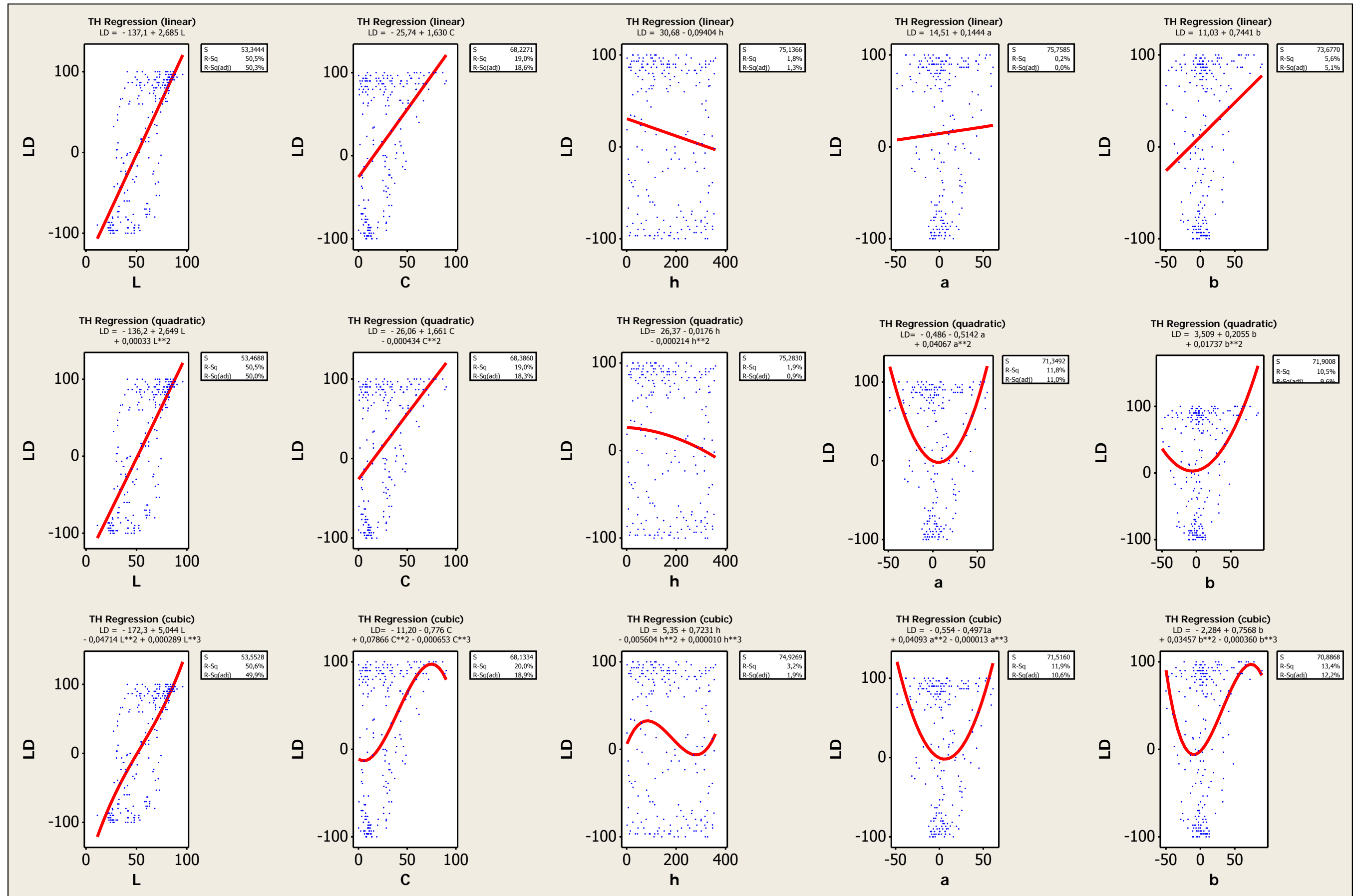


Fig. 137: Emoció associada al color LD/Tailàndia (gràfics i equacions de regressió)

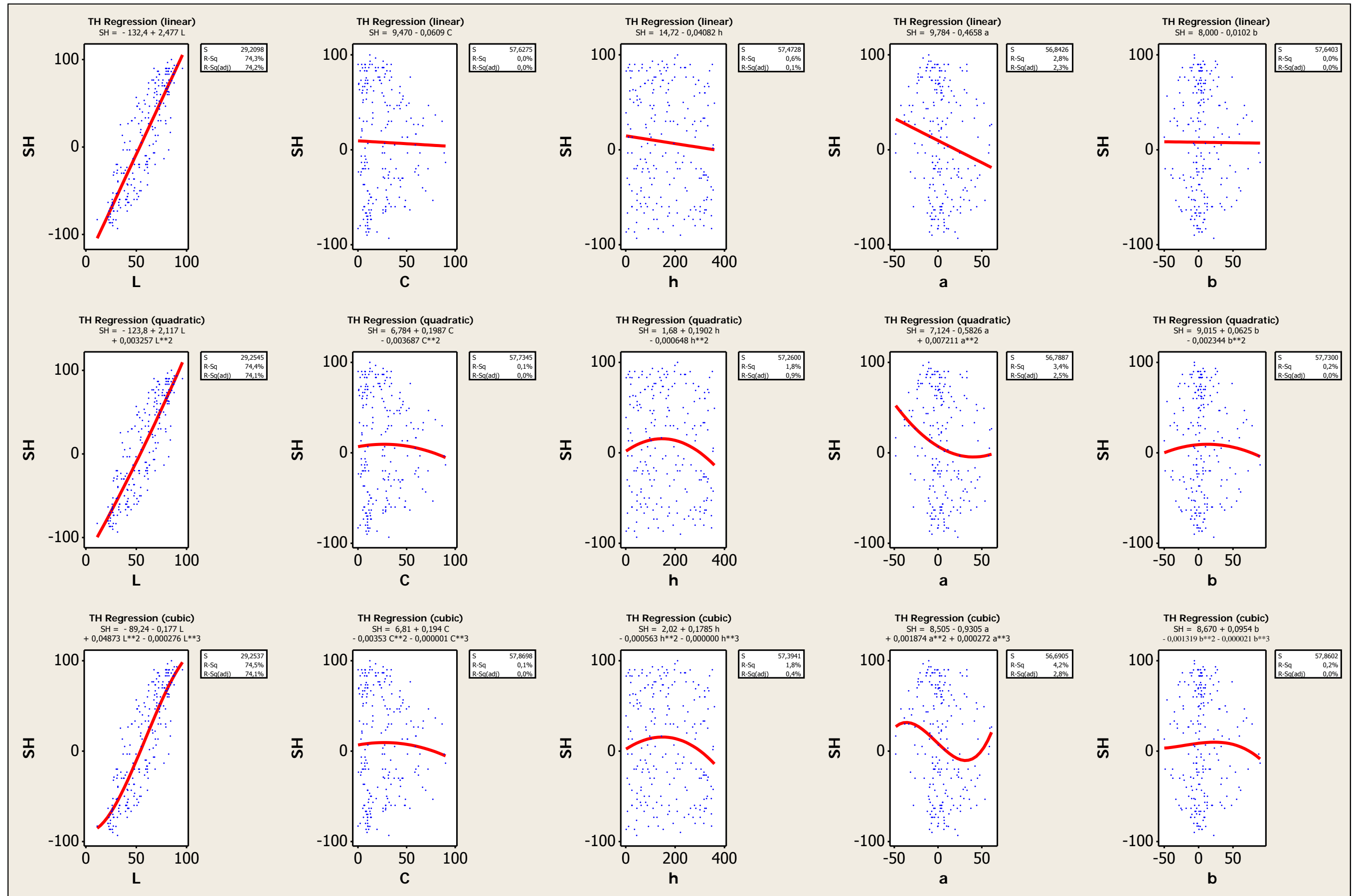


Fig. 139: Emoció associada al color SH/Tailàndia (gràfics i equacions de regressió)

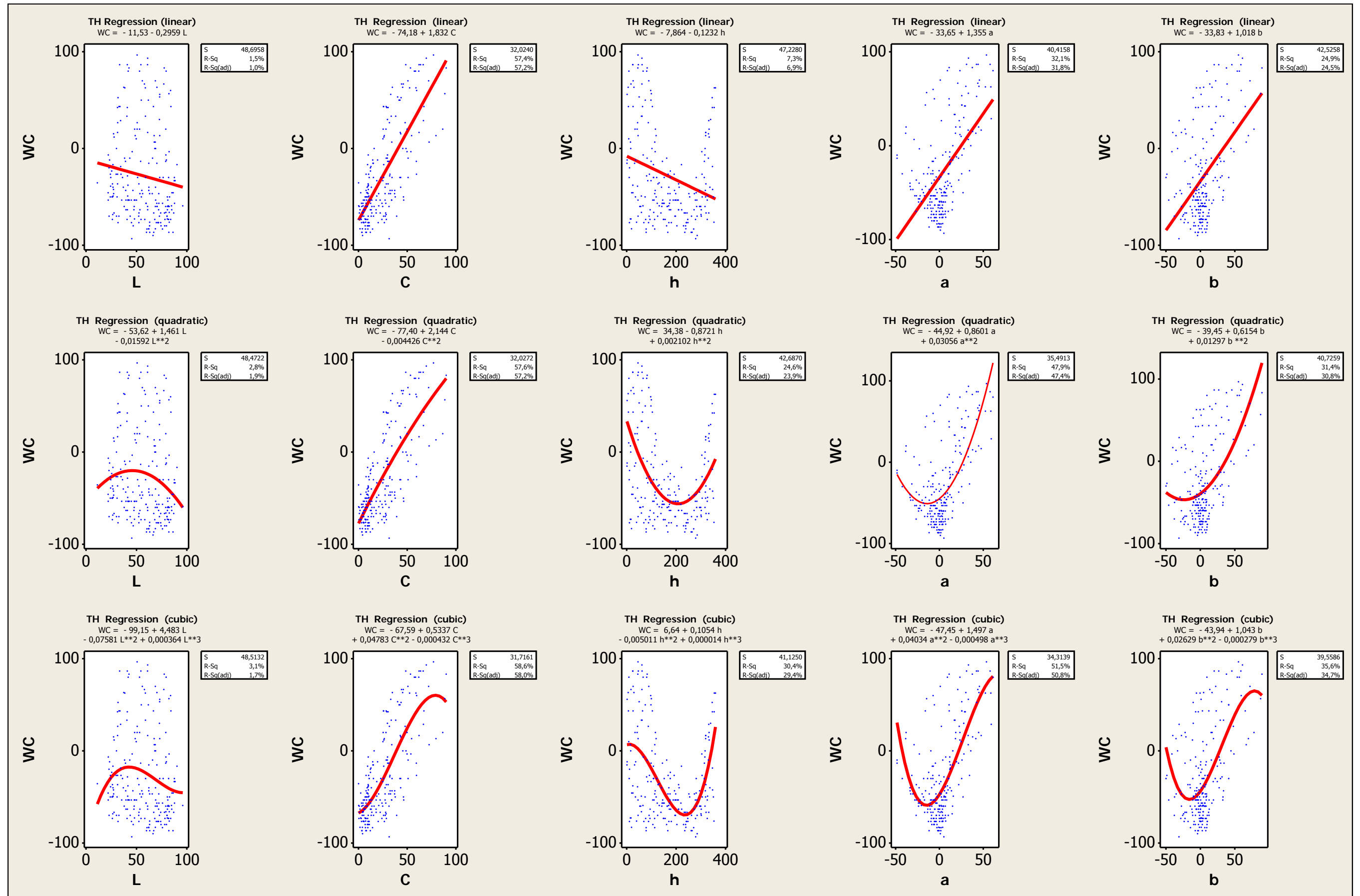


Fig. 141: Emoció associada al color WC/Tailàndia (gràfics i equacions de regressió)

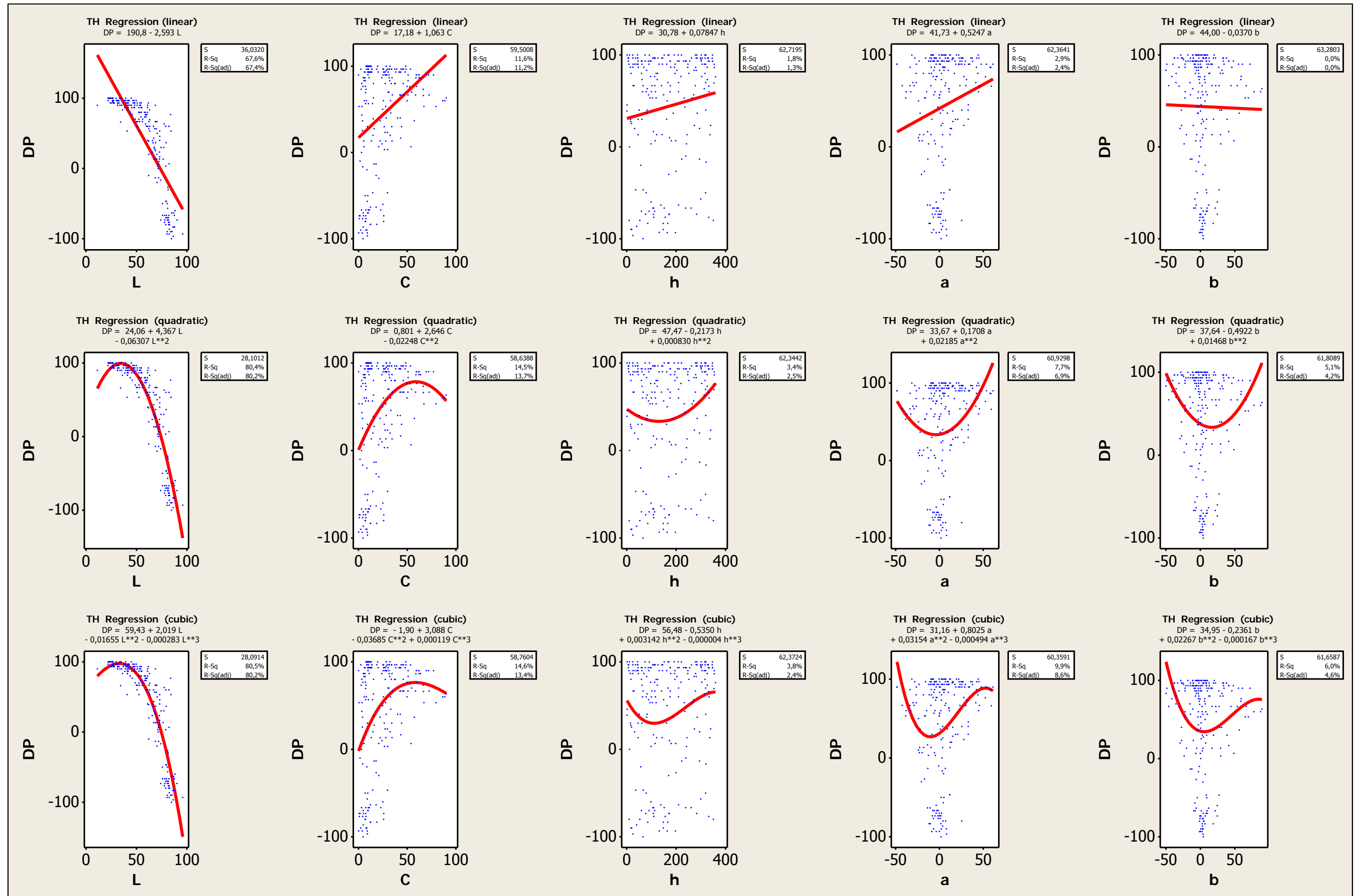


Fig. 143: Emoció associada al color DP/Tailàndia (gràfics i equacions de regressió)

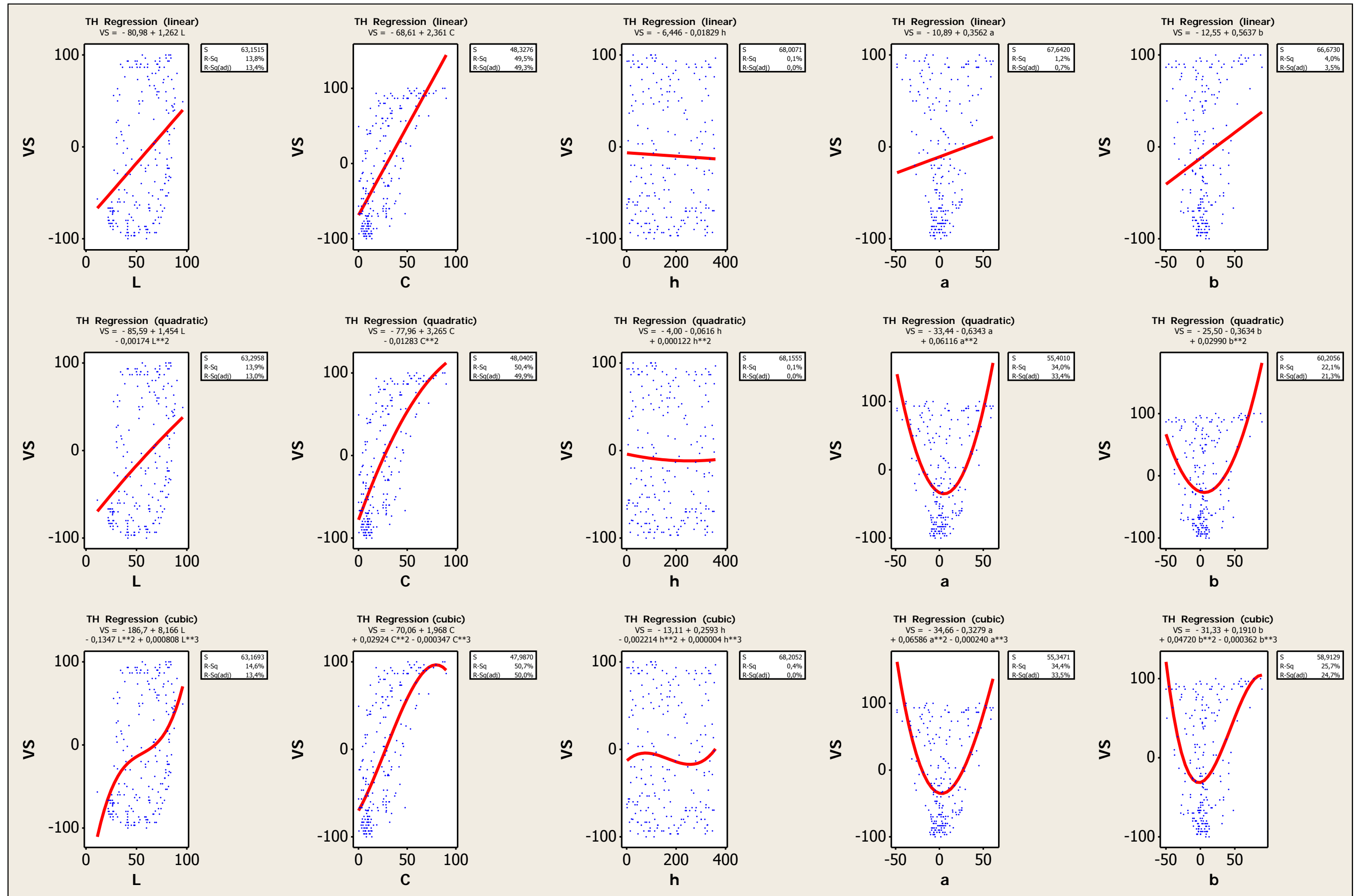


Fig. 145: Emoció associada al color VS/Tailàndia (gràfics i equacions de regressió)

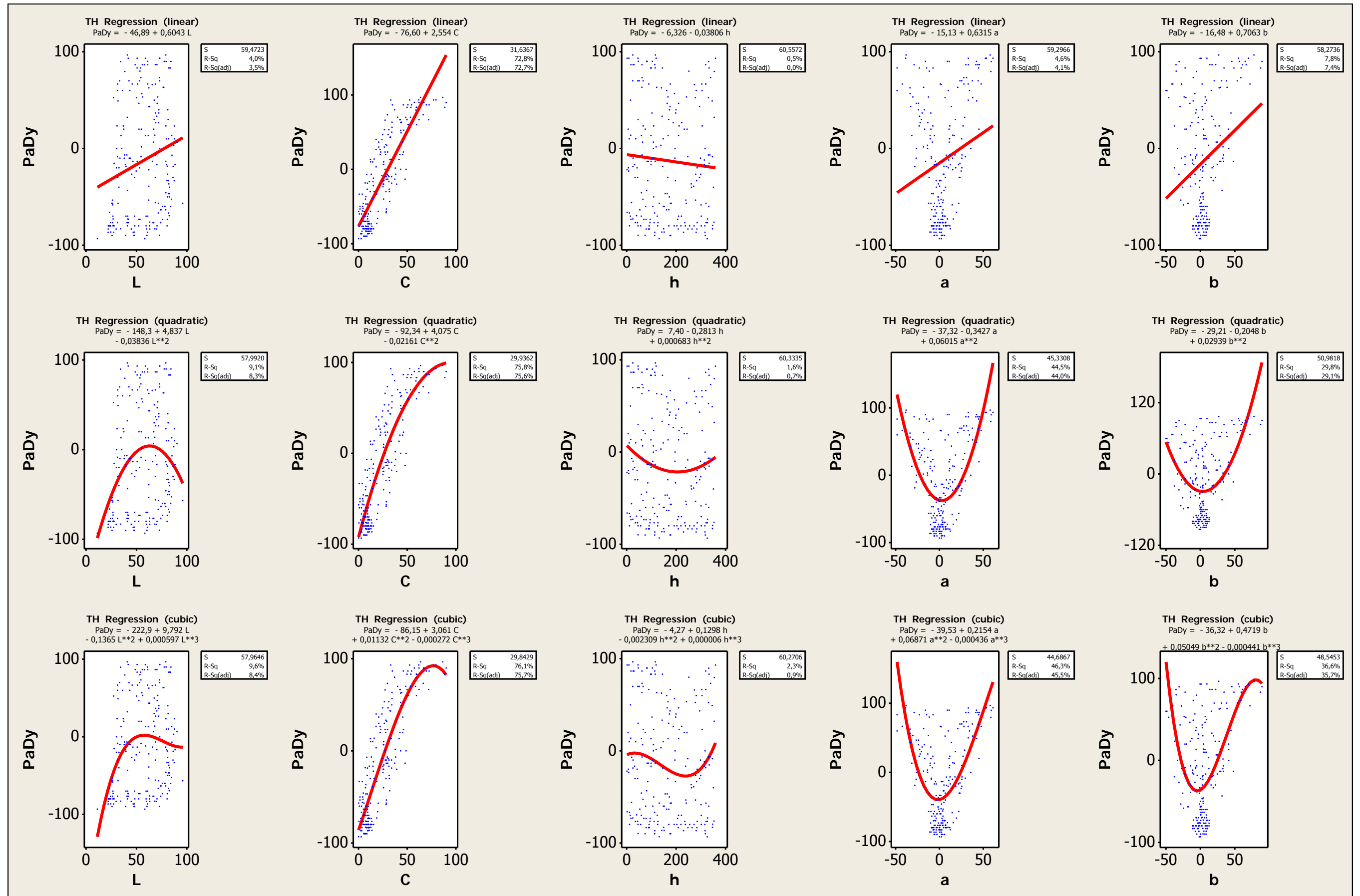


Fig. 147: Emoció associada al color PaDy/Tailàndia (gràfics i equacions de regressió)

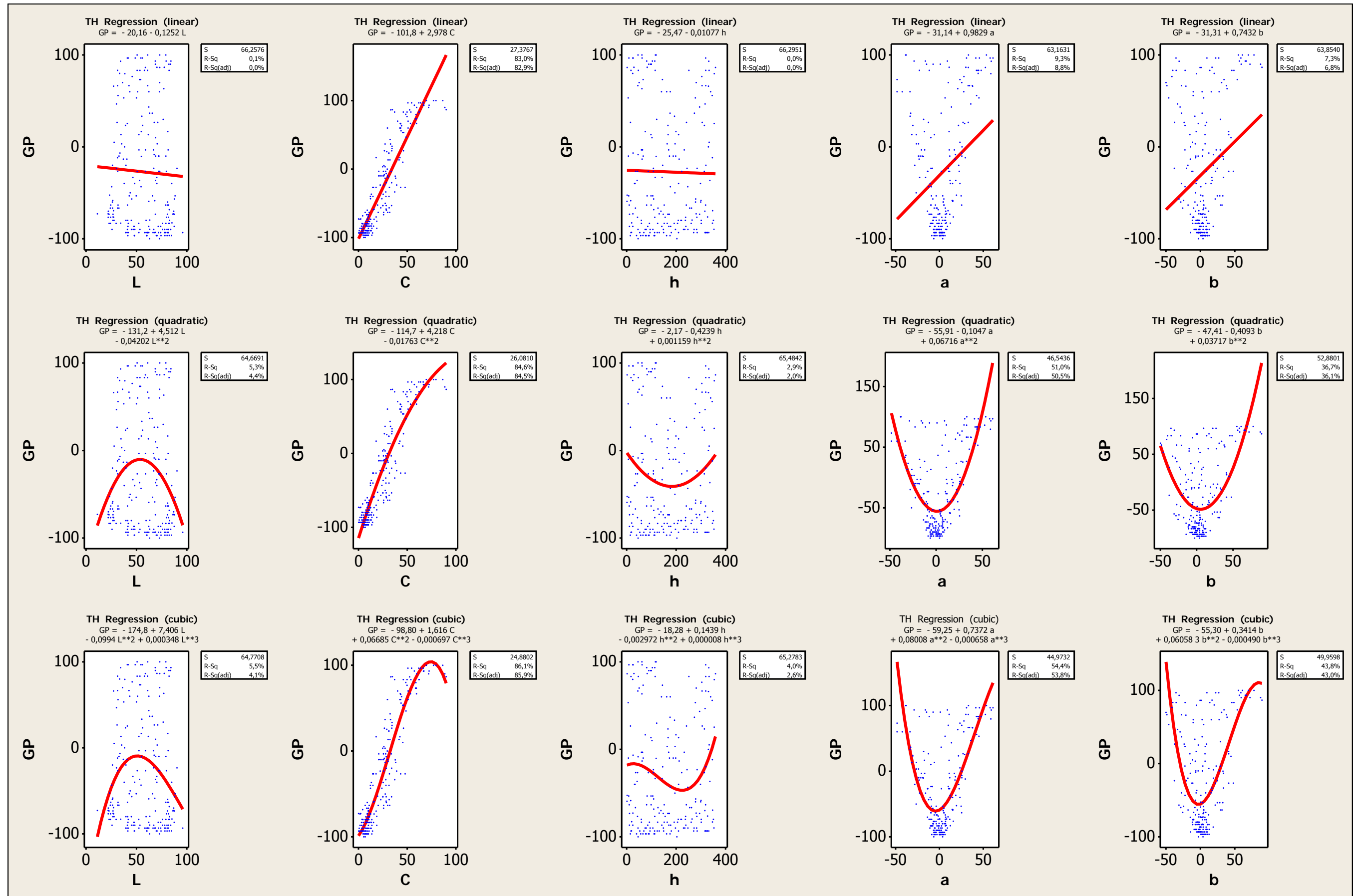


Fig. 149: Emoció associada al color GP/Tailàndia (gràfics i equacions de regressió)

