

# ASPECTE PRIVIND UTILIZAREA METODELOR STATISTICE PENTRU CUANTIFICAREA INFLUENȚEI FACTORILOR CLIMATICI ASUPRA PRODUCTIVITĂȚII CULTURILOR AGRICOLE

Emilia Isabela PATRICHE, Cristian Valeriu PATRICHE

**Cuvinte cheie:** productivitate, factori climatici, matrici de corelație, analiză de regresie.

**Key words:** crop productivity, climatic factors, correlation matrices, regression analysis.

## **ABSTRACT:**

**Aspects regarding the use of statistical methods for quantifying the influence of climatic factors on crop productivity.** Our study attempts to assess the usefulness of statistical methods, namely correlation matrices and multiple regression, for explaining the annual fluctuations of crop productivity. We analysed the evolution of productivity for 5 crops (winter wheat, maize, sun-flower, potato and sugar beet), using the mean values for Iași and Botoșani counties, within the period 1990-2007. Using different agroclimatic predictors, according to the specific crop requirements, we found that winter wheat and maize productivity is better related to the annual fluctuations of climatic conditions. The most important factors explaining the productivity evolution are the mean temperatures for the second development stage, in the case of winter wheat, and the precipitations accumulated during the vegetation period for maize.

---

## **1. Introducere**

Scopul studiului de față îl constituie evidențierea și cuantificarea influenței factorilor climatici asupra productivității culturilor prin aplicarea metodelor statistice, respectiv prin analiza matricilor de corelație și analiza de regresie. Aplicațiile vizează teritoriul Câmpiei Moldovei și 5 dintre cele mai răspândite culturi de câmp din acest areal, respectiv grâul de toamnă, porumbul, floarea soarelui, cartoful și sfecla de zahăr. Șirurile de date analizate sunt reprezentate prin producțiile la hectar pentru culturile menționate, fiind folosite valorile medii ale acestora pe județele Iași și Botoșani pentru fiecare an din perioada 1990-2007. O parte din aceste date au fost preluate din anuarele statistice elaborate de Institutul Național de Statistică (<http://www.insse.ro/cms/rw/pages/index.ro.do>), iar o altă parte ne-au fost furnizate de către Direcția pentru Agricultură și Dezvoltare Rurală Iași (<http://www.dadris.ro/>). Variabilele explicative agroclimatice utilizate în modelele de regresie sunt redată în tabelul 1, acestea variind de la o cultură la alta, în funcție de cerințele specifice ale acestora (Sys C. et al., 1993).

**Tabelul 1.** Variabilele agroclimatice folosite pentru analiza statistică.

Planta de cultură	Variabile agroclimatice (explicative)
<b>Grâul de toamnă</b>	Temperatura medie a ciclului de vegetație Temperatura medie din stadiu II de dezvoltare (martie-aprilie) Temperatura medie din stadiu III de dezvoltare Temperatura medie din stadiu IV de dezvoltare Suma precipitațiilor din ciclul de vegetație Suma precipitațiilor din stadiul II de dezvoltare Suma precipitațiilor din stadiul III de dezvoltare Suma precipitațiilor din stadiul IV de dezvoltare Raportul dintre precipitațiile și temperaturile medii pe ciclul de vegetație
<b>Porumbul</b>	Temperatura medie a ciclului de vegetație Temperatura medie minimă a ciclului de vegetație Suma precipitațiilor din ciclul de vegetație Umezeala relativă din a doua lună a ciclului de vegetație Umezeala relativă din stadiul IV de dezvoltare Frația de insolație din a doua lună a ciclului de vegetație Frația de insolație din din stadiul IV de dezvoltare Raportul dintre precipitațiile și temperaturile medii pe ciclul de vegetație
<b>Floarea soarelui</b>	Temperatura medie a ciclului de vegetație Suma precipitațiilor din ciclul de vegetație Precipitațiile din prima lună a ciclului de vegetație Suma precipitațiilor din a doua și a treia lună a ciclului de vegetație Suma precipitațiilor din stadiul III de dezvoltare Suma precipitațiilor din stadiul IV de dezvoltare Umezeala relativă medie din ciclul de vegetație Raportul dintre precipitațiile și temperaturile medii pe ciclul de vegetație
<b>Cartoful</b>	Temperatura medie a ciclului de vegetație Suma precipitațiilor din ciclul de vegetație Temperatura minimă absolută din luna aprilie Temperatura minimă absolută din restul ciclului de vegetație Precipitațiile din prima lună a ciclului de vegetație Precipitațiile din a doua lună a ciclului de vegetație Precipitațiile din a treia lună a ciclului de vegetație Precipitațiile din a patra lună a ciclului de vegetație (numai pentru soiul târziu) Raportul dintre precipitațiile și temperaturile medii pe ciclul de vegetație
<b>Sfecla de zahăr</b>	Temperatura medie a ciclului de vegetație Suma precipitațiilor din ciclul de vegetație Umezeala relativă medie din ciclul de vegetație Raportul dintre precipitațiile și temperaturile medii pe ciclul de vegetație

## 2. Aspecte metodologice

Productivitatea terenului față de o anumită cultură este condiționată de un număr mare de variabile pedoclimatice și economice, fiecare contribuind, într-o măsură mai mare sau mai mică, la explicarea variabilității spațiale a acesteia. Analiza statistică, respectiv regresia multiplă, poate contribui la identificarea și ierarhizarea relativă a variabilelor de control și formularea unor ecuații matematice care să permită, cu o anumită probabilitate de eroare, calculul productivității terenului în diferite situații și în limitele unui anumit teritoriu.

Analiza noastră pleacă de la presupunerea că fluctuațiile în timp ale valorilor productivității terenului depind într-o măsură semnificativă de fluctuațiile în timp ale factorilor meteorologici și climatici, cu deosebire în condițiile unei agriculturi neirigate, cum este cazul pentru cea mai mare parte a teritoriului studiat.

Modelul general al regresiei multiple este redat de ecuația de mai jos (Johnston R. J., 1978):

$$Y = a_{0,1-n} + \sum_{i=1}^n b_{0i,1-n} X_i \pm \epsilon$$

unde:

- Y: variabila dependentă (productivitatea terenului în cazul nostru);
- $X_i$ : variabilele explicative (agroclimatice în cazul nostru);
- $b_{0i,1-n}$ : coeficienții de regresie;
- $a_{0,1-n}$ : termenul liber;
- $\epsilon$ : eroarea standard de estimare a lui Y;
- n: numărul variabilelor explicative.

Coeficienții de regresie definesc rata schimbării în Y în funcție de fiecare variabilă explicativă, având astfel semnificația unor gradienti. Sensul legaturii dintre variabila dependentă și o anumită variabilă explicativă este dat de semnul coeficientului de regresie corespunzător. Coeficienții de regresie nu pot fi direct comparați, decât în cazul în care variabilele explicative sunt exprimate în aceleași unități de măsură. Pentru a înlătura acest neajuns, aceștia pot fi standardizați.

Intensitatea legăturilor dintre variabilele explicative și variabila dependentă este exprimată de coeficientul de corelație multiplă (R), care ridicat la pătrat ne indică proporția din varianța lui Y explicată prin modelul de regresie (indicele de determinare). Eroarea standard a estimării variabilei dependente se determină cu formula:

$$\epsilon = S_Y \sqrt{1 - R^2}$$

unde:

- $S_Y$ : deviația standard a variabilei dependente.

Pentru o valoare estimată a lui Y, folosind modelul regresiei, eroarea standard a estimării are semnificația cantității cu care valoarea reală poate diferi, în plus sau în minus, de valoarea estimată cu probabilitate de cca 68%.

Mai multe informații referitoare la metodele statistice, în general și la analiza de regresie, în particular, pot fi găsite în numeroase lucrări din literatura de specialitate românească (Trebici V., 1985; Apetrei M. et al., 1996; Rădoane Maria et al., 1996; Patriche C.V., 2009) și internațională (Johnston R. J., 1978, Dobesch H. et al., 2007, StatSoft Electronic Textbook, <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>).

Aplicarea regresiei multiple în studiul de față s-a realizat în varianta integrării pas cu pas a variabilelor explicative (agroclimatice) pentru a reduce la minim efectul nedorit al corelațiilor semnificative dintre acestea asupra interpretării ecuațiilor de regresie.

Validarea modelelor rezultate s-a realizat testarea semnificativității statistice a coeficienților de corelație, a coeficienților de regresie și termenului liber și calculul erorii standard a estimării. De asemenea, s-a procedat la validarea încrucișată a modelelor, prin compararea valorilor observate (reale) ale productivității cu valorile estimate prin eliminarea succesivă a fiecărui an din eșantionul disponibil. Cu alte cuvinte, validarea încrucișată presupune determinarea modelului de regresie prin eliminarea datelor din primul an și compararea valorilor estimate cu cele reale, urmată de determinarea modelului de

regresie prin eliminarea datelor din al doilea an și compararea valorilor estimate cu cele reale s.a.m.d.

### 3. Rezultate obținute

Pentru **grâul de toamnă**, matricea corelațiilor liniare indică legături statistice semnificative cu temperaturile medii din al doilea și al treilea stadiu de dezvoltare (tabelul 2). Aceste variabile apar, în consecință și în modelul regresiei (tabelul 3). În plus, modelul statistic include influența altor 2 factori, respectiv temperatura medie a ciclului de vegetație și precipitațiile din stadiul al II-lea de dezvoltare.

**Tabelul 2.** Matricea corelațiilor liniare dintre productivitatea grâului de toamnă și factorii agroclimatici

	<i>prod. GR</i>	<i>t.m. ciclu</i>	<i>t.m. std.I</i>	<i>tm. std III</i>	<i>tm. stdIV</i>	<i>pp. ciclu</i>	<i>pp. std II</i>	<i>pp. std III</i>	<i>pp. std IV</i>	<i>P/T</i>
<i>prod. GR</i>	<b>1.000</b>									
<i>t.m. ciclu</i>	-0.180	<b>1.000</b>								
<i>t.m. std.I</i>	<b>0.413</b>	<b>0.598</b>	<b>1.000</b>							
<i>tm. std III</i>	<b>-0.468</b>	0.325	0.022	<b>1.000</b>						
<i>tm. stdIV</i>	-0.044	<b>0.483</b>	<b>0.454</b>	<b>0.424</b>	<b>1.000</b>					
<i>pp. ciclu</i>	0.285	<b>-0.652</b>	-0.271	<b>-0.446</b>	-0.282	<b>1.000</b>				
<i>pp. std II</i>	0.298	<b>-0.509</b>	<b>-0.360</b>	-0.231	<b>-0.386</b>	<b>0.543</b>	<b>1.000</b>			
<i>pp. std III</i>	0.325	<b>-0.587</b>	-0.110	<b>-0.556</b>	-0.267	<b>0.715</b>	0.196	<b>1.000</b>		
<i>pp. std IV</i>	0.095	-0.249	-0.282	-0.279	-0.121	<b>0.465</b>	0.025	0.235	<b>1.000</b>	
<i>P/T</i>	0.277	<b>-0.764</b>	<b>-0.357</b>	<b>-0.446</b>	-0.350	<b>0.985</b>	<b>0.584</b>	<b>0.728</b>	<b>0.435</b>	<b>1.000</b>

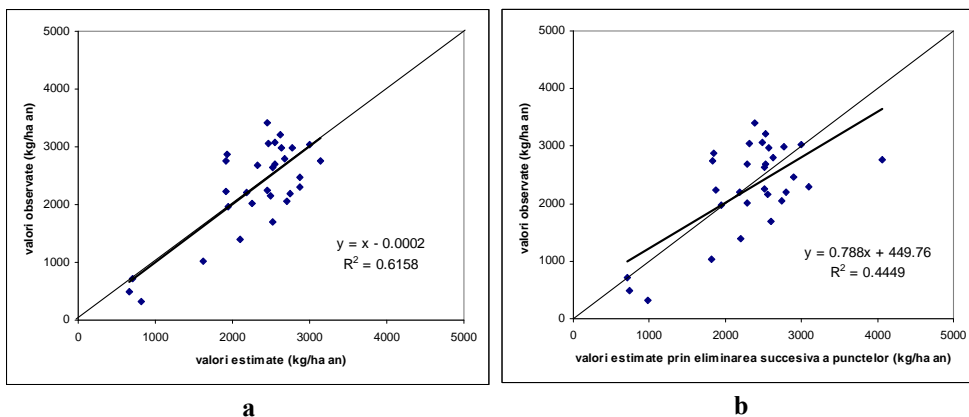
Nota: cu bold sunt marcate corelațiile statistice semnificative cu probabilitate de eroare de 5%

Semnul coeficienților de regresie indică aparent surprizător relații inverse între productivitatea grâului și temperaturile medii din ciclul de vegetație și din stadiul al III-lea de dezvoltare. Cu alte cuvinte, productivitatea crește pe măsură ce aceste temperaturi caracteristice scad. Situația este surprinzătoare deoarece cunoaștem că favorabilitatea crește pe măsura creșterii temperaturilor nu doar în cazul grâului, ci pentru toate plantele de cultură analizate. Totuși semnul negativ al corelațiilor, cel puțin la nivelul temperaturilor medii din ciclul de vegetație, este prezent la fiecare plantă de cultură, fapt ce ne împiedică să considerăm aceste corelații ca fiind false. Explicația, în opinia noastră, constă în faptul că valorile mai mari ale temperaturilor indică ani mai calzi care sunt, în general, și mai secetoși, cu frecvență și intensitate mai mare a fenomenelor meteorologice de risc. Astfel, caracterul mai puțin favorabil al anilor mai calzi se reflectă, prin intermediul acestor temperaturi medii, la nivelul productivității, deoarece modelele noastre nu au inclus fenomenele de risc meteorologice în analiză.

În consecință, coeficienții de regresie ai celor doi parametri termici menționați pentru cultura grâului nu trebuie interpretați ca gradienti. Fiind însă utili pentru modelarea variabilității anuale a productivității, aceștia trebuie menținuți în ecuația de regresie.

**Tabelul 3.** Parametrii statistici ai modelului de regresie multiplă pentru cultura grâului de toamnă.

R = 0.785 R <sup>2</sup> = 0.616, eroarea standard: 539.02		
	Beta	B
<b>termenul liber</b>		6036.673
<i>t.m. std. III</i>	-0.265	-138.199
<i>t.m. std. II (martie – aprilie)</i>	0.7736	322.422
<i>t.m. ciclu</i>	-0.396	-381.476
<i>pp. std II</i>	0.314	6.987



**Fig. 1.** Corelația dintre valorile observate și estimate (a) și validarea încrucișată a modelului de regresie (b) pentru cultura grâului de toamnă.

Celelalte două corelații sunt directe, indicând creșterea productivității odată cu creșterea temperaturilor medii și a precipitațiilor din stadiul al II-lea de dezvoltare. Coeficienții de regresie standardizați (beta) plasează pe primul loc, ca importanță relativă în condiționarea evoluției de la un an la altul a productivității, precipitațiile din stadiul al II-lea de dezvoltare.

Modelul pe ansamblu explică variabilitatea de la un an la altul a productivității grâului de toamnă în proporție de 61% ( $100 \cdot R^2$ ) cu o eroare standard de  $\pm 539$  kg/ha an.

Pentru **cultura porumbului**, matricea corelațiilor liniare indică relații statistice semnificative ale productivității cu temperatura medie, suma precipitațiilor din ciclului de vegetație și cu raportul dintre aceste două variabile, ca indicator al aridității climatului.

Din nou, corelația cu temperatura medie este inversă, explicația fiind aceeași ca și în cazul culturii grâului de toamnă. Modelul de regresie rezultat (tabelul 5, figura 2) nu include însă această variabilă, ci celelalte două pentru care corelațiile cu productivitatea sunt pozitive, indicând firesc creșterea productivității pe măsura creșterii precipitațiilor din ciclul de vegetație și scăderea în ani cu condiții de ariditate mai accentuate (valori mai mici ale raportului P/T).

Potrivit coeficienților de regresie standardizați (beta), precipitațiile din ciclul de vegetație dețin un rol mai important în explicarea evoluției productivității de la un an la altul pentru cultura porumbului. Pe ansamblu, modelul explică 51.4% din varianța productivității, cu o eroare standard de 474.9 kg/ha an.

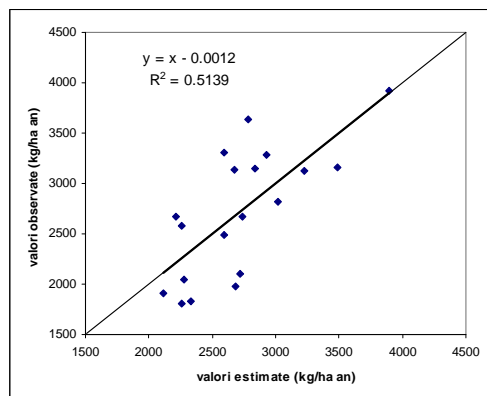
**Tabelul 4.** Matricea corelațiilor liniare dintre productivitatea porumbului și factorii agroclimatici.

	<i>prod PB</i>	<i>t.m. ciclu</i>	<i>t.m. min</i>	<i>pp ciclu</i>	<i>r II luna</i>	<i>r std IV</i>	<i>fa II-a luna</i>	<i>f std IV</i>	<i>P/T</i>
<i>prod PB</i>	<b>1.000</b>								
<i>t.m. ciclu</i>	<b>-0.651</b>	<b>1.000</b>							
<i>t.m. min</i>	-0.317	<b>0.816</b>	<b>1.000</b>						
<i>pp. ciclu</i>	<b>0.579</b>	<b>-0.667</b>	-0.235	<b>1.000</b>					
<i>r II luna</i>	0.341	<b>-0.664</b>	<b>-0.472</b>	<b>0.413</b>	<b>1.000</b>				
<i>r std IV</i>	0.344	<b>-0.520</b>	-0.136	<b>0.613</b>	<b>0.531</b>	<b>1.000</b>			
<i>fa II-a luna</i>	0.256	<b>0.442</b>	<b>0.374</b>	-0.254	<b>-0.458</b>	<b>-0.507</b>	<b>1.000</b>		
<i>f std IV</i>	0.302	0.335	0.294	-0.160	<b>-0.396</b>	<b>-0.503</b>	<b>0.940</b>	<b>1.000</b>	
<i>P/T</i>	<b>0.591</b>	<b>-0.720</b>	-0.297	<b>0.996</b>	<b>0.458</b>	<b>0.632</b>	-0.266	-0.172	<b>1.000</b>

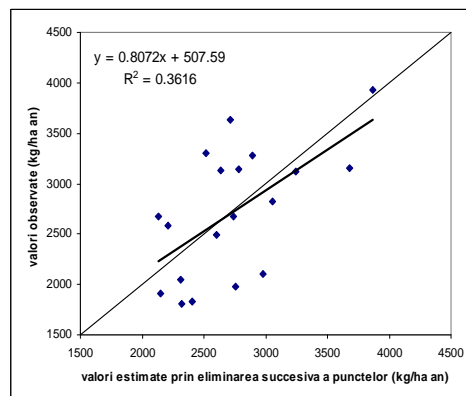
Nota: cu bold sunt marcate corelațiile statistice semnificative cu probabilitate de eroare de 5%

**Tabelul 5.** Parametrii statistici ai modelului de regresie multiplă pentru cultura porumbului.

R = 0.717 R <sup>2</sup> = 0.514, eroarea standard: 474.91		
	Beta	B
<b>termenul liber</b>		1056.053
<i>pp. ciclu</i>	0.701	72.761
<i>fa II-a luna</i>	0.464	1367.180



**a**



**b**

**Fig. 2.** Corelația dintre valorile observate și estimate (a) și validarea încrucișată a modelului de regresie (b) pentru cultura porumbului.

Pentru **cultura cartofului**, corelațiile liniare indică o singură relație statistic semnificativă pentru eșantionul studiat, respectiv relația dintre productivitatea cartofului și precipitațiile din prima lună a ciclului de vegetație (aprilie) (tabelul 6). Corelația este pozitivă, indicând productivități mai mari la această cultură în anii cu sume mai mari de precipitații în luna aprilie.

Această variabilă agroclimatică este și singura care intră în modelul de regresie (tabelul 7). Pe ansamblu, modelul are un grad relativ redus de explicare a productivității (37.7%), eroarea standard fiind de 2426.5 kg/ha an.

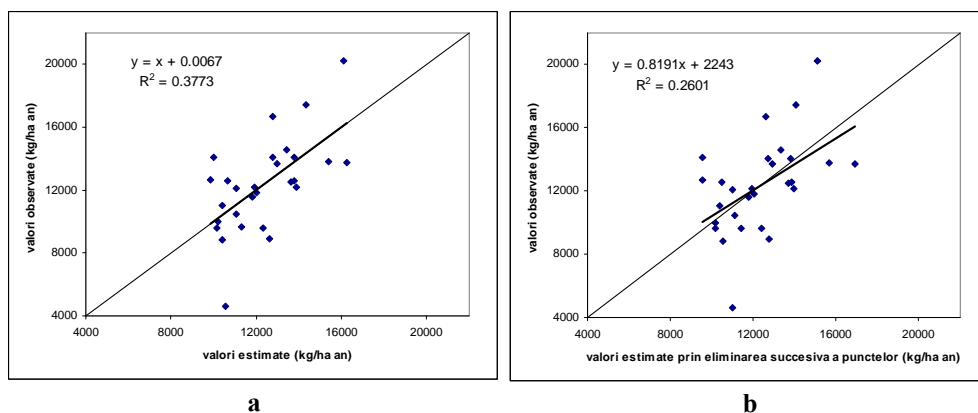
**Tabelul 6.** Matricea corelațiilor liniare dintre productivitatea cartofului și factorii agroclimatici.

	<i>prod. CT</i>	<i>t.m. ciclu</i>	<i>pp. ciclu</i>	<i>t. min. abs. aprilie</i>	<i>t.min. abs rest</i>	<i>pp. I luna aprilie</i>	<i>pp II mai</i>	<i>pp III iunie</i>	<i>P/T</i>
<i>prod. CT</i>	<b>1.000</b>								
<i>t.m. ciclu</i>	-0.184	<b>1.000</b>							
<i>pp. ciclu</i>	0.335	0.075	<b>1.000</b>						
<i>t.min. abs. aprilie</i>	-0.223	0.124	-0.230	<b>1.000</b>					
<i>t.min. abs. rest</i>	0.099	<b>0.361</b>	<b>0.451</b>	-0.194	<b>1.000</b>				
<i>pp I luna aprilie</i>	<b>0.614</b>	-0.185	<b>0.373</b>	0.022	-0.051	<b>1.000</b>			
<i>pp II mai</i>	-0.063	-0.309	<b>0.602</b>	0.133	0.219	0.220	<b>1.000</b>		
<i>pp III iunie</i>	0.306	-0.320	<b>0.360</b>	0.097	0.073	<b>0.375</b>	0.343	<b>1.000</b>	
<i>P/T</i>	0.344	-0.133	<b>0.976</b>	-0.224	<b>0.381</b>	<b>0.408</b>	<b>0.691</b>	<b>0.426</b>	<b>1.000</b>

Nota: cu bold sunt marcate corelațiile statistic semnificative cu probabilitate de eroare de 5%

**Tabelul 7.** Parametrii statistici ai modelului de regresie multiplă pentru cultura cartofului.

R = 0.614 R <sup>2</sup> = 0.377, eroarea standard: 2426.5		
	Beta	B
<i>termenul liber</i>		8897.926
<i>pp I luna aprilie</i>	0.614	71.179



**Fig. 3.** Corelația dintre valorile observate și estimate (a) și validarea încrucișată a modelului de regresie (b) pentru cultura cartofului.

În cazul celorlalte culturi, respectiv pentru cultura florii soarelui și sfecelei de zahăr, nu s-au pus în evidență relații statistic semnificative cu factorii de control agroclimatici considerați.

#### 4. Concluzii

Studiul efectuat demonstrează, în opinia noastră, utilitatea metodelor statistice, respectiv a matricilor de corelație și regresiei multiple, pentru explicarea fluctuațiilor de la un an la altul a productivității culturilor agricole. Cele mai bune modele au fost obținute pentru grâul de toamnă și porumb, pentru care evoluția productivităților este explicată în proporție de 62%, respectiv 51%, de evoluția factorilor agroclimatici considerați. Evoluția anuală a productivităților la celelalte culturi analizate a fost într-o măsură mai mică condiționată de evoluția factorilor agroclimatici, intervenind probabil, mai pregnant, factori de natură socio-economică și tehnologică. Trebuie totuși să avem în vedere și erorile potențiale induse de informația generalizată, respectiv de folosirea ca date de intrare a productivităților medii pe județe și a datelor agroclimatice derivate din cele înregistrate la cele 2 stații meteorologice reprezentative pentru acestea (Iași, Botoșani).

#### BIBLIOGRAFIE

- Apetrei M., Groza O., Grasland C.** (1996), *Elemente de statistică cu aplicații în geografie*, Edit. Univ. „Al. I. Cuza” Iași.
- Dobesch H., Dumolard P., Dyras I.**, (editors, 2007), *Spatial Interpolation for Climate Data. The Use of GIS in Climatology and Meteorology*, ISTE, Wiley.
- Johnston R. J.** (1978), *Multivariate Statistical Analysis in Geography. A Primer on the General Linear Model*, Longman.
- Patriche C.V.** (2009), *Metode statistice aplicate în climatologie*, Edit. „Terra Nostra” Iași.
- Rădoane Maria, Rădoane N., Ichim I., Dumitrescu Gh., Ursu C.** (1996), *Analiza cantitativă în geografia fizică*, Edit. Univ. „Al. I. Cuza”, Iași.
- Sys C., Van Ranst E., Debaveye J., Beernaert F.** (1993), *Land Evaluation. Part III: Crop Requirements*, Agric. Publ., No. 7, Brussels.
- Trebici V.** (coord., 1985), *Mică enciclopedie de statistică*, Edit. Științifică și Enciclopedică, București.
- \* \* \* *StatSoft Electronic Textbook*, <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>
- \* \* \* Anuare statistice, Institutul Național de Statistică,  
<http://www.insse.ro/cms/rw/pages/index.ro.do>
- \* \* \* Direcția pentru Agricultură și Dezvoltare Rurală Iași, <http://www.dadris.ro/>

Emilia Isabela PATRICHE  
SAM Voinești, Jud. Iași  
Email: pi\_emilia@yahoo.com

Cristian Valeriu PATRICHE  
Academia Română, Filiala Iași, Colectivul de Geografie  
Email: pvcristi@yahoo.com