

REZUMAT

Cuvinte cheie: Integrare pedoclimatică; relații sol–climă–aromă; valori de activitate olfactivă (OAV); discriminare regională; stabilitate senzorială inter-anuală; autenticitate și tipicitate varietală, Sauvignon blanc, Fetească albă.

Regiunile viticole ale României se disting printr-o diversitate pedoclimatică ce explică tipicitatea vinurilor. Regiunea Viticolă a Dealurilor Munteniei și Olteniei, caracterizată prin relief calcaros și climat temperat-continental, include Podgoria Dealu Mare, consacrată pentru vinuri roșii complexe și extractive. Regiunea Viticolă a Banatului, influențată de climatul mediteranean, produce vinuri albe aromate și roșii elegante, cu structură echilibrată. Regiunea Viticolă a Colinelor Dobrogei, cu climat arid dar moderat de Marea Neagră, oferă vinuri de tradiție în centre precum Sarica Niculițel și Murfatlar. În Regiunea viticolă a Podișului Transilvaniei (300–320 m altitudine), climatul răcoros și variațiile termice diurne favorizează prospețimea și aromele fine ale vinurilor albe din Târnave, Lechința și Aiud, menținând aciditatea și tipicitatea acestora. Pe de altă parte, Regiunea viticolă a Dealurilor Moldovei, cea mai extinsă din țară, situată pe soluri cernoziomice fertile, se remarcă prin diversitatea vinurilor obținute, de la spumante la roșii corpolute. Podgoriile joase din Colinelor Dobrogei (Murfatlar – 41 m, Sarica Niculițel – 86 m) se caracterizează prin veri toride și deficit hidric, generând vinuri cu intensitate aromatică ridicată și un caracter distinct. (Cotea ș.a., 2005).

Studiul s-a axat pe analiza comparativă a condițiilor climatice și pedologice din unsprezece podgorii reprezentative ale României, prin intermediul unor crame de referință: Jidvei, Domeniile Boieru, Jelna, Ceptura, Davino și Aurelia Vișinescu, Panciu, Stațiunea de Cercetare SCDVV Bujoru, Sarica Niculițel, Vișoara și Aramic. Analiza a vizat perioada 2019–2021 și a urmărit variațiile globale ale parametrilor climatici și hidrici, cu impact direct asupra coacerii strugurilor și asupra tipicității vinurilor obținute, în special pentru soiurile Fetească albă și Sauvignon blanc.

Cramele din Transilvania (Jidvei, Domeniile Boieru, Jelna) au soluri fertile, bine structurate, brune argiloiluviale sau eumezobazice, propice reținerii moderate a apei și creșterii uniforme a viței. În Dealu Mare, cernoziomurile cambice și cele cu influențe antrosolice asigură drenaj eficient și aport de nutrienți, iar la Aurelia Vișinescu solurile aluviale și protosolurile sunt mai ușoare, cu retenție variabilă a apei. La Panciu și SCDVV Bujoru, cernoziomurile cambice și levigate oferă un echilibru între fertilitate și drenaj, sprijinind maturarea uniformă a strugurilor. În Dobrogea, Sarica Niculițel are soluri luto-nisipoase, slab tasate și ușor alcaline, iar Vișoara prezintă molisoluri și cernoziomuri carbonatice, bine drenate, amplificând un stres hidric moderat și concentrarea aromatică. La Aramic, solurile erodisolice și aluviale asigură fertilitate și drenaj adecvat, explicând diferențele regionale în profilul fizico-chimic și aromatic al vinurilor. (Cotea ș.a., 2005).

Analiza climatică a perioadei 2019–2021 în cele 11 podgorii studiate (Târnave – Jidvei, Aiud – Domeniile Boieru, Lechința – Jelna, Dealu Mare – Ceptura, Davino și Aurelia Vișinescu, Panciu – Panciu, Dealu Bujorului – SCDVV Bujoru, Sarica Niculițel – Sarica Niculițel, Murfatlar – Vișoara și Dealurile Banatului – Aramic) evidențiază diferențe semnificative între ani, cu impact direct asupra coacerii și profilului aromatic al vinurilor. Anul 2021 a fost mai răcoros și mai umed comparativ cu 2019, cu temperaturi scăzute în septembrie–octombrie și precipitații mai ridicate, ceea ce a favorizat menținerea acidității și o maturare mai lentă a zaharurilor (Ciucure ș.a., 2025a, p. 44). Analiza statistică (ANOVA) a

confirmat un efect semnificativ al anului asupra temperaturii medii ($F = 6.45$; $p = 0.003$) și asupra umidității relative ($F = 5.87$; $p = 0.005$), ceea ce a indicat o relație inversă între temperatură și umiditate (Allen, 1998).

Variațiile climatice între podgorii au fost moderate, ceea ce a permis agregarea datelor și corelarea acestora cu tipul de sol și capacitatea de reținere a apei (CRAS). Parametrii hidrici și agroclimatici, precum durata efectivă a strălucirii totale (ASD), indicele de aptitudine oenoclimatică (IAOe), evapotranspirația de referință (ET_0), deficitul față de capacitatea de câmp (DFc), deficitul hidric total în sol, indicele termic Winkler (WI), indicele heliotermic Huglin (HI), evapotranspirația culturii (ETc) și coeficientul culturii (Kc), au avut un rol determinant asupra acumulării de zaharuri și menținerii acidității. (Y Zhang ș.a., 2022, p. 107883).

Pentru Fetească albă (FA) și Sauvignon blanc (SB), diferențele au fost relevante: FA a demonstrat o capacitate mai bună de menținere a prospețimii și a acidității în condiții de variabilitate climatică, în timp ce SB a reflectat mai accentuat sensibilitatea la disponibilitatea apei și la radiația solară. Indicii oenoclimatici.

Analiza fizico-chimică a musturilor pentru Fetească albă și Sauvignon blanc în perioada 2019–2021 evidențiază influența directă a factorilor pedoclimatici asupra acumulării de zaharuri și menținerii acidității. Valorile zaharurilor totale s-au situat între 182 și 252 g/L, iar aciditatea totală între 4,2 și 7,3 g/L, cu diferențe notabile între podgorii și ani de recoltă. FA a prezentat evoluție relativ stabilă, cu zaharuri de aproximativ 200–220 g/L și aciditate 5,5–6,7 g/L, ceea ce a menținut prospețimea chiar și în condiții de maturare avansată. În contrast, SB a înregistrat variații mai mari, cu ZT între 192 și 252 g/L și AT între 4,5 și 7,3 g/L, fapt care a reflectat sensibilitatea la radiația solară și disponibilitatea apei.

Corelațiile Pearson indică pentru FA că aciditatea totală (AT, g/L acid tartric) este moderat negativ corelată cu suma temperaturilor active (SumActT, $r = -0.52$) și radiația UV totală / indicele de aptitudine oenoclimatică (IAOe, $r = -0.54$), dar pozitiv corelată cu altitudinea podgoriei (Alt., $r = 0.56$), latitudinea (Lat., $r = 0.50$) și zilele cu deficit hidric moderat (DFc, $r = 0.43$), sugerând că temperaturile ridicate și radiația intensă reduc aciditatea totală, în timp ce altitudinea și un stres hidric controlat favorizează acumularea acesteia. Zaharurile la Fetească albă corelează pozitiv cu SumActT ($r = 0.67$), IAOe ($r = 0.67$), DFc ($r = 0.59$), precipitațiile totale (Precip, $r = 0.61$) și ETc ($r = 0.58$), indicând că insolarea și aportul echilibrat de apă sprijină fotosinteza și acumularea de zaharuri (Procopenco, 2024, p. 81).

Pentru Sauvignon blanc, aciditatea totală corelează negativ cu SumActT și IAOe ($r = -0.29$) și pozitiv cu DFc ($r = 0.50$) și altitudine (Alt., $r = 0.63$), în timp ce ZT prezintă corelații negative cu AT ($r = -0.77$) și DFc ($r = -0.39$) și pozitive cu SumActT ($r = 0.42$) și IAOe ($r = 0.40$), evidențiind că stresul hidric excesiv sau altitudinile mari pot reduce acumularea de zaharuri.

Aciditatea volatilă (AV, g/L acid acetic) la Fetească albă scade odată cu ETc ($r = -0.486$, $p = 0.041$) și DFc ($r = -0.502$, $p = 0.034$), iar pentru Sauvignon blanc AV se corelează negativ cu indicii heliotermici HI ($r = -0.497$, $p = 0.042$) și WI ($r = -0.546$, $p = 0.024$), ceea ce a indicat diferențe în modul de adaptare la stresul hidric și termic.

Analiza fizico-chimică a vinurilor Fetească albă și Sauvignon blanc din principalele podgorii românești evidențiază impactul etapelor tehnologice asupra calității, în special asupra alcoolului, acidității totale și volatile, densității și nivelurilor de dioxid de sulf. În funcție de strategia oenologică și condițiile climatice, s-au conturat trei categorii de crame: SCDVV Bujoru și Aurelia Vișinescu, cu nivel ridicat de SO_2 , asociat practicilor intensive de conservare și climatului mai cald; Jelna, Domeniile Boieru și Sarica Niculițel, cu nivel moderat de SO_2 , unde intervențiile au fost esențiale pentru controlul antioxidant și

microbiologic; și Jidvei, cu nivel scăzut de SO₂, reflectând practici minime și un climat mai răcoros. (Morgan ș.a., 2017, p. 96).

Intervențiile tehnologice au determinat parametri fizico-chimici ai vinurilor. La Domeniile Boieru, dozarea controlată de SO₂ liber (35 mg/L) și utilizarea preparatelor enzimatice au permis menținerea stabilității alcoolului și densității (0,991±0,002 g/mL) și reducerea zaharurilor reziduale (2,11±1,70 g/L), ceea ce a facilitat extracția compușilor de aromăesențiali. Fermentațiile, realizate cu levuri selecționate la temperaturi de 12–18 °C, au fost uniforme. La Panciu, dozele mai mari de SO₂ (50 mg/L) și utilizarea enzimelor de extracție au asigurat densități stabile (0,992±0,001 g/mL) și zaharuri reziduale de 8,70±4,67 g/L, lucru care a semnalat o fermentație aproape completă. La Sarica Niculițel și SCDVV Bujoru, strategiile de protecție moderate au permis menținerea acidității între 6,1 și 7,7 g/L și AV scăzută (0,28–0,63 g/L), demonstrând eficiență fără supradozaj de SO₂.

În ansamblu, aciditatea și pH-ul vinurilor au rămas relativ stabile, evidențiind rolul intervențiilor oenologice în menținerea echilibrului și longevitatea vinurilor (Koone ș.a., 2014, p. 158).

Analiza profilului aromatic al vinurilor Fetească albă (FA) și Sauvignon blanc (SB) evidențiază influența semnificativă a terroir-ului și a altitudinii asupra concentrațiilor principalelor clase de compuși de aromă. În vinurile FA, alcoolii superiori au înregistrat valori ridicate la Viișoara (69 mg/L), Ceptura (66,6 mg/L) și Davino (69,7 mg/L), podgorii situate la altitudini mai joase, în timp ce acizii volatili au fost mai concentrați la Jelna (11,9 mg/L), Aramic (12,7 mg/L) și Domeniile Boieru (12,4 mg/L), localizări mai înalte. Esterii au fost predominanți la Aramic (34,9 mg/L), Davino (28,5 mg/L) și Sarica Niculițel (27,9 mg/L), indicând o influență mai puternică a tehnicilor de vinificație decât a altitudinii. Terpenele au atins valori maxime la SCDVV Bujoru (38,4 μg/L), Aramic (12,2 μg/L) și Domeniile Boieru (11,9 μg/L), fără a evidenția un tipar clar dependent de altitudine. Corelațiile Spearman au confirmat aceste tendințe: acizii volatili au prezentat o corelație foarte puternică pozitivă cu altitudinea ($r = 0,997$), alcoolii superiori și esterii au avut corelații negative moderate ($r = -0,685$ și $r = -0,613$), iar terpenele o corelație negativă moderată ($r = -0,414$) (Jouanneau ș.a., 2012, p. 329).

În vinurile Sauvignon blanc, alcoolii superiori au variat între 43,0 mg/L (Aurelia Visinescu) și 94,5 mg/L (Ceptura), cu acumulări mai mari în podgoriile calde și la altitudini joase. Acizii volatili au prezentat variații mai reduse, între 3,44 mg/L și 12,21 mg/L. Esterii, responsabili de aroma fructată, au înregistrat concentrații între 18,8 mg/L (Jelna) și 38,7 mg/L (Ceptura), ceea ce a reflectat activitatea specifică a diferitelor fermentații și variabilitatea între crame. Aldehidele și diolii au arătat cea mai mare dispersie, cu valori între 107 ± 34,1 mg/L (Aurelia Visinescu) și 716 mg/L (Jidvei), iar furanonele și lactonele au fost relativ constante, între 0,39 μg/L (Târgu Bujor) și 14,87 μg/L (Aurelia Visinescu) (Lei ș.a., 2025, p. 102575).

Analiza multivariată a compușilor volatili a evidențiat diferențieri clare între vinurile Fetească albă și Sauvignon blanc, corelând profilul aromatic cu terroir-ul și tehnologia de vinificație. La Fetească albă, factorul 1 (20,8% variabilitate) a separat vinurile bogate în 1-propanol, 2-metil-1-butanol și esteri de lanț mediu de cele dominate de etil lactat și etil decanoat, iar factorul 2 (16,1%) a reflectat variațiile în 2-feniletanol, β-feniletil acetat și capril acetat. Vinurile din Davino, Viișoara și Aurelia Visinescu au prezentat esterii fructați mai intensi, în timp ce Panciu și Jelna au predominat alcoolii primari și acizii volatili.

Pentru Sauvignon blanc, factorul 1 (19,8%) a fost asociat cu variațiile esterilor fermentativi (izoamil acetat, hexil acetat, etil caproat, etil hexanoat), iar factorul 2 (15,2%) a evidențiat diferențele generate de 2-feniletanol, β-feniletil acetat și alcoolii cu lanț scurt. Spre deosebire de Fetească albă, distribuția probelor

SB este mai compactă, ceea ce a sugerat un profil aromatic uniform între regiuni, ceea ce indică o influență mai puternică a tehnologiei de vinificație decât a poziției geografice (Molina ș.a., 2007, p. 675).

Variabilitatea redusă explicată de primele două dimensiuni PCA (35%) se justifică prin complexitatea ridicată a profilului aromatic, alcătuit din sute de compuși, dintre care doar o parte au valoare discriminantă, și prin efectele intra-regionale induse de tehnologia de vinificație – tipul de levuri, regimul fermentației sau metodele de maturare –, care pot genera variații mai mari decât diferențele inter-regionale, diminuând claritatea separării prin PCA (Coetzee și Du Toit, 2012, p. 287).

Analiza concentrațiilor compușilor volatili din vinurile Fetească albă (FA) și Sauvignon blanc (SB), corelată cu percepția senzorială, evidențiază rolul dominant al esterilor volatili în definirea profilului aromatic. Evaluarea s-a realizat prin calculul valorilor activității odorante (OAV) care permite compararea concentrației efective a compușilor cu pragul de percepție olfactivă, oferind o imagine obiectivă asupra compușilor de aromărelevanți (Zhu ș.a., 2020, p. 2257; Chicco ș.a., 2025, p. 56).

În FA, esterii volatili principali au prezentat valori OAV semnificativ peste pragul de percepție: etil hexanoat (EtHex, 352,9–750), acetatul de etil (EtAc, 4,49–8,59), etil caprat (EtCap, 7,05–38) și etil octanoat (EtOct, 295–595), conferind note fructate consistente și uniformitate aromatică între crame. În SB, aceiași compuși au înregistrat valori similare: EtHex 271–668, EtAc 6,3–12, EtCap 11–100 și EtOct 29–64, evidențiind predominanța esterilor în definirea aromelor fructate (Scutarașu ș.a., 2022, p. 2897).

Alcoolii superiori, precum 3-metil-1-butanol (2,85–4,43 OAV în FA și 2,9–4,7 în SB) și 2-metil-1-butanol (0,64–4,43 în FA și 0,59–1,20 în SB), contribuie la textura și complexitatea subtilă a vinurilor, fără a domina percepția fructată.

Acizii volatili, cum sunt acidul capric (CapAc) și acidul hexanoic (HexAc), completează profilul, cu OAV între 7,05 și 38 pentru FA și 11–100 pentru SB, ceea ce a favorizat senzația de rotunjire și corp în vinuri. Compușii minoritari, precum acetaldehida (0,12–0,62), 1,2-propandiol (1,90–6,14) sau alți alcooli superiori, sporesc complexitatea globală a profilului aromatic. Analiza OAV demonstrează că esterii volatili sunt principalii determinanți ai notelor fructate și ai coerenței între podgorii pentru FA și SB, iar aportul alcoolilor superiori și al acizilor volatili contribuie la textura și profunzimea aromelor.

Tipul de sol influențează profilul aromatic al vinurilor Fetească albă și Sauvignon blanc. Pe cernoziomuri cambice (Panciu, Bujoru, Viișoara), Fetească albă dezvoltă arome fructate și fermentative susținute de alcoolii superiori, în timp ce pe cernoziomuri levigate (Jidvei, Boieru) vinurile devin mai rotunde, cu note de fructe coapte. Solurile brun-luviale (Jelna, Aramic) accentuează caracterul erbaceu și ușor oxidativ, iar cele aluviale și nisipoase (Ceptura, Sarica Niculițel, Aurelia Vișinescu, Davino) asigură arome fructate intense. (Popescu (Stegarus) ș.a., 2023a, p. 19; SY Sun ș.a., 2012, p. 100).

Sauvignon blanc prezintă o sensibilitate accentuată la caracteristicile pedologice: pe cernoziomuri levigate și aluviale (Jidvei, Domeniile Boieru) predomină note de citrice, coacăze și vegetal, pe soluri brun-luviale se evidențiază mineralitatea și notele vegetale, iar pe cernoziomuri cambice se menține un echilibru între alcoolii superiori și esterii fructați. Terroir-ul influențează astfel nu doar concentrația compușilor volatili, ci și modul lor de exprimare aromatică, oferind oportunități pentru adaptarea vinificației la specificul fiecărei podgorii. În cazul Fetească albă, parametrii pedoclimatici au un impact semnificativ asupra profilului aromatic: în podgoriile nordice (Aramic, Jidvei, Ceptura), temperaturile active medii mai ridicate în 2019 și precipitațiile mai mari din 2021 au condus la creșteri moderate ale esterilor și alcoolilor (+3–9%), iar acizii grași s-au menținut relativ stabili și asigurând astfel echilibrul acidității și prospețimea vinului. (Jiang și Zhang, 2010, p. 9184).

În podgoriile sudice (Panciu, Viișoara, SCDVV Bujoru), stresul hidric moderat asociat cu precipitațiile mai reduse și solurile cu capacitate de reținere a apei adecvată (CRAS 170–180 mm) a stimulat metabolismul aromatic, ducând la creșteri mai pronunțate ale alcoolilor și esterilor (+5–15%), în timp ce acizii grași au rămas relativ stabili sau au scăzut ușor (-5% până -2%), conservând complexitatea și prospețimea vinurilor (Balogh ș.a., 2011a, p. 1006). Umiditatea ridicată și precipitațiile mari în podgoriile nordice (Jidvei, Dealurile Silagiului, Sarica Niculițel) ajută la menținerea acidității, dar pot dilua aromele și crește riscul bolilor fungice, necesitând strategii suplimentare de protecție (Sweetman ș.a., 2014, p. 5975).

Analiza dinamicii reacțiilor de esterificare între 2019 și 2021 evidențiază conversii selective semnificative în perechile alcool–ester. Pentru Fetească albă, etil hexanoat (EtHex) a scăzut de la 18,05 mg/L la 0,7 mg/L, iar în cazul Sauvignon blanc scăderea a fost similară, de la 18 mg/L la 0,7 mg/L. În schimb, etil caprat (EtCap) a crescut semnificativ, de la 0,99 mg/L la 11,9 mg/L în Fetească albă și de la 0,95 mg/L la 12 mg/L în Sauvignon blanc. Etil octanoat (EtOct) a scăzut moderat, iar etil decanoat (EtDec) a rămas relativ stabil. Aceste evoluții reflectă atât influența maturării vinurilor, cât și eficiența protocoalelor de vinificație aplicate, ceea ce indică un control adecvat al esterificării și al transformărilor chimice post-fermentative (Cao ș.a., 2022; Moreno-Arribas și Polo, 2009).

Analiza valorii activității olfactive (OAV) și liniar discriminantă (LDA) arată că diferențele între soiuri (Fetească albă și Sauvignon blanc) depășesc variațiile anuale 2019–2021, subliniind rolul factorilor genetici (Tredoux ș.a., 2008; Bedreag ș.a., 2025). Probele Fetească albă 2019 și 2021 s-au grupat apropiat, cu 2019 mai ridicat pe persistență și aciditate, iar 2021 ușor spre note dulci-agreabile. (Filimon ș.a., 2024).

Analiza arată influența terroir-ului asupra profilului aromatic. Dobrogea se evidențiază prin fructat (+18,76), oxidative (+30,86) și aciditate (+8,81), cu mineralitate scăzută (-29,94). Dealurile Moldovei prezintă vegetale și fermentative (+27,20), amar accentuat (+23,35) și mineralitate neutră (+0,81), având scorul mediu de diferențiere aromatică (LD1) -0,91, cel mai distinctiv. Transilvania combină dulceață (+9,82), florale (+3,65), mineralitate (+7,91) și amar (+12,01), cu scorul mediu LD1 -0,88, apropiat de Moldova. Dealu Mare se definește prin mineralitate (+12,84), oxidative (+6,62) și fructat (+14,36), cu amar redus (-11,35) și scorul mediu LD1 -0,59, intermediar. Banatul are note fructate (+13,96) și vegetale (+0,69), mineralitate mai mică (-4,02) și scorul mediu LD1 -0,23, cel mai echilibrat.

Diferențele între soiuri sunt mai mari decât variațiile anuale, analiza LDA a permis identificarea variabilelor cu cea mai mare putere de separare, evidențiind tipicitatea și caracterul regional al vinurilor.