

**APPLICATION AU CHILI DE L'INDICE BIOCLIMATIQUE DE
QUALITE DE FREGONI SIMPLIFIE : PROPOSITION
D'UTILISATION DE SA COURBE D'EVOLUTION**

**APPLICATION OF THE SIMPLIFIED QUALITY BIOCLIMATICAL
INDEX OF FREGONI: SUGGESTION OF USING ITS EVOLUTION
CURVE**

Ph. PSZCZÓLKOWSKI⁽¹⁾ ; E. ALEMPARTE⁽¹⁾ ; M. I. CÁRDENAS⁽²⁾

(1) Departamento de Fruticultura y Enología

Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal
Pontificia Universidad Católica de Chile
Casilla 306-22, Santiago, Chile.

e-mail: philippo@puc.cl

(2) CIREN-CORFO

Manuel Montt 1164; Santiago, Chile

e-mail: mcardenas@ciren.cl

Mots clés: Chili, zonage vitivinicole, indice bioclimatique.

Key words : Chile, viti-vinicultural zoning, bio-climatic index.

RESUME

Les indices bioclimatiques constituent un bon outil pour piloter le développement vitivinicole dans une région précise. Plusieurs indices bioclimatiques ont été proposés par la littérature mondiale (WINKLER 1970; HIDALGO, 1980; HUGLIN, 1986, TONIETO et CARBONEAU, 2000), mais pour des raisons physiologiques ces indices n'incluent pas dans leurs formules les températures journalières inférieures à 10 °C, à l'exception de l'indice de FREGONI (FREGONI et PEZZUTTO, 2000). Cet auteur établit une relation entre les variations thermiques, les températures inférieures à 10 °C et la qualité des vins, en particulier pour les 30 jours précédant les vendanges. Parmi les indices appliqués au Chili, celui de WINKLER et AMERINE (WINKLER, 1970) est probablement le plus utilisé, cependant il présente quelques limites (Mc INTYRE *et al.* 1987; JACKSON et CHERRY, 1988) et des résultats incongrus ont été signalés pour le Chili. En effet, il classe dans le même groupe des zones littorales avec d'autres proches à la cordillère des Andes, présentant des températures moyennes similaires mais avec des variations thermiques sensiblement différentes (SANTIBAÑEZ *et al.* (1984).

FREGONI et PEZZUTTO (2000) affirment que le Chili présente les plus hautes variations thermiques journalières pendant le mois précédant la récolte, ce qui justifierait l'utilisation de l'indice de FREGONI pour la vitiviniculture de ce pays.

On a utilisé la formule simplifiée de l'indice de FREGONI (IFss), en multipliant l'amplitude thermique par le nombre de jours au-dessous de 10 °C pour le mois précédant la récolte, sans prendre en compte le nombre d'heures pendant lesquelles ces températures au-dessous de 10 °C se maintiennent : $IFss = \sum(T \text{ maxima} - T \text{ minima}) * \sum(N^{\circ} \text{ jours} < 10^{\circ} C)$. L'indice de FREGONI est calculé pour le mois précédant la récolte, en l'occurrence, le mois de mars pour l'hémisphère sud.

Le calcul de l'indice de FREGONI pour différents lieux de la région du Maule au Chili permet de différencier 4 zones agroclimatiques. Ces valeurs obtenues ne correspondent pas aux niveaux les plus élevés possibles pour ces zones, qui se produisent généralement pendant le mois d'avril.

Par ailleurs, au Chili et plus particulièrement dans les zones de la région du Maule, les vendanges s'étalent, en fonction du cépage, du mois de février à mai. Par conséquent, le calcul de l'indice uniquement pour le mois de mars se révèle inapproprié.

Afin de mieux caractériser chaque lieu, on propose donc l'utilisation de la courbe d'évolution de IFss, caractérisée par 4 périodes. Cette courbe d'évolution de l'indice peut avoir différentes applications pratiques.

ABSTRACT

Bioclimatic indices are good tools to orientate the development of viticultural areas. Several bioclimatic indices have been proposed in international literature (WINKLER 1970; HIDALGO, 1980; HUGLIN, 1986, TONIETO et CARBONEAU, 2000) but, for physiological reasons, daily temperatures under 10°C are not included, excepted in FREGONI's index (FREGONI and PEZZUTTO, 2000). These authors establishes a relationship between daily temperature variations, temperatures under 10°C and wine quality, for the 30 days before harvest.

WINKLER and AMERINE's index (WINKLER, 1970) is certainly the most frequently used, among different climatic indices used in Chile. However, it has some limitations (Mc INTYRE *et al.* 1987; JACKSON and CHERRY, 1988) and some wrong results have been reported for Chile. In fact, this index classifies in the same class coastal zones and closed to the Andes mountains areas. For these two areas, average temperatures are similar but daily variations of temperature are quite different (SANTIBAÑEZ *et al.* 1984).

FREGONI and PEZZUTTO (2000) observed that Chile presents the highest daily variations of temperature during the month before harvest and suggested that it could justify the use of FREGONI's index for Chilean viticultural areas.

Simplified FREGONI's indice (Ifss) was used by multiplying daily temperature amplitude and the number of days under 10°C, for the month before harvest, but not regarding duration of temperature under 10°C period: $Ifss = S(T \text{ maxima} - T \text{ minima}) * S(N^{\circ} \text{ days} < 10^{\circ} C)$. FREGONI's index is calculated for the month before harvest, March for the southern hemisphere.

FREGONI's index was applied to different areas of Chilean Maule region and 4 agroclimatic zones were distinguished. Results don't correspond to the highest potential levels for these areas, generally found in April. In Chile, and more particularly in the Maule region, the harvest period spread from February to May, according to the cultivar. Consequently, FREGONI's index application only for March is quite inexact. The Ifss curve evolution, characterized by 4 periods, is proposed to characterize viticultural areas. This curve presents different practical applications.

INTRODUCTION

Les indices bioclimatiques peuvent constituer des outils utiles à une orientation correcte du développement vitivinicole d'une région déterminée. Divers indices ont déjà été proposés dans le monde (WINKLER 1970; HIDALGO, 1980; HUGLIN, 1986, TONIETO et CARBONEAU, 2000). Cependant, ceux-ci ne prennent généralement pas en compte dans leurs calculs les températures diurnes inférieures à 10 C°, et ceci pour des raisons physiologiques. Ce facteur est intégré dans l'indice de FREGONI (FREGONI et PEZZUTTO, 2000), qui a établi une relation entre les variations thermiques, les températures inférieures à 10 C° et la qualité des vins, en particulier pendant les 30 jours qui précèdent la vendange.

Parmi les indices bioclimatiques appliqués à la vitiviniculture, aussi bien mondiale que nationale, celui de WINKLER et AMERINE (WINKLER, 1970) est probablement le plus employé afin d'évaluer une région vitivinicole. Il présente pourtant certaines limites (Mc INTYRE *et al.* 1987; JACKSON et CHERRY, 1988) et des résultats paraissant parfois inapproprié pour le Chili. En effet, il inclut dans une même zone les aires littorales et d'autres plus proches de la Cordillère des Andes. Bien que les températures moyennes soient proches, elles sont entre autre déterminées par des variations thermiques sensiblement différentes (SANTIBAÑEZ *et al.*, 1984). D'autres indices ont également fait l'objet d'études au Chili, mais aucun ne semble, d'après leurs auteurs mêmes, convenir aux conditions de ce pays (SANTIBAÑEZ *et al.*, 1984).

FREGONI et PEZZUTTO (2000) soutiennent que le Chili possède probablement les plus grandes oscillations thermiques diurnes un mois avant la vendange, ce qui procure les meilleures conditions d'utilisation de l'indice de FREGONI. SANTIBAÑEZ *et al.* (1984) signalent, dans la région centrale du Chili entre la cordillère de la Côte et la cordillère des Andes, des variations thermiques journalières moyennes de 15°C en janvier. Ces variations sont atténuées dans la région littorale, avec des valeurs de moins de 5°C. Cette situation est également observée dans la cordillère des Andes où les amplitudes diminuent avec l'altitude (inférieures à 10°C).

En vitiviniculture, de nombreux auteurs soulignent l'influence de ces amplitudes thermiques sur la composition chimique de la baie, en relation à la qualité du vin obtenu (KLIWER, 1970; KLIWER et TORRES, 1972; MAUJEAN *et al.*, 1983; CHAMPAGNOL, 1984; GIL, 2001). Les principales conséquences s'observent sur l'accumulation des sucres, de composés phénoliques et sur l'occurrence de réactions de biosynthèse de tels composés, plus particulièrement des anthocyanes dont le métabolisme est stimulé par des températures diurnes élevées et dont, au contraire, les migrations sont freinées par de basses températures nocturnes.

Les vins d'intensité colorante plus importante sont élaborés dans des régions viticoles relativement fraîches alors que dans des régions plus froides, il est difficile d'obtenir des vins très colorés. Le même phénomène se produit en régions très chaudes, notamment pour certaines variétés. Au contraire, lorsque l'amplitude thermique augmente, la couleur s'améliore, compensant les effets négatifs engendrés par des températures élevées ou basses pendant la maturation.

Il s'avère également important de définir les caractéristiques de l'amplitude thermique puisqu'elle n'affecte pas la vigne de la même façon selon les températures (HUNTER et ARCHER, 2001). Des auteurs comme SANTIBAÑEZ *et al.*, (1984), GIL (1999) et FREGONI, fixent à 45°C la limite pour la réalisation des fonctions de base de la vigne. Selon GIL (1999), celles-ci sont affectées à partir de 35°C, température à laquelle se ferment les stomates. En ce qui concerne les limites inférieures, SANTIBAÑEZ *et al.* (1984) signalent -2°C comme le minimum auquel pourrait résister une vigne à l'état végétatif, sachant que dès 0°C, des dégâts pourraient être subis. C'est pourquoi FREGONI propose 5°C comme étant une limite inférieure acceptable. En conséquence, les températures comprises entre 5 et 35°C constituent l'optimum d'application de l'indice de FREGONI ; sous certaines conditions cependant, ces valeurs pourront être élargies de 0 à 40-45 C°.

L'ordre de grandeur considéré (5 à 35°C) correspond justement aux conditions climatiques dans lesquelles se déroulent les processus de maturation en vitiviniculture chilienne et fixent par conséquent un cadre théorique de validité à l'indice de FREGONI.

Initialement, le calcul de l'indice de FREGONI se basait sur la variation thermique du mois précédant la vendange (mars et septembre, respectivement pour les hémisphères sud et nord) ainsi que sur la somme des heures durant lesquelles la température est inférieure à 10°C, pour la même période FREGONI PEZZUTTO, 2000) (formule 1).

$$IF = \sum (T \max - T \min) * \sum (\text{Nb heures} < 10^\circ \text{C}) \quad (1)$$

Les températures maximales et minimales sont des données facilement disponibles, alors que le nombre d'heures durant lesquelles la température est inférieure à 10°C l'est moins ou peut être fastidieux à calculer. C'est pourquoi FREGONI lui-même propose de simplifier son indice en prenant en compte la variation thermique du mois précédant la vendange, multipliée cette fois par le nombre de jours ayant connu, pendant cette même période, des températures inférieures à 10°C et par un facteur 3 (formule 2), supposant que cette température subsiste pendant trois heures.

$$IFs = \sum (T \max - T \min) * \sum (\text{Nb jours} < 10^\circ \text{C}) * 3 \quad (2)$$

Pourtant, WITKOWSKI *et al.* (2001), dans les conditions de la vallée du Rio Negro et de Neuquén en Argentine, signalent que le facteur devrait être supérieur, de l'ordre de 6. Dans le cas du Chili et selon la région considérée, ce facteur pourrait être encore plus élevé.

Ce travail a pour objectif de calculer l'indice bioclimatique simplifié de FREGONI, de connaître son évolution et de discuter ses applications techniques possibles, ce pour certaines zones de la région vitivinicole du Maule et de Casablanca (Chili).

MATERIEL ET METHODES

Dans ce travail, on opte pour une expression simplifiée de l'indice de FREGONI (formule 3), en utilisant seulement la multiplication des facteurs d'amplitude thermique et de jours où les températures sont inférieures à 10°C pendant le mois antérieur à la vendange, sans prendre en compte de facteur représentant le nombre d'heures pendant lesquelles elles se maintiennent, (étant donné qu'il serait différent d'une région à une autre, ce qui créerait ainsi des distorsions injustifiées).

$$IFss = \sum (T \max - T \min) * \sum (\text{Nb jours} < 10^\circ \text{C}) \quad (3)$$

L'indice de FREGONI simplifié est calculé pour différentes localités de la région du Maule, en utilisant les données de l'année 2000 (températures maximales et minimales) fournies par le CIREN. De plus, la localité de Penciahue dispose d'une série de données sur une période de 22 ans (de 1978 à 2000), qui permet l'élaboration de la courbe d'évolution de l'indice entre les mois de février et de mai.

RESULTATS

A) Les Secteurs Agroclimatiques

Dans les tables 1 et 2 figurent les valeurs d'amplitude thermique, les jours inférieurs à 10°C et l'indice de FREGONI simplifié au 30 mars. De plus, elles proposent, en fonction des facteurs qui composent cet indice, quatre secteurs agroclimatiques pour la région vitivinicole du Maule (Figure 1) :

- **Secteur A de FREGONI simplifié :**

Il correspond à la zone littorale et au versant Ouest de la cordillère de la Côte (stations de Gurfinkel, Llico et Chanco). Il est caractérisé par une forte influence maritime et par l'amplitude thermique la plus faible de la région vitivinicole du Maule (14,7°C de moyenne pour les stations étudiées) avec un nombre de jours inférieurs à 10°C moyen pour cette région (17 en moyenne). Valeur de l'indice inférieur à 10.000.

- **Secteur B de FREGONI simplifié :**

Il correspond aux vallées transversales de la cordillère de la Côte et à son versant est (stations de Cauquenes, Corinto, Penciahue, Panguilemo). Il se caractérise par l'amplitude thermique la plus importante (18,5°C de moyenne pour les stations étudiées) et un grand nombre de jours inférieurs à 10°C (24 en moyenne). Valeur de l'indice : entre 10.000 et 20.000.

- **Secteur C de FREGONI simplifié :**

Il correspond à la dépression centrale, proche de la cordillère de la Côte (stations de Curicó, Villa Alegre, Talca, Yervas Buenas). Il se caractérise par une amplitude thermique moyenne (16,8°C en moyenne pour les stations étudiées) et le nombre le plus faible de jours inférieurs à 10°C (15 en moyenne). Valeurs de l'indice semblables à celles du secteur A (inférieures à 10.000).

- **Secteur D de FREGONI simplifié :**

Il correspond à la dépression centrale proche de la pré-cordillère andine et à son versant Ouest (stations de Vilches, San José Perquín, San Clemente, Terramater et Aresti). Il est caractérisé par une forte amplitude thermique (17,1°C en moyenne pour les stations étudiées) et le plus grand nombre de jours inférieurs à 10°C (27 en moyenne). Valeurs de l'indice semblables à celles du secteur B, c'est-à-dire comprises entre 10 000 et 20.000.

B) Evolution de l'indice simplifié de FREGONI :

Sont présentées sur les figures 2 à 4 les courbes d'évolution de l'indice simplifié de FREGONI pour quelques localités représentatives des secteurs étudiés ayant de réelles aptitudes vitivinicoles. Ce sont respectivement les villes de Penciahue (Secteur B), Villa Alegre (Secteur C) et San José Perquín (Secteur D). Chaque point correspond aux 30 derniers jours précédant la récolte. Les courbes sont approximées par des polynômes d'ordre 3, dont les corrélations avec les courbes réelles sont supérieures à 0,96.

L'évolution de la courbe est caractérisée par quatre périodes:

- 1) Une première période seulement définie par une amplitude thermique très importante.
- 2) Une deuxième période pendant laquelle on observe toujours une amplitude thermique élevée, bien que plus faible que précédemment, et où commencent à apparaître des jours aux minimales inférieures à 10 C°. La valeur de l'indice est en augmentation constante.
- 3) Une troisième période qui se caractérise par la poursuite de la baisse de l'amplitude thermique mais où on atteint le maximum de jours pendant lesquels les températures minimales sont inférieures à 10 C°. L'indice est maximal.
- 4) Une quatrième période pendant laquelle l'amplitude thermique est en constante diminution et le nombre de jours aux températures inférieures à 10°C reste élevé. L'indice diminue petit à petit.

Dans le cas de la localité de Pencahue (Figure 1):

- 1) Première période du 13 février au 10 mars: valeurs de l'indice comprises entre 572 et 586.
- 2) Deuxième période de 11 mars au 15 avril: indice en augmentation constante, de 1.110 à 15.341.
- 3) Troisième période du 16 au 23 avril: indice maximal, relativement constant, de 14.125 à 14.995.
- 4) Quatrième période du 24 avril au 15 mai (dernière mesure à cette date): indice en constante diminution, de 14.019 à 11.581.

L'observation des courbes des autres localités (Villa Alegre et San José Perquín) montrent qu'elles présentent, en termes relatifs, des formes similaires à celles de Pencahue. De même, la forme de la courbe reste identique entre les différents secteurs aussi bien qu'à l'intérieur de l'un d'entre eux, que ce soit dans la région étudiée du Maule ou en dehors. On observe par exemple une courbe du même type à Casablanca située dans le secteur B (Figure 5).

- 1) Première période du 7 au 17 février : indice de 916 à 1.400.
- 2) Deuxième période de 18 février au 12 avril : indice en constante augmentation, de 1.422 à 18.864.
- 3) Troisième période du 14 au 20 avril: indice maximal de 15.498 à 18.429.
- 4) Quatrième période du 21 avril au 15 mai (dernière mesure à cette date): indice en constante diminution, de 14.364 à 12.515.

Même si les courbes ont une allure similaire, les valeurs de l'indice permettent de différencier les localités de Pencahue (VII Région) et Casablanca (V Région). Cette dernière, pour chaque période, présente des valeurs supérieures, déterminées principalement par de plus grandes amplitudes thermiques et parfois par un nombre de jours inférieurs à 10 C°.

DISCUSSION

A) Les secteurs agroclimatiques

Si l'on compare les valeurs déterminées pour différentes localités de la région vitivinicole du Maule (de 3.735 pour Gurfinkel à 17.967 à Panguilemo) avec celles de l'Italie où cet indice a été également proposé, l'on constate que les valeurs du Chili sont sensiblement plus élevées, probablement d'ailleurs parmi les plus élevées du monde, ainsi que le supposaient FREGONI et PEZZUTTO (2000).

Les données de référence concernant l'Italie sont en moyenne de 1.367 pour les localités "froides" du Nord (valeur maximale observée: 2.966), de 671 au centre de la péninsule (minimum relevé: 255) et de 555 dans les localités "chaudes" du sud (315 étant la valeur minimale relevée).

D'autre part, WITKOWSKI *et al.* (2001) signalent aussi des valeurs très élevées au moment de la maturité, et ce pour diverses variétés (de 28.856 pour le Merlot et le Chardonnay à 57.586 pour le Cabernet Sauvignon) dans la haute vallée du Rio negro et à Neuquen, en Argentine en incluant dans ce cas dans leurs calculs le facteur 3 (formule 2), facteur qui représente les heures pendant lesquelles la température diurne est inférieure à 10°C. Si l'on ne considère pas ce facteur, qui surestime la réelle quantité d'heures en dessous de 10°C dans la dite localité (5,88 h), les valeurs seraient respectivement de 9.619 pour le Merlot et Chardonnay et de 19.285 pour le Cabernet Sauvignon, valeurs qui correspondent alors à l'ordre de grandeur observé dans la région vitivinicole du Maule.

D'autre part, même si les secteurs proposés pour l'indice simplifié de FREGONI pour la région vitivinicole du Maule, A et C et de l'autre côté B et D, présentent des valeurs similaires (Table 1), le facteur d'amplitude thermique et le nombre de jours en dessous de 10°C pendant le mois précédant la vendange sont inversés. En effet, le secteur A possède une amplitude thermique plus faible que le secteur C, mais un nombre de jours inférieurs à 10°C plus élevé. De même, le secteur B, en comparaison avec le D, a une amplitude thermique plus grande, mais un nombre de jours inférieurs à 10°C plus faible.

Les valeurs présentées pour diverses localités de la région vitivinicole du Maule (Table 2) correspondent exactement à la définition de l'indice (fin mars dans l'hémisphère sud). Pourtant, elles ne sont pas aussi élevées que chacune d'entre elles pourrait l'être, les maximales étant atteintes en avril.

De plus, au Chili, et plus particulièrement dans cette zone vitivinicole du Maule, selon la variété, la période de vendange peut s'étaler de février à début mai. Par conséquent, déterminer uniquement l'indice fin mars se révèle peu exact. C'est pour cette raison que l'on se propose d'analyser pour chaque localité, la courbe d'évolution de l'indice simplifié de FREGONI.

B) Evolution de l'indice simplifié de FREGONI :

La courbe d'évolution de l'indice simplifié de FREGONI peut concerner diverses applications pratiques telles que :

1) Repérer les variétés localement plus appropriées.

En effet, ce sont celles pour lesquelles coïncide la maturité –ou même une légère surmaturité- avec la troisième partie de la courbe, moment auquel les valeurs maximales sont atteintes. Lorsque la maturité de la variété arrive plus tardivement ou n'est pas atteinte, l'on serait dans la quatrième partie de la courbe. En revanche, si la maturité est précoce, elle aura lieu durant la première ou la deuxième partie de la courbe.

2) Orienter la conduite du vignoble, afin de faire coïncider la maturité du raisin des variétés précoces ou tardives avec les valeurs maximales de la courbe. Ce faisant, on remplirait une première condition pour obtenir du vin de qualité qui est d'atteindre la maturité, mais de la manière la plus lente possible.

3) Dans le cas de variétés tardives, les interventions dans le vignoble peuvent se faire par la régulation de la charge (nombre de yeux à l'hectare, éclaircissage, etc.) ou en améliorant

les conditions microclimatiques du feuillage ou des grappes, rendant ces conditions plus lumineuses (ébourgeonnage, effeuillage, etc.) avec augmentation de la température des baies. Un vignoble de moyenne expression végétative conduit selon les critères de la viticulture des régions froides (températures moyennes annuelles inférieures à 15 C°) serait la solution la plus adaptée (Figure 7).

- 5) Au contraire, dans le cas de variétés précoces, il faudrait rechercher l'équilibre du vignoble en exploitant la capacité de production supérieure qu'offrent les climats chauds (SMART et ROBINSON, 1991), le microclimat du feuillage et des grappes pourra être plus ombragé, on devra éviter les ébourgeonnages et les effeuillages excessifs qui pourraient donner des "coups de soleil" aux baies. Un vignoble plus vigoureux (d'expression végétative plus importante), conduit selon les critères de la viticulture de pays chauds (températures moyennes annuelles supérieures à 15 C° où la fraîcheur est recherchée (UNWIN, 2001) serait le plus approprié (Figure 8).

CONCLUSION

- 1) Pour la région vitivinicole du Maule, les valeurs de l'indice simplifié de FREGONI sont élevées.
- 2) En fonction de ces valeurs, il est possible de distinguer quatre secteurs agroclimatiques.
 - Secteur A: il correspond à la zone littorale et au versant Ouest de la cordillère de la Côte
 - Secteur B: il correspond aux vallées transversales de la cordillère de la Côte et à son versant est
 - Secteur C: il correspond à la dépression centrale, proche de la cordillère de la Côte
 - Secteur D: il correspond à la dépression centrale, proche de la pré cordillère andine et à son versant ouest.
- 3) On détermine la courbe d'évolution de l'indice de FREGONI, caractérisée par les périodes suivantes:
 - **Période 1:** définie seulement par une grande amplitude thermique. Valeur constante.
 - **Période 2:** maintien d'une grande amplitude thermique bien que plus faible que pendant la première période en même temps que commencent à apparaître des jours aux températures minimales inférieures à 10°C. Période d'augmentation constante de l'indice.
 - **Période 3:** caractérisée par la diminution de l'amplitude thermique, mais l'on atteint le maximum de jours aux températures minimales inférieures à 10°C. Période pendant laquelle la valeur de l'indice est maximale.
 - **Période 4:** elle se distingue par une amplitude thermique toujours plus faible bien que le nombre de jours aux minimales inférieures à 10°C soit toujours élevé. La valeur de l'indice décline régulièrement.
- 4) La courbe d'évolution de l'indice simplifié de FREGONI peut avoir plusieurs applications pratiques telles que la détermination des variétés les plus aptes à être cultivées pour une localité déterminée ou encore de la conduite du vignoble.

BIBLIOGRAPHIE

- CHAMPAGNOL, F. 1984. Techniques culturales et qualité de la vendange. *Eléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*. Ed. Dehan, Montpellier. Segunda sección. 6: 314-319.
- CHILE, INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR. 1985. El control orográfico en una macro y meso-escala. *In Geografía de Chile*, 4: 75-123.
- FREGONI, C. et S. PEZZUTTO. 2000. Principes et premières approches de l'indice bioclimatique de qualité de FREGONI. *Progrès Agricole et Viticole*. 117 (18):390-396.
- GIL, G. 1999. Fruticultura. El Potencial Productivo. *Colecc. Agric., Fac. Agron. y Ser. Ivest. Edic. Univ. Católica, Santiago, Chile*. 342 p.
- GIL, G. 2001. Fruticultura. Madurez de la fruta y manejo poscosecha. *Colecc. Agric., Fac. Agron. y Ser. Ivest. Edic. Univ. Católica, Santiago, Chile*. 413 p.
- HIDALGO, L. 1980. Caracterización macrofísica del ecosistema medio-planta en los viñedos españoles. *Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Ministerio de Agricultura, España. Comunicaciones INIA, Serie Producción Vegetal* 29, 255 p.
- HUNTER, J.J. and E. ARCHER. 2001. Long-term cultivation strategies to improve grape quality. *VIII Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología. Montevideo Uruguay. Virtual Library II. www.uruguayxxi.gub.uy*
- HUGLIN, P. 1986. Relations entre les facteurs du milieu naturel et de la vigne. *In Biologie et écologie de la vigne. Payot Lausanne*. 6:264-316.
- JACKSON, D. and J. CHERRY. 1988. Prediction of a district's grape-ripening capacity using a latitude-temperature index (LTI). *Am. J. Enol. Vitic.* 11: 19-26.
- KLIEWER, W. M. 1970. Effect of day temperature and light intensity on coloration of *Vitis vinifera* L. grapes. *J. Amer. Soc. Hort Sci.* 95 (6): 693-697.
- KLIEWER, W. M. and R. E. TORRES. 1972. Effect on controlled day and night temperature on grape coloration. *Am. J. Enol. Vitic.* 23: 71-77.
- MAUJEAN, A.; O. BRUN, G. VESSELLE; G. BUREAU; J. M. BOUCHER et M. FEUILLAT. 1983. Etude de la maturation des cépages champenois. Modèles de prévision de la date de vendange. *Vitis* 22: 137-150.
- Mc INTYRE, G. N.; W. M. KLIEWER and L. A. LIDER. 1987. Some limitations of the degree-day system as used in viticulture in California. *Am. J. Enol. Vitic.* 38: 128-132.
- SANTIBAÑEZ, F., F. DÍAZ, C. GAETE, S. DANERI y D. DANERI. 1984. Agroclimatología y zonificación de la Región vitivinícola chilena: Bases para una denominación de origen de los vinos. *Boletín Técnico. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Univ. de Chile*: 48:1-13.
- SMART, R. and M. ROBINSON. 1991. Sunlight into wine. A Handbook for wine grape canopy management. *Winetitles, Adelaide*. 88 p.
- TONIETTO, J. et A. CARBONNEAU. 2000. Système de classification climatique multicritère (CCM) geoviticole. *In 3º Simposio Internacional: Zonificación Vitícola, Puerto de la Cruz (Tenerife), 9-12 mayo, Tomo II*.
- UNWIN, TIM. 2001. El vino y la viña. Geografía histórica de la viticultura y el comercio del vino. *Tusquets Editores, Barcelona*. 529 pp.

WINKLER, A. J. 1970. Clima y suelos. *In: Viticultura. Com. Edit. Continental S. A., México. 85-101.*

WITKOWSKI, F.; A. GRECIA; M. ECHENIQUE y M. CERUTTI. 2001. El índice bioclimático de calidad FREGONI en el alto valle de Río Negro y Neuquén. *VIII Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología. Montevideo Uruguay. Virtual Library II. 2*

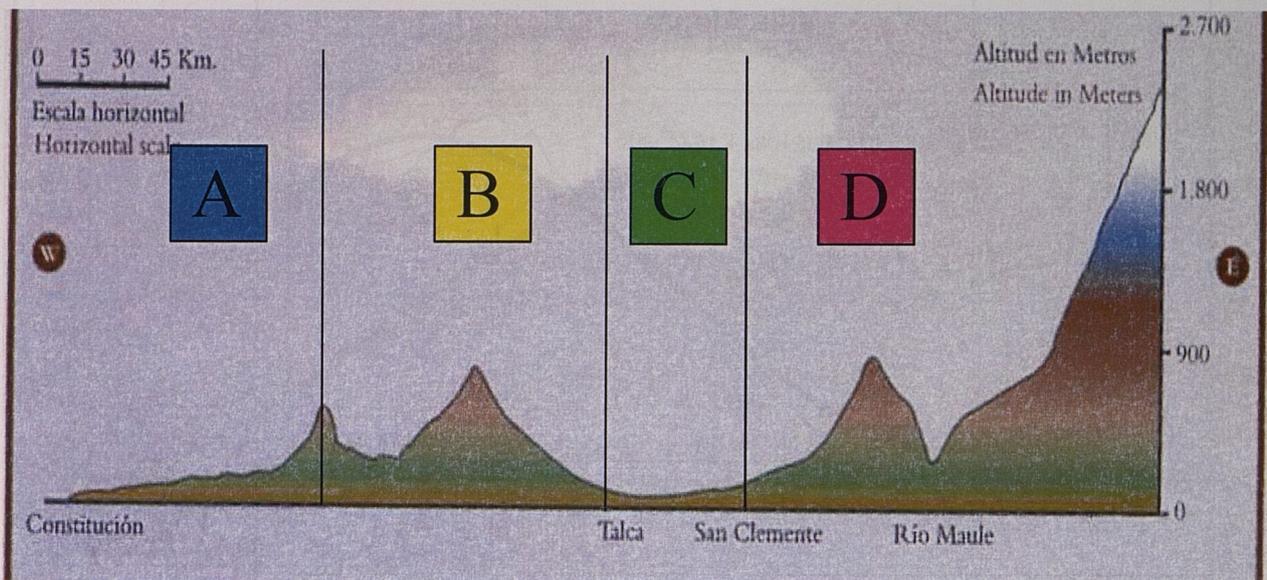


Figure 1. Relief de la sous-région vitivinicole du Maule (35°20'-35°40' L.S.) sur lequel sont détaillés les secteurs agroclimatiques de FREGONI. Source relief: Chili (IGN) (1985).

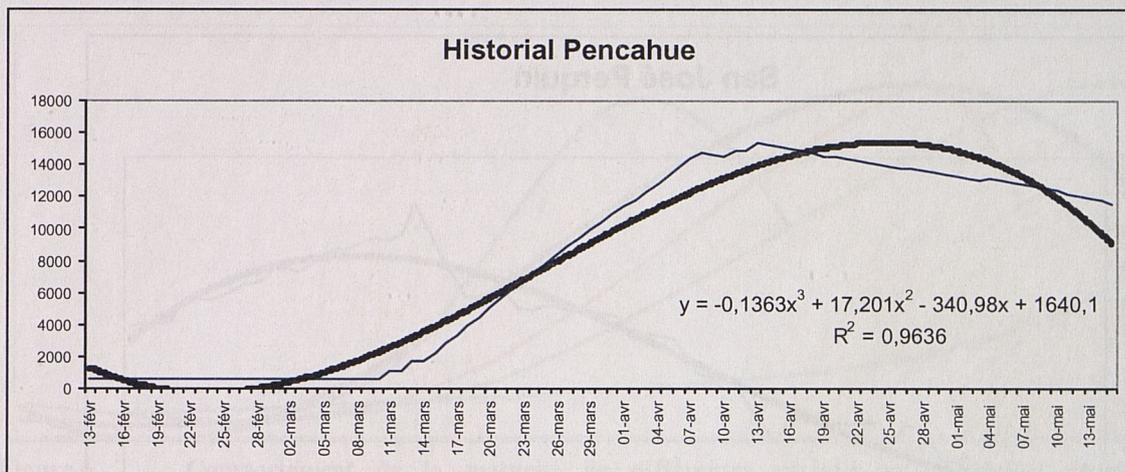


Figure 2. Evolution de l'indice simplifié de Fregoni (secteur agroclimatique B), pour une moyenne de 22 ans (1978-2000), localité de Pencahue (VII Région), en utilisant la formule $isF = \sum (T \text{ maximale} - T \text{ minimale}) * \sum (n^{\circ} \text{ jours} < 10^{\circ}C)$.

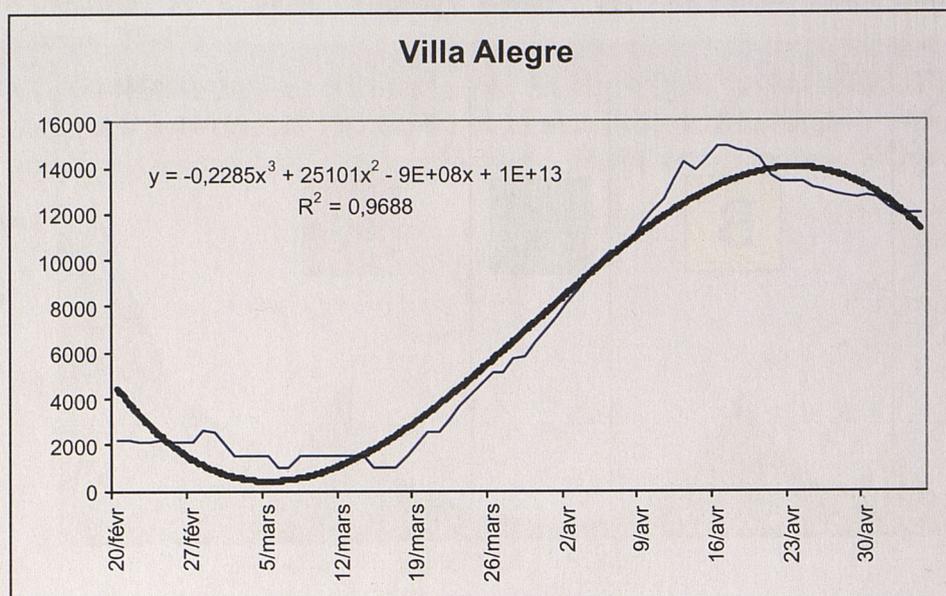


Figure 3. Evolution de l'indice simplifié de Fregoni (secteur agroclimatique C), pour l'année 2000, localité de Villa Alegre (VII Région), en utilisant la formule $isF = \sum (T \text{ maximale} - T \text{ minimale}) * \sum (n^{\circ} \text{ jours} < 10^{\circ}C)$.

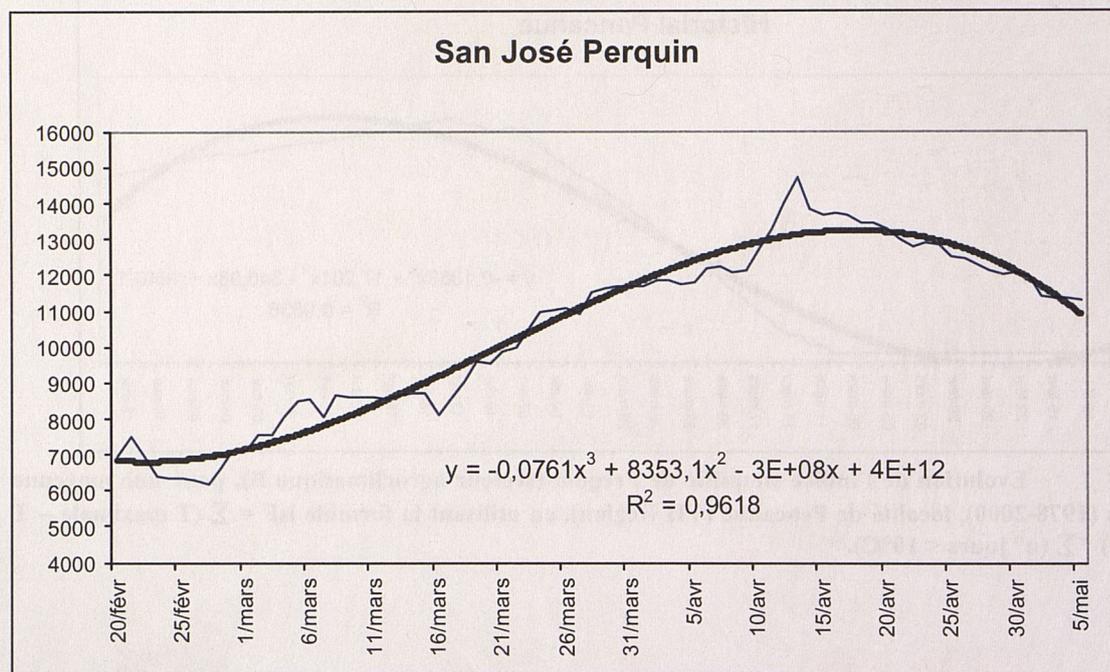


Figure 4. Evolution de l'indice simplifié de Fregoni (secteur agroclimatique D), pour l'année 2000, localité de San José Perquin, en utilisant la formule $isF = \sum (T \text{ maximale} - T \text{ minimale}) * \sum (n^{\circ} \text{ jours} < 10^{\circ}C)$.

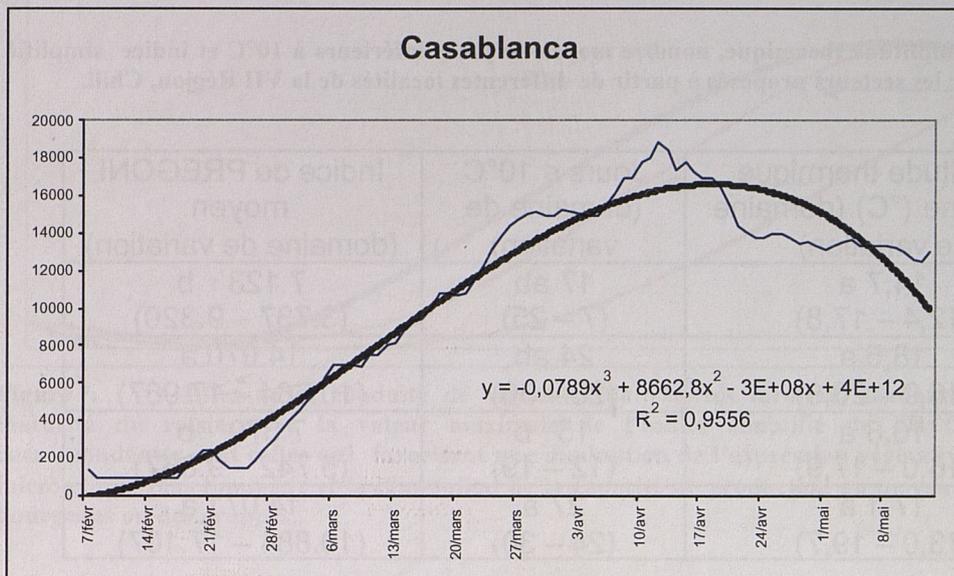


Figure 5. Evolution de l'indice simplifié de Fregoni (secteur agroclimatique B), pour l'année 2001, localité de Casa Blanca (V Région), en utilisant la formule $isF = \sum (T \text{ maximale} - T \text{ minimale}) * \sum (\text{n}^\circ \text{ jours} < 10^\circ\text{C})$.

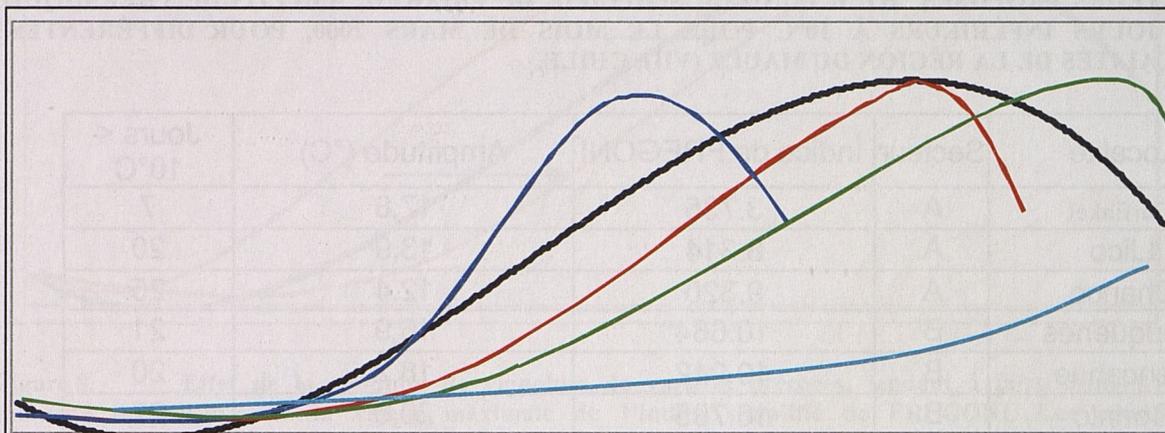


Figure 6. Comportement de la maturité de différentes variétés pour l'indice simplifié de FREGONI. La courbe bleue représente une variété précoce, en rouge une variété parfaitement adoptée, en vert une tardive et en bleu ciel une variété n'ayant pas encore atteint la maturité.

Table 1

Caractéristiques de l'amplitude thermique, nombre moyen de jours inférieurs à 10°C et indice simplifié de Fregoni moyen pour les secteurs proposés à partir de différentes localités de la VII Région, Chili.

Secteur	Amplitude thermique moyenne (°C) (domaine de variation)	Jours < 10°C (domaine de variation)	Indice de PREGONI moyen (domaine de variation)
A	14,7 a (12,4 – 17,8)	17 ab (7 – 25)	7.123 b (3.737 – 9.320)
B	18,5 a (16,9 – 20,6)	24 ab (20 – 30)	14.070 a (10.664 – 17.967)
C	16,8 a (16,0 – 17,9)	15 b (12 – 19)	7.579 b (5.742 – 9.867)
D	17,1 a (13,0 – 19,7)	27 a (24 – 30)	14.071 a (10.884 – 17.107)

Table 2

SECTEURS PROPOSÉS POUR L'INDICE SIMPLIFIÉ DE FREGONI, AMPLITUDE THERMIQUE ET JOURS INFÉRIEURS À 10°C POUR LE MOIS DE MARS 2000, POUR DIFFÉRENTES LOCALITÉS DE LA RÉGION DU MAULE (VII), CHILE.

Localité	Secteur	Índice de FREGONI	Amplitude (°C)	Jours < 10°C
Gurfinkel	A	3.735	17,8	7
Llico	A	8.314	13,9	20
Chanco	A	9.320	12,4	25
Cauquenes	B	10.664	16,9	21
Pencahue	B	10.942	18,2	20
Corinto	B	16.705	20,6	27
Panguilemo	B	17.967	20	30
Curicó	C	5.742	16	12
Villa Alegre	C	6.965	17,9	13
Talca	C	7.742	16,1	16
Yerbas Buenas	C	9.867	17,3	19
Vilches	D	10.884	13	28
San José Pequín	D	11.676	16,2	24
San Clemente	D	15.090	19,3	26
Terramater (San Jorge)	D	15.597	17,3	30
Arestí	D	17.107	19,7	29

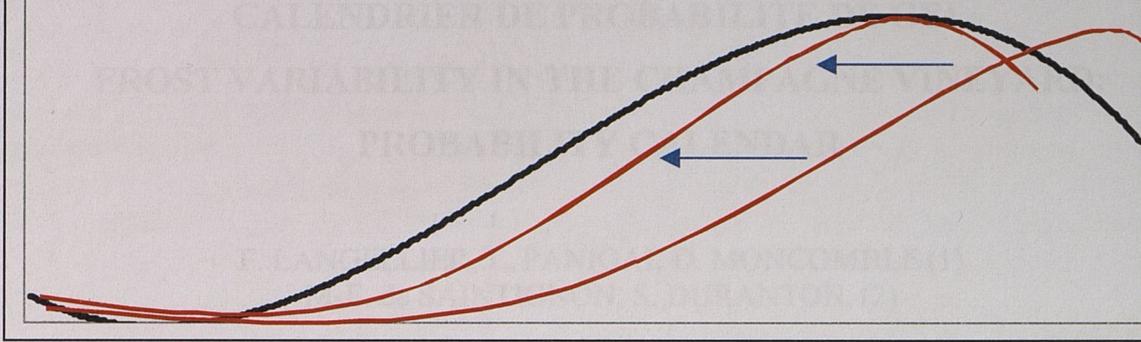


Figure 7. Effet de la conduite de vignobles de variétés tardives, tendant à faire coïncider la maturité du raisin avec la valeur maximale de l'indice simplifié de FREGONI. Les conduites correspondantes sont celles qui favorisent une diminution de l'expression végétative, qui recherchent un micro-climat plus lumineux et la diminution de la capacité de production au moyen d'un éclaircissage des bourgeons ou des grappes.

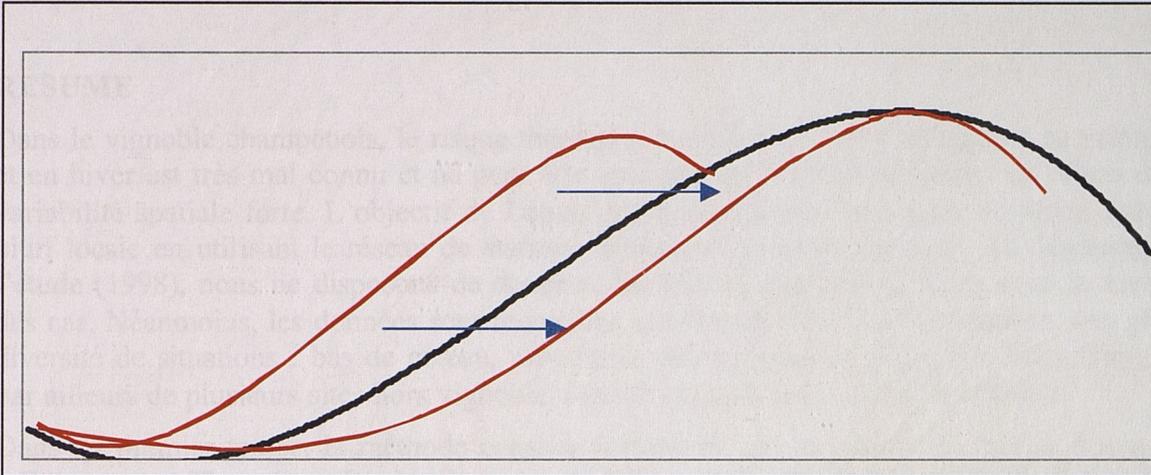


Figure 8. Effet de la conduite de vignobles de variétés précoces, tendant à faire coïncider la maturité du raisin avec la valeur maximale de l'indice simplifié de FREGONI. Les conduites correspondantes sont celles qui favorisent l'augmentation de l'expression végétative, la recherche d'un micro-climat moins lumineux et d'une augmentation de la capacité de production de la vigne.