

**CARACTERISATION DES ZONES MESOCLIMATIQUES APTES A LA  
CULTURE DE LA VIGNE  
(VITIS VINIFERA L.) DANS LA PROVINCE DE SAN JUAN,  
ARGENTINE**

**CHARACTERIZATION OF MESOCLIMATIC ZONES COMPETENT  
FOR THE CULTURE OF VINE  
(VITIS VINIFERA L.) IN THE PROVINCE OF SAN JUAN,  
ARGENTINA**

H. VILA, M. CAÑADAS, C. LUCERO, M. GRASSIN

Station Expérimentale Agronomique (EÉA) INTA Mendoza

Av. San martin 3853 – 5507 Chacras de Coria – Mendoza – Argentine

**Mots clés :** vigne, zonage, mésoclimat, potentiel viticole.

**Key words:** vine, zoning, mesoclimate, viticultural potential.

## **RESUME**

Le zonage agroclimatique a pour objet de caractériser des lieux ayant des aptitudes distinctes pour la production de la vigne. La province de San Juan en Argentine est l'une des régions vitivinicoles les plus chaudes du pays. Cette étude a pour but de déterminer les zones aptes à la culture de la vigne, en se basant sur l'analyse du mésoclimat de cette province, et de définir l'aptitude viticole de ces zones et leur délimitation géographique.

Des indices écologiques sont calculés sur de longues séries de données, provenant d'un réseau de stations météorologiques. La comparaison de ces indices a permis de sélectionner les plus représentatifs et de grouper les mésoclimats similaires.

Dans la province de San Juan, six zones climatiques ont été définies, caractérisant le comportement de la vigne selon le type mésoclimatique. L'intégrale thermique de base 13°C et l'indice des températures minimales du mois avant récolte dans cette région chaude sont les variables principales qui permettent ce zonage.

## **ABSTRACT**

The aim of an agroclimatic zoning is to characterize areas, which have different capacities for the vine growing production. The Province of San Juan is the hottest grapes and wines producing region of Argentina. This study aims at determine the zones in the province which are competent for the vineyards thanks to analysis of microclimate, and to define their agricultural and enological potential.

SESSION II – Intervention n° 17 – H. VILA

Aspects relatifs au climat

Page 1 sur 9



Ecological indices coming from databases of meteorological stations have been calculated. The comparison among these indices allowed to select the most representative of them and to gather similar mesoclimates.

In the Province of San Juan, six climatic zones have been characterized, each of them corresponding to a specific vine behaviour. This zoning has been made thanks to two main indices: the thermic integral basis 13°C and the indices of minimal temperature during the month before harvesting.

## INTRODUCTION

Le zonage agroécologique des aires cultivées a pour objet de caractériser les espaces ayant des aptitudes distinctes pour la production agricole. En ce qui concerne la vigne, le zonage permet d'affirmer la vocation pour des productions déterminées, comme le raisin de table ou de cuve, d'indiquer que des variétés ont plus ou moins de facilité d'adaptation suivant le lieu, de connaître les limitations environnementales pour la culture et de poser les bases des études sur la typicité et l'originalité de la production qui permettent d'établir des zones avec des indications géographiques ou appellation d'origine pour les vins.

Le climat est l'un des éléments qui sert pour différencier des zones de culture de la vigne. La superposition cartographique des conditions climatiques, édaphiques et de paysage, au moyen des systèmes d'informations géographiques, permet ensuite de déterminer des unités de terroirs de base avec des aptitudes similaires (MORLAT 1996).

De nombreux indices climatiques pour estimer le potentiel viticole à l'échelle régionale ont été définis, la majorité de ces derniers utilisant la température et quelques estimations de la radiation solaire. Les plus classiques sont les indices de WINKLER (AMERINE et WINKLER, 1944), BRANAS (BRANAS, 1946) et HUGLIN (HUGLIN, 1983).

ZULUAGA *et al.* (1971), réalise un premier zonage climatique de la culture de la vigne en Argentine, en utilisant le produit héliothermique de BRANAS. Ils utilisèrent également un coefficient hydrothermique en relation avec les précipitations, la température moyenne et la longueur du cycle végétatif (ZULUAGA, 1971). Sur la base de ces indices, ils délimitèrent la zone aride apte à la culture de la vigne, sans limitation par des risques cryptogamiques. Ces recherches sont valides au niveau macro climatique, mais ne nous offrent pas la possibilité de discriminer des différences à l'échelle mésoclimatique.

L'analyse à l'échelle mésoclimatique requiert de regrouper des aires de dimensions plus limitées pour lesquelles il existe une bonne connaissance des conditions locales, et pour ce faire, il est nécessaire de compter sur un grand nombre de stations météorologiques.

L'objectif principal du travail est de déterminer des zones aptes à la culture de la vigne, en s'appuyant sur l'analyse du mésoclimat, dans la province de San Juan, (Argentine), ainsi que de définir l'aptitude viticole de ces zones et les délimiter géographiquement au moyen de leur cartographie.

La province de San Juan est l'une des régions vitivinicoles d'Argentine qui est la plus chaude. Cette province compte 62 000 ha de vignes et sa production de vins représente 30 % du total argentin. Traditionnellement, la région s'est dédiée à la culture des variétés de hautes productions comme la Cereza, le Torrontés Sanjuanino et le Moscatel d'Alexandrie. Dans les conditions locales, il s'obtient des raisins avec un taux de sucres qui les destinent à la production de vins de tables, vins liquoreux, brandies et moûts concentrés. La région est



également propice à la production de raisins de table et raisins secs. Actuellement, il existe une extension de la culture des variétés avec de hautes qualités, surtout rouges.

La région étudiée est située dans la limite occidentale de l'Argentine entre 28° et 32° de latitude sud. Elle est traversée dans le sens nord-sud par trois systèmes montagneux : la cordillère des Andes, la pré-cordillère et la Sierra Subandines. Entre ces chaînes de montagne se forment des vallées longitudinales et des plateaux du piémont. Le climat est aride et de type tempéré chaud à alpin, selon l'altitude. Dans la zone de la vallée et des plateaux du piémont la température moyenne annuelle est de 14 à 19 °C, les précipitations sont de 55 à 290 mm annuels et l'évapotranspiration de 500 à 780 mm d'octobre à mars, (estimé comme la moitié de l'évaporation du bac de classe A, DRY et SMART, 1988). Ceci détermine un déficit hydrique annuel de 200 à 680 mm, de ce fait la vigne doit être irriguée. C'est pourquoi sa culture se situe dans les oasis irriguées par les rivières Jachal et San Juan. Du fait de l'aridité du climat, les sols n'ont pas évolués jusqu'à l'horizon génétique et sont constitués de sédiments gravitaires (Torriortentes), éoliens (Torripsamentes) ou fluviaux (Torrifluventes) (MOSCALLI *et al.*, 1990).

## MATERIELS ET METHODES

L'analyse est basée sur l'examen de variables climatiques observables et le calcul d'indices écologiques. Pour les variables observables, nous prenons en compte les variables thermiques suivant le critère de PRESCOTT (1969). Les autres variables que nous considérons, du fait de l'aridité du climat et de l'implication sur le bilan hydrique sont les précipitations annuelles, l'évaporation du bac de classe A et la vitesse moyenne du vent. Quant aux indices, nous calculons certains indices classiques et d'autres proposés dans ce travail. Ces indices prennent en compte la durée théorique du cycle de la vigne dans chaque site, l'énergie thermique accumulée durant le cycle et l'état thermique durant l'étape de la maturation du raisin.

Nous avons pris en compte deux critères principaux pour réaliser la discrimination des zones mésoclimatiques. Le premier se base sur l'intégrale thermique et permet de réaliser un zonage initial qui différencie une zone froide non apte à la culture de la vigne, une zone tempérée chaude et une zone chaude apte à cette culture. L'autre critère considéré est la température minimale du mois avant récolte permettant de discriminer d'autres zones dans la zone chaude.

Sur la base des caractéristiques climatiques de chaque zone définie, nous avons décrit l'aptitude théorique de la plante à partir des variables climatiques et des indices. Nous avons ensuite effectué l'analyse en composantes principales pour étudier l'association entre les variables d'observations et de calculs. Cette analyse est utilisée aussi pour vérifier le regroupement des localités avec le zonage défini. Les zones sont délimitées géographiquement au moyen de la cartographie sur la carte des sols de San Juan à l'échelle 1 : 100 000 et des principales zones cultivées des vallées de Tulum, Ullum et Zonda à l'échelle 1 : 75 000.

Nous indiquons maintenant en détail les traitements des variables, des indices climatiques, des critères de zonage et de cartographie.

### Variables climatiques

L'information provient de 21 stations météorologiques situées à San Juan et de 11 stations périphériques. Nous avons utilisé les observations sur les périodes totales de fonctionnement de chaque station. Dans certains cas, la série enregistrée était de quelques années et, d'autres de plusieurs décennies.



Nous avons pris en compte les variables suivantes : températures moyennes mensuelles (moyenne entre les maximales et les minimales moyennes), l'amplitude thermique moyenne mensuelle (différence entre les maximales moyennes et les minimales moyennes), l'évaporation mensuelle du bac de classe A, la vitesse du vent moyenne mensuelle à 2 m de hauteur du sol et les précipitations annuelles.

Les informations météorologiques provenant de séries non-contemporaines et sans validité climatique (série inférieure à 20 ans), ont été soumises à une technique d'homogénéisation. Cette technique consiste à comparer les séries courtes avec des séries contemporaines d'une station de référence de haute fiabilité et avec beaucoup d'années d'observations. Les différences sont mises en relation avec la moyenne de la série complète de la station de référence, pour générer une information estimée moyenne avec une validité climatique et cartographique. Nous avons utilisé comme station de référence celle de la station expérimentale de San Juan de l'INTA de Pocito avec 30 années ininterrompues d'enregistrement.

### Indices écologiques

Sur la base des valeurs climatiques homogénéisées, nous avons calculé les indices écologiques suivants:

- Indice de WINKLER (IW) (AMERINE et WINKLER, 1944)
- Indice d'HUGLIN (HUGLIN, 1983).
- Indice de KENNY et SHAO
- Intégrale thermique base 13°C (ITB 13): Cet indice a été proposé dans ce travail, il correspond à la somme des températures moyennes au-dessus de 13°C., calculée depuis le jour où se produit l'observation d'une température de 13°C au printemps jusqu'au jour où la température est en dessous de cette valeur en automne.

$$ITB = T_{md} - 13^{\circ}C$$

Avec  $T_{md}$  température moyenne journalière

- Indice de continentalité de février à mars (ICfeb, ICmars), proposé dans ce travail, qui permet de qualifier la continentalité. Les valeurs sont directement en relation avec l'amplitude thermique et inversement avec les températures moyennes du mois.

$$IC = OT / (t_{maxm} - 10^{\circ}C)$$

Avec OT l'amplitude thermique (différence entre la température maximale moyenne et minimale moyenne du mois) et  $T_{maxm}$  (température maximale moyenne du mois).

- Température du mois le plus chaud et amplitude entre température du mois le plus chaud et le plus froid, paramètres utilisés par PRESCOTT (1969).
- Jour Beta : C'est le nombre de jours après le 1er juillet où la température moyenne est inférieure à 15°C. Il a été développé par JACKSON (1987) et JACKSON et LOMBARD (1993).
- Jour probable de débourrement (díaTOB) : jours après le solstice d'hiver. Pour l'exprimer comme variable numérique, nous utilisons le nombre de jours après le 1er juillet. Ce jour est bien corrélé avec le jour réel de débourrement rencontré lors des observations phénologiques réalisées à San Juan et a été utilisé par CALO *et al.* (1992) pour son étude sur le déterminisme climatique de la teneur en sucre des raisins.



- Indice de précocité : défini comme le jour probable de maturation de la variété Superior (diaIT800). Il correspond également au jour où se produit l'intégrale thermique de 800° jours sur la base 13°C après le 1er juillet. La variété Superior Seedless (Sugraone) est pratiquement celle du cycle le plus court et sa culture est très répandue à San Juan. Elle se destine à la consommation en frais, la récolte se déroule quand les composés solubles du grain arrivent à 16%. Le jour de maturation réel établi par des observations phénologiques à San Juan, est bien mis en relation avec le jour où l'intégrale thermique de base 13°C atteint les 800° jours.
- Jour probable de maturation de la variété Cabernet Sauvignon (diaIT1556). Cet indice correspond au jour où se produit l'intégrale thermique de 1556° jours sur la base 13°C après le 1er juillet. La variété Cabernet Sauvignon est la variété rouge de cycle le plus long dans la région de San Juan. Le jour de maturité réel établi par des observations phénologiques à San Juan, est bien mis en relation avec le jour où l'intégrale thermique de base 13°C atteint les 1556° jour.
- Température minimale du mois avant la récolte (TminC-30) : JACKSON et LOMBARD (1993), dans une étude sur l'effet du climat sur la qualité du raisin, indiquent l'effet favorable de températures basses nocturnes durant la maturation (étape III de la maturation des raisins) sur le niveau d'acidité titrable, le pH, les arômes et les polyphénols. Ainsi par exemple, d'après KLIEWER (1973) et KLIEWER et TORRES (1972), les températures nocturnes de 15°C à 20°C entretiennent une meilleure coloration de la pellicule des raisins du Cabernet Sauvignon et Pinot Noir, en comparaison avec une température de 25°C et 30°C. Une forme d'estimation des températures nocturnes qui affectent la vigne durant la phase de maturation du raisin, passe par la température minimale moyenne du mois avant la récolte. Dans ce travail, il est calculé la température minimale moyenne 30 jours avant le jour probable théorique de maturation du Cabernet Sauvignon (diaIT1556). Un indice similaire a été utilisé dans le travail de TONNIETO (1999), défini comme les températures moyennes minimales du mois de mars.
- Evaporation totale du cycle (EvIT1556): Evaporation totale du bac de classe A durant le cycle compris entre le débourrement (diaIT13) et la maturation théorique du Cabernet Sauvignon (dia IT1556).

### Zonage mésoclimatique

Comme critère pour définir les zones climatiques et leurs aptitudes viticoles, nous avons pris les valeurs des variables d'intégrales thermiques de base 13°C et la température minimale du mois antérieur à la récolte probable du Cabernet Sauvignon.

Premièrement, nous avons considéré que lorsque l'ITB 13°C est inférieur à 800° jour, la zone n'est pas apte pour la culture de la vigne, du fait qu'elle ne peut pas arriver à maturité, même pour les variétés à cycle court. Quand l'intégrale thermique est entre 800° et 1556° jour, la zone est considérée apte pour la culture de variétés de cuve de cycle court ou intermédiaire, comme le Pinot Noir et le Malbec, mais pas apte pour les variétés à cycle long comme le Cabernet Sauvignon ou la Bonarda. Pour une intégrale supérieure à 1 556° jour, la zone est considérée apte pour la culture de variétés de cycle long. Cette dernière zone, la plus chaude, se divise en tenant compte des températures minimales du mois antérieur à la récolte théorique du Cabernet Sauvignon. Nous avons défini 4 zones, la première avec des températures inférieures à 18°C, apte pour des variétés rouges de cycle long. La seconde entre 18 et 18,5°C, apte pour des variétés rouges adaptées aux conditions chaudes. La troisième

SESSION II – Intervention n° 17 – H. VILA

Aspects relatifs au climat

Page 5 sur 9



entre 18,5 et 19°C, apte pour des variétés blanches aromatiques, raisins de table et la quatrième supérieure à 19°C apte pour des raisins de table primeurs.

Ensuite, nous déterminons les valeurs moyennes des variables de chaque zone. Puis, chaque variable est normalisée pour être adimensionnée, en utilisant l'artifice de soustraire à chaque valeur la moyenne de la variable et de diviser la différence par l'écart type. Les moyennes des valeurs normalisées de chaque zone sont mises sous forme de graphique pour observer les champs spatiaux de comportement climatique. Pour cette analyse, nous utilisons le logiciel informatique statistique de Stat Soft Inc. (1996).

## RESULTATS ET DISCUSSION

En accord avec les critères de zonages climatiques définis dans la méthodologie, nous avons défini 6 zones présentées sur la figure 1.

La figure 2 présente l'analyse en composantes principales (ACP) d'une sélection de variables. On observe une étroite association entre les variables : températures maximales, minimales, moyennes, indices de WINKLER, de HUGLIN et de Kenny&Shao, l'intégrale thermique base 13°C, le jour Bêta et les jours probables de débourrement et de maturation. Ces variables sont expliquées par le facteur 1 qui représente 78% de la variabilité de l'ensemble des sites. L'amplitude thermique est expliquée par le facteur 2 qui représente 12% de la variabilité. Les variables vent et indice de continentalité (IC février) sont expliqués en partie par le facteur 1 et par le facteur 2. Les premiers deux facteurs expliquent un ensemble de 90% de la variabilité totale et sont suffisants pour discriminer le comportement climatique des sites considérés. Dans cette analyse, les localités se regroupent bien selon leur zone d'appartenance à l'exception des localités qui appartiennent aux zones IV et V.

Les résultats observés dans l'ACP se retrouvent clairement sur la carte géographique (Figure 1). Les zones II, III et VI se différencient bien. Les zones IV et V sont similaires mais l'ensemble se distingue du reste. Elles se différencient entre elles par les variables d'amplitude thermique, de jour IT1556 et de vent. Dans ce sens, la zone V a une moins grande amplitude thermique, moins précoce et avec moins de vent que la IV. De plus, nous pouvons observer qu'il existe un gradient thermique associé inversement avec l'altitude et la latitude. La zone I, non apte à la culture de la vigne, correspond au secteur montagneux de la Cordillère des Andes. La zone II suit la distribution des vallées de Calingasta, Rodeo et Pedernal. Les zones restantes sont situées dans les vallées et les plateaux du piémont entre Pré cordillère et les Chaînes Subandines.

Les zones climatiques peuvent être définies ainsi :

- La zone I: très froide avec une amplitude thermique modérée à élevée.
- La zone II: tempérée froide avec une amplitude thermique modérée à élevée.
- La zone III: tempérée chaude avec une amplitude thermique basse à modérée.
- La zone IV et V: chaude avec une amplitude thermique modérée.
- La zone VI: très chaude avec des amplitudes thermiques basses.

La température du mois avant la récolte apparaît comme un critère valide pour différencier les mésoclimats de zones chaudes, en concordance avec les travaux de JACKSON et LOMBARD (1993) et TONNIETTO (1999).



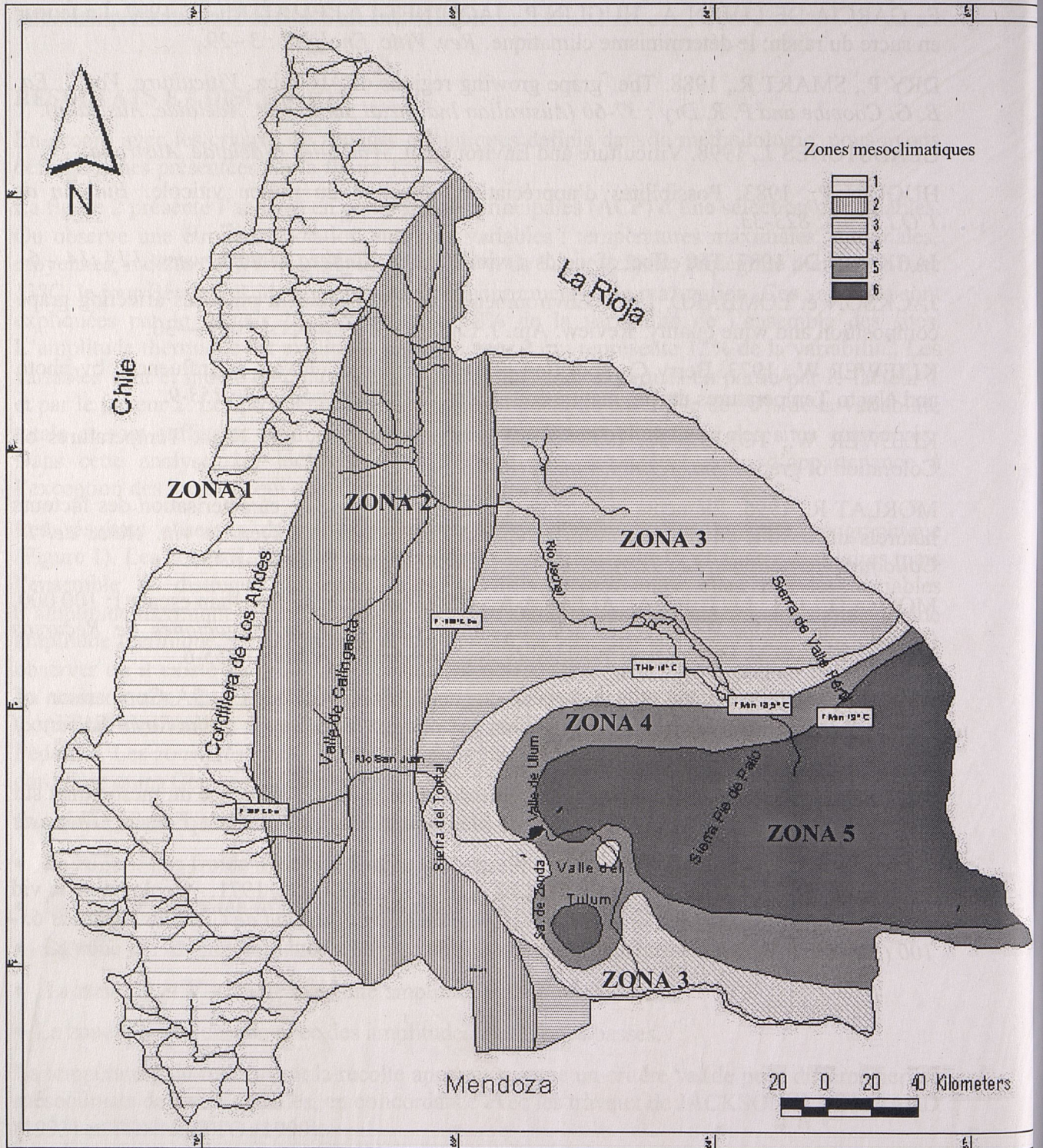
## BIBLIOGRAPHIE

- AMERINE M. et WINKLER A., 1944. Composition and Quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia* 15 : 403-675.
- BRANAS JJ., BEMON G., LEVADOUX L., 1946. Eléments de viticulture générale. *Montpellier*.
- CALO A., COSTACURTA A., TOMASI D., BECKER N., BOURQUIN H., DE VILLIERS F., GARCIA DE LUJAN A., HUGLIN P., JAQUINET L., LEMAÎTRE C., 1992. La teneur en sucre du raisin: le déterminisme climatique. *Rev. Vitic. Enol. N3* : 3-29.
- DRY P., SMART R., 1988. The grape growing regions of Australia. *Viticulture, Vol. 1, Ed. B. G. Coombe and P. R. Dry* : 37-60 (Australian Industrial publishers, Adelaide, Australia).
- GLADSTONES J., 1998. Viticulture and Environment. *Winetitles (Adelaide, Australia)*.
- HUGLIN P., 1983. Possibilités d'appréciation objective du milieu viticole. *Bulletin de l'O.I.V.* 56 : 823-33.
- JACKSON D., 1987. The effect of yields a wine quality. *Vinifera wine growers. J 14* : 14 - 6.
- JACKSON et LOMBARD, 1993. Environmental and Management practices affecting grape composition and wine quality. *Review. Am. J. Enol. Vitic., V 44 N 4* : 409 —30.
- KLIEWER W., 1973. Berry Composition of *Vitis vinifera* Cultivars as Influenced by photo and Nycto Temperatures during maturation. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 98 : 153-9.
- KLIEWER W., TORRES R., 1972. Effect of Controlled Day and Night Temperatures on Coloration of grapes. *Am. J. Enol. Viti.* 32:71-7
- MORLAT R., 1996. Eléments importants d'une méthodologie de caractérisation des facteurs naturels du terroir, en relation avec la réponse de la vigne à travers le vin. *Actas del 1° Colloque international, Les Terroirs Viticole. INRA Angers, France* : 17-31.
- MOSCATALI G., LUTERS A., ALESKA A., 1990. Provincia de San Juan escala 1: 100 000, en Atlas de Suelos de la Republica Argentina. *Centro de Investigaciones de Recursos Naturales. Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria Argentina* : 355-6.
- PRESCOTT J. 1969. - The climatology of the vine (*Vitis. Vinifera* L.). 2A Comparison of France and Australia on the Basis of the warmest month. *Translations of the Royal Society of South Australia* 93 : 1-6 y 7-15.
- TONIETTO J., (1999). Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mésoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscadet de Hambourg dans le sud de la France. *Thèse de doctorat ENSAM*.
- ZULUAGA P., ZULUAGA E., LUMELLI J., DE LA IGLESIA F., 1971. - Ecologia de la vid en la Republica Argentina. *Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias* 61-100 (Mendoza Argentina).



Figure 1

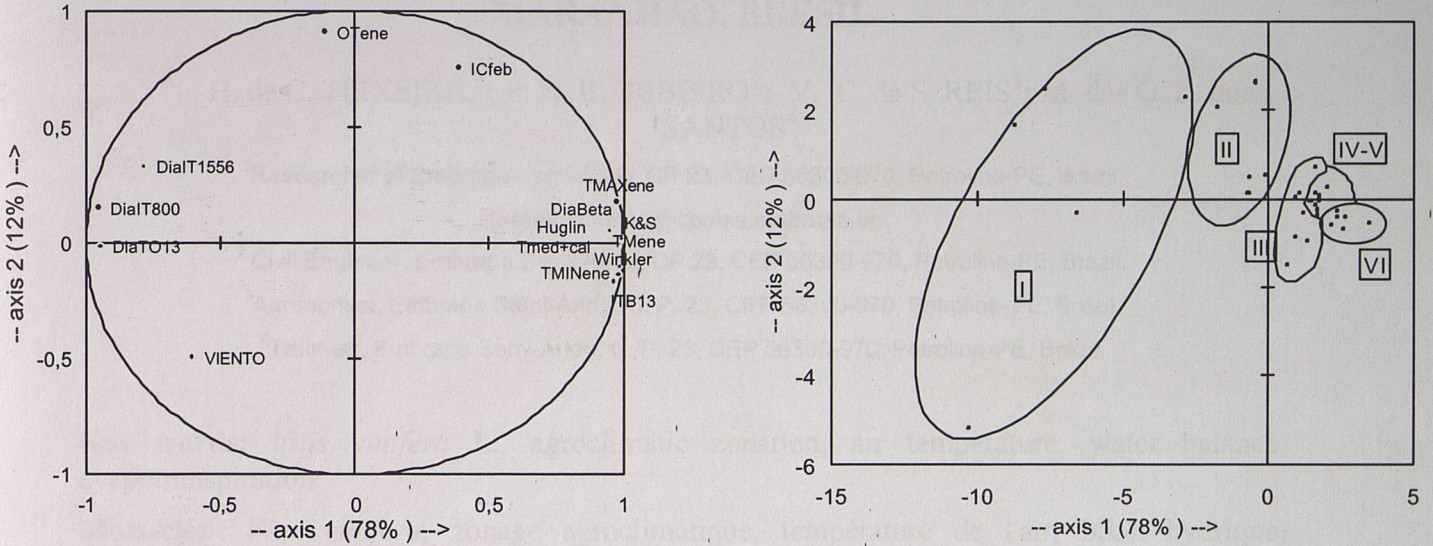
Carte des zones mésoclimatiques de la Province de San Juan





**Figure 2**

Analyse en composantes principales de quelques variables climatiques et indices écologiques des localités de San Juan, Argentine.



**ABSTRACT**

The use of agroclimatic indices based on water balance and air temperature means, allowed the characterization of areas with different aptitude for grape. The water and crop growth in Marumão State, Brazil. THORNTHWAITE and MATHER (1955) water balance for a 100 mm and moisture capacity of the region of natural dispersion and area of commercial wine production was used to characterize the annual hydro index of THORNTHWAITE (I<sub>a</sub>) in the State. The Thornthwaite index was used to obtain the water balance for the wine and moisture capacity for 5% moisture of Marumão State. It was observed that the State has a partial limitation for grape growing. The hydro index resulted in three classes of agroclimatic aptitude: Full aptitude (I<sub>a</sub> > 200), Regular aptitude (-20 < I<sub>a</sub> < 200) and Inaptitude (I<sub>a</sub> < -20). Under these conditions, the wine crop in Marumão state may be encouraged mainly in the municipal districts of São Paulo do Sul, Lacerdópolis, Benedito Leite, Povoação, Povoação, Santa Branca, Povoação, Governador Valadares, João de Deus, São Domingos do Maranhão and Graça Aranha.

**RESUME**

Les indices agroclimatiques concernant le bilan hydrique et le température moyennes de l'air, ont été utilisés pour la caractérisation des zones avec différentes aptitudes pour la culture de la vigne (État de Marumão, Brésil). L'indice de bilan hydrique de THORNTHWAITE et MATHER (1955), pour une évaporation de 100 mm et la capacité d'humidité de la région de dispersion naturelle et de la production commerciale de vin, a été utilisé pour caractériser l'indice hydro annuel de THORNTHWAITE (I<sub>a</sub>) dans l'État. L'indice de Thornthwaite a été utilisé pour obtenir le bilan hydrique pour la vigne et la capacité d'humidité pour 5% d'humidité de Marumão State. Il a été observé que l'État a une limitation partielle pour la culture de la vigne. L'indice hydro a résulté en trois classes d'aptitude agroclimatique: aptitude complète (I<sub>a</sub> > 200), aptitude régulière (-20 < I<sub>a</sub> < 200) et inaptitude (I<sub>a</sub> < -20). Dans ces conditions, la culture de la vigne dans l'État de Marumão peut être encouragée principalement dans les municipalités de São Paulo do Sul, Lacerdópolis, Benedito Leite, Povoação, Povoação, Santa Branca, Povoação, Governador Valadares, João de Deus, São Domingos do Maranhão et Graça Aranha.