

## Estabilidad del rendimiento de variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) para procesamiento industrial en el estado Táchira, Venezuela.<sup>1</sup>

Yield stability of potato (*Solanum tuberosum* L.) variety for industrial processing in Táchira, Venezuela

S. Roa, C. Barboza y A. Zambrano

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas-Táchira. Carretera Bramon via Delicias Bramon. Municipio Junin, estado Táchira

### Resumen

En Venezuela el cultivo de la papa es de gran importancia, por la superficie que se dedica a la siembra, los hábitos de consumo del venezolano y la actividad económica que genera. La papa que se utiliza para procesamiento industrial se importa en un 36%, y corresponde principalmente a las variedades Diacol Capiro y Atlantic. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el comportamiento en seis ambientes en el estado Táchira, Venezuela, durante los años 2001, 2002 y 2003, de cinco variedades de papa, de uso industrial, en cuanto a la estabilidad del rendimiento, a fin de recomendar los de mejor comportamiento. Los ensayos se condujeron en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron variedades y ambientes. El análisis de la interacción genotipo x ambiente (GA) se realizó para la variable rendimiento, considerando los modelos de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) y regresión sobre sitios (SREG). Se detectaron efectos significativos ( $P \leq 0,01$ ) de ambientes (A), genotipos (G) e interacción GA. El rendimiento promedio de papa en los seis ambientes fluctuó entre 18,40 y 27,65 t  $\cdot$  ha<sup>-1</sup>. El análisis AMMI indicó que los dos primeros componentes principales (ACP-1, ACP-2) fueron significativos ( $P < 0,05$ ), y contribuyeron acumulativamente al 92,14% de la variabilidad total de la interacción GA. El biplot del modelo AMMI mostró los genotipos con mejor comportamiento en los ambientes (adaptación específica). El análisis SREG separó dos grupos de ambientes, correspondiendo el mejor genotipo para el primer mega-ambiente (A1, A2, A4, A5 y A6) a la variedad Idiafrit (G1) y para el segundo ambiente (A3) al clon I-931 (G3).

**Palabras clave:** *Solanum tuberosum*, estabilidad, AMMI, SREG.

## Abstract

The Potato's crop in Venezuela it's very important because of dedicated surface to sowing, Venezuelan's consummation habits and economical issues generates. The potato used for industrial processing it's imported in a 36% and mainly fits to a variety "Diacol", "Capiro" and "Atlantic" type. The objective of this work was to evaluate yield stability of five potato genotypes used in industry processing. Potato plots were established in six ecoregions in Táchira, Venezuela during 2001, 2002 and 2003. A randomized complete block design with four replications was used. The interaction genotype x environment (GE) was analyzed for the yield using the additive main effect and multiple interactions (AMMI) and sites regression analysis models (SREG). Significant ( $P < 0.01$ ) effects for environment, genotypes and the interaction GE were detected. The average yield over six environments ranged from 18.40 and 27.65 t.ha<sup>-1</sup>. According to the AMMI analysis, the first two principal components (PCA-1 and PCA-2) were significant ( $P < 0.05$ ) and cumulatively contributed to 92.14% of the total variability of the interaction GE. The biplot of the AMMI model showed the best genotypes along the different environments (specific adaptation). The SREG analysis separated two environment groups: Idiafrit (G1) was the best genotype for the first mega-environment (A1, A2, A4, A5, A6), and clone I-931 (G3) was the best genotype for the second environment (A3).

**Key words:** *Solanum tuberosum*, stability, AMMI, SREG.

## Introducción

El cultivo de la papa en Venezuela es de gran importancia, por la superficie que se dedica a la siembra y los hábitos de consumo del venezolano, es considerado un cultivo líder entre los rubros denominados raíces y tubérculos contribuyendo con el 50% del valor de la producción total de éstos (Mora, 2007). En el año 2006 se cosecharon 24.325 ha, con un rendimiento promedio de 18,6 t ha<sup>-1</sup> y la semilla importada alcanzó la cifra de 83.000 Tm (FEDEAGRO, 2006; FAOSTAT, 2007). El rendimiento estimado para el 2006 en el estado Táchira fue de 14,8 t ha<sup>-1</sup> (AGREVO, 2007). La mayor parte de la papa que se importa es semilla y pertenece a

## Introduction

The potato cultivation in Venezuela is of high importance because surface sowed and Venezuelan's basic consummation habits, it is considered a leader crop between roots and tubers by contributing with 50% of total production value (Mora, 2007). In 2006 24.325 ha were harvested with an average yield of 18.6 t.ha<sup>-1</sup> and the imported seed reported reached 83.000 Tm (FEDEAGRO, 2006; FAOSTAT, 2007). The estimated yield for 2006 in Táchira state was 14.8 t.ha<sup>-1</sup> (AGREVO, 2007). The higher part of imported potato corresponds to seed and belong to varieties from sub-species *tuberosum* and *andigenum* (Fano, 1997; Rodríguez,

variedades de las subespecies *tuberosum* y *andigenum* (Fano, 1997; Rodríguez, 2004). En el año 2004 se importó el 36% de la papa destinada a procesamiento industrial y correspondió principalmente a las variedades Diacol Capiro y Atlantic (Gutiérrez, 2006). La importación trae como consecuencia la pérdida de divisas, por lo que se planteó la necesidad de producir en el país la mayor cantidad posible de papa para la industria; sin embargo, la variedad Atlantic resulta muy susceptible a la candelilla tardía causada por *Phytophthora infestans* y la variedad Diacol Capiro requiere condiciones de cultivo con altitudes superiores a los 2.500 msnm lo cual crea la necesidad de evaluar nuevas variedades y mediante programas de mejoramiento genético crear otras adaptadas a nuestras zonas de cultivo, a fin de ampliar la oferta de variedades de papa para industria y procurar la producción de semilla en nuestro país.

Las variedades de papa para uso industrial deben cumplir características de calidad interna y externa, la calidad externa está determinada por efectos ambientales y genéticos, en cuanto a las características determinadas por el ambiente es deseable que no presenten "verdeamiento" del tubérculo y entre las características determinadas por efectos genéticos deben presentar yemas (ojos) superficiales y no presentar medula externa e interna (corazón) huecas. Otras cualidades que requieren las papas para procesamiento industrial son el contenido de biomasa seca (mayor del 20%), el contenido de azúcares reductores (menor a 0,33%), y el por-

centaje. In 2004, 36% of potato guided to industrial processing was imported and mainly corresponded to the "Diacol Capiro" and "Atlantic" varieties (Gutiérrez, 2006). The importation has as consequence the capital lost, therefore, it is necessary to produce in country the higher potato quantity for the industry; however, the "Atlantic" variety is very susceptible to late blight caused by *Phytophthora infestans* and "Diacol Capiro" variety required crop conditions with altitudes higher than 2.500 masl which created the necessity of evaluating new varieties and through genetic breeding programs, to create another adapted to our cultivation regions in order to wide the offer of potato varieties for industry and to try seed production in our country.

The potato varieties for industrial use have to fulfill internal and external quality characteristics; the internal characteristic is determined by environmental and genetic effects, in relation to those characteristics determined by environment is desirable that do not shown the tuber "green spots" and between those determined by genetic effects have to show buds (eyes) superficial and do not shown external and internal marrow (heart) empty. Other qualities required for potato industrial processing potato are the dry biomass content (higher than 20%), the content of reduced sugars (lower than 0.33%), and percentage of undesirable color (Andrade, 1997; Perilla, 2002, Gutiérrez, 2006). The skin color of potato tubers is not related to the quality for industrial

centaje de color indeseable (Andrade, 1997; Perilla, 2002, Gutiérrez, 2006). El color de la peridermis de los tubérculos de papa no está asociado a la calidad para el procesamiento industrial y, por consiguiente, no puede ser considerado como un marcador morfológico en la selección de genotipos superiores relacionados a estas características (Andreu y da Silva, 2007).

La especie *Solanum tuberosum* se divide en dos subespecies: *tuberosum* y *andigenum*. La subespecie *tuberosum* es la papa más cultivada en el mundo especialmente en Norte América y Europa, mientras el cultivo de la subespecie *andigenum* ocurre en el Centro y Sur América (Camadro, 1996; Perilla *et al.*, 2002). La subespecie *tuberosum* presenta período vegetativo corto, de tres a cuatro meses, adaptación a días largos, escasa floración, poca producción de bayas, período corto de reposo del tubérculo, bajo porcentaje de almidón y de biomasa seca y resistencia a ciertas razas de *Phytophthora infestans*. La subespecie *andigenum* presenta período vegetativo de cinco a siete meses, adaptación a días cortos, floración abundante y producción de bayas, período largo de reposo del tubérculo, y alto porcentaje de almidón. Por lo anteriormente expuesto las variedades de papa con origen en la subespecie *andigenum* presentan más cualidades para ser usadas en el procesamiento industrial.

Los elementos meteorológicos que influyen sobre el crecimiento, desarrollo, producción y calidad de la papa son principalmente la temperatura del suelo y aire, radiación solar,

processing and, therefore, cannot be considered like a morphological marker in selection of genotypes superior related to these characteristics (Andreu and da Silva, 2007).

The specie *Solanum tuberosum* is divided in two sub-species: *tuberosum* and *andigenum*. The sub-specie *tuberosum* is the more cultivated potato in world especially in North America and Europe, whereas the cultivation of sub-specie *andigenum* occurs in Central and South America (Camadro, 1996; Perilla *et al.*, 2002). The sub-specie *tuberosum* shows a short vegetative period, from three to four months, adaptability to long days, limited flowering, little berries production, short period of tuber rest, low starch percentage and dry biomass and resistance to some races of *Phytophthora infestans*. The sub-specie *andigenum* show a vegetative period of five to seven months, adaptability to short days, abundant flowering and production of berries, long period of tuber rest, and high starch percentage. The potato varieties with origin in the sub-specie *andigenum* show more qualities to be used on industrial processing.

The metereological elements takes influence on growth, developing, production and quality of potato are mainly soil and air temperature, solar radiation, photoperiod, soil humidity and evapotranspiration. Climate determines the length of plants developing period and permits to establish the sowing times.

The evaluation of genotypes in different localities and through time is important to estimate the genotypic

fotoperíodo, humedad del suelo y evapotranspiración. El clima determina la longitud del período de desarrollo de las plantas y permite establecer las épocas de siembra.

La evaluación de los genotipos en diferentes localidades y a través del tiempo, es importante para estimar las respuestas genotípicas diferenciales bajo diversas condiciones ambientales. Para la obtención de nuevas variedades es necesario evaluar los materiales en diferentes ambientes y medir su interacción genotipo- x ambiente, la cual da una idea de la estabilidad fenotípica de las variedades ante las fluctuaciones ambientales. La estabilidad se considera como una serie de condiciones intrínsecas de un cultivar que hacen que pueda sortear con menores variaciones entre distintos años las condiciones climáticas de cada sitio (Kraan y Di Pane, 2009).

Las interacciones genotipo x ambiente son importantes fuentes de variación en cualquier cultivo y el término estabilidad es usado para caracterizar genotipos que muestran rendimientos relativamente constantes, independientemente de las condiciones ambientales cambiantes, entonces, los genotipos con una mínima variación en el rendimiento a través de diferentes ambientes son considerados estables (Sabaghnia *et al.*, 2006).

Una de las formas de medir estabilidad en el comportamiento es por medio de un análisis de regresión de los valores individuales en un índice ambiental, definido como el promedio de todas las variedades en el *j*-ésimo ambiente, menos la media general. Una variedad se considera estable si

differential responses under different environmental conditions. To obtain new varieties is necessary to evaluate materials in different environments and to measure the interaction genotype x environment, which gives an idea of the phenotypical stability of varieties in front of environmental fluctuations. The stability consider like a serial of intrinsic conditions of a cultivar that makes possible with lower variations between different years the climatic conditions of any place (Kraan and Di Pane, 2009).

The interaction genotype x environment are important variation sources in any crop and term stability is used to characterize genotypes showing relatively constant yields, independently on changing environmental conditions, then, genotypes with a minimum variation in yield through different environments are considered stables (Sabaghnia *et al.*, 2006).

One of ways of measuring stability in behavior is through a regression analysis of individual values on an environmental index, defined like the average of every variety in the *j*-ésimo environment, under general mean. A variety is considered stable if its regression coefficient is 1 and its deviation is zero (Eberhart and Russel, 1966). This analysis has been successfully used to select desirable potato genotypes (Haydar *et al.*, 2009).

The term genotype x environment (GE) interaction in general refers to the variation on production can not be explained by the main effect of genotype (G) and the main effect of environment (A), (Yan

su coeficiente de regresión es 1 y su desviación es cero (Eberhart y Russel, 1966). Este análisis ha sido utilizado con éxito para seleccionar genotipos de papa deseables (Haydar, *et al.*, 2009).

El término interacción genotipo x ambiente (GA) por lo general se refiere a la variación en la producción que no puede ser explicada por el efecto principal del genotipo (G) y el efecto principal del ambiente (A), (Yan y Hunt, 2001). La existencia de la interacción GA frecuentemente dificulta los progresos en los programas de mejoramiento genético ya que complica la evaluación y selección de los genotipos superiores (Rodríguez *et al.*, 2008; González *et al.*, 2007). Existen varias metodologías para enfrentar el problema de la interacción GA, siendo un alternativa el modelo denominado AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction) (Gauch, 1988; González *et al.*, 2003), que combina el análisis de varianzas ordinario con el análisis de componentes principales (ACP), donde el ACP es utilizado en la descomposición de la interacción GA en componentes multiplicativos. Este modelo puede ser útil para la identificación de genotipos de alta productividad y adaptabilidad, zonificación de cultivos con fines de recomendación regional y selección de localidades de evaluación. Otro método importante para la evaluación de los cultivares e identificación de mega-ambientes es el biplot GGE, que resulta de combinar el efecto del genotipo (G) más el efecto de la interacción GA (G + GA) (Yan *et al.*, 2000). El gráfico biplot permite identificar el genotipo de mayor po-

and Hunt, 2001). The existence of GE interaction frequently makes difficult the progresses of genetic breeding programs because the evaluation and selection of superior genotypes is complicated (Rodríguez *et al.*, 2008; González *et al.*, 2007). There are several methodologies to confront the problem of GE interaction, being an alternative the model called AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction) (Gauch, 1988; González *et al.*, 2003), by combining the common analysis of variance with the principal components analysis (PCA), where the last one is used in decomposition of GE interaction on multiplicative components. This model can be useful for the identification of high productivity and adaptability genotypes, crops location with purposes of regional recommendation and selection of evaluation regions. Other important method for the cultivars evaluation and identification of mega-environments is the biplot GGE, resulting of combining the effect of genotype (G) more the effect of the GE interaction (G + GE) (Yan *et al.*, 2000). The biplot graphic permits to identify the genotype of higher potential at any environment and to group genotypes and environments with similar response patterns (Ibáñez *et al.*, 2006).

This research had as objective to evaluate behavior of different varieties environments and potato advanced clones of industrial use, in relation to the yield stability, with the purpose of recommend those of best behavior to be used in breeding

tencial en cada ambiente y agrupar genotipos y ambientes con patrones similares de respuesta (Ibáñez *et al.*, 2006).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el comportamiento en diferentes ambientes de variedades y clones avanzados de papa de uso industrial, en cuanto a la estabilidad de su rendimiento, a fin de recomendar los de mejor comportamiento para ser utilizados en programas de mejoramiento o para producción de papa para uso industrial.

## Materiales y métodos

Los ensayos se realizaron en cinco localidades de los Municipios Jáuregui y Michelena del estado Táchira, con temperaturas promedio anuales de 14,9 y 15,4°C, respectivamente (cuadro 1), durante los años 2001, 2002 y 2003. En cada localidad, en todos o en algunos de los años, se evaluaron las variedades Idiafrit (G1), Diacol Capiro (G2), Fripapa (G4), y los clones avanzados I-931(G3) e I-1062 (G5), denominados los genotipos para los efectos del presente trabajo, con cualidades para procesamiento industrial; suministrados por el Centro Internacional de la papa (CIP) como vitroplántulas a partir de las cuales se obtuvieron los tubérculos-semilla utilizados en los ensayos.

Los ensayos se instalaron en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones y cinco tratamientos (variedades y clones avanzados), en parcelas de cuatro surcos por tratamiento y 24 plantas por surco, la distancia de siembra fue 0,90 m entre surcos y 0,40 m entre plantas. Se cosecharon

programs or for potatoes production for industrial use.

## Materials and methods

Essays were carried out on five locations of "Jáuregui" and "Michelena" municipalities of Táchira state, with annual mean temperatures of 14.9 and 15.4°C, respectively (table 1), during 2001, 2002 and 2003. At any locality, in all or in some years, the "Idiafrit" (G1), "Diacol Capiro" (G2), "Fripapa" (G4) varieties were evaluated and the advanced clones I-931(G3) and I-1062 (G5), called the genotypes for the effects of this research, with qualities for industrial processing; supplied by the "Centro Internacional de la Papa" (CIP) like vitro seedlings from which the tubers-seed used in this essay were obtained.

Essays were accomplished on at random blocks design with four replications and five treatments (varieties and advanced clones), in plots of four furrows per treatment and 24 plants by furrow, the sowing distance was 0.90 m between furrows and 0.40 m between plants. Plants obtained from the two central furrows were harvested. In table 2 the soils characteristics of evaluated environments are shown. The essay fertilization consisted in the application of 1.500 kg.ha<sup>-1</sup> of formula 12-12-17-2 at the moment of sowing and 500 kg.ha<sup>-1</sup> of potassium sulphate and calcium nitrate mixing in aporque, made at 40 days after sowing. Foliar fertilizer was applied each 15 days after flowering in doses of 2 L.ha<sup>-1</sup>. Herbicide was applied in pre-emergent

**Cuadro 1. Características de los seis ambientes del estado Táchira utilizados para la evaluación de cinco genotipos de papa.**

**Table 1. Characteristics of six environments of Táchira state used for the evaluation of five potato genotypes.**

Ambiente	Localidad	Ubicación geográfica	Fecha de siembra	Altitud (msnm)
A1	LLano Largo (Mcpio. Jáuregui)	08°13'43,5'' LN 71°55'58'' LO	14/06/2001	2.308
A2	LLano Largo (Mcpio. Jáuregui)	08°13'43,5'' LN 71°55'58'' LO	22/05/2002	2.308
A3	Angarabeca (Mcpio. Michelena)	07° 59'53,8'' LN 72° 8'57,9'' LO	10/06/2002	2.430
A4	Pueblo Hondo (Mcpio. Jáuregui)	08° 17' LN 71° 52' LO	07/07/2003	2.510
A5	Sabana Grande (Mcpio. Jáuregui)	08° 13'19,7'' LN 71° 56'11,7'' LO	05/05/2003	2.293
A6	La Pradera (Mcpio. Jáuregui)	08° 12'28,2'' LN 71° 56' 52,5'' LO	10/07/2003	2.025

las plantas de los dos surcos centrales. En el cuadro 2 se presentan las características de los suelos en los ambientes evaluados. La fertilización de los ensayos consistió en la aplicación de 1.500 kg.ha<sup>-1</sup> de la fórmula 12-12-17-2 al momento de la siembra y 500 kg.ha<sup>-1</sup> de la mezcla de Sulfato de Potasio y Nitrato de Calcio en el aporque, que se realizó a los 40 días después de la siembra. Se aplicó fertilizante foliar cada 15 días después de la floración en dosis de 2 L.ha<sup>-1</sup>. Se aplicó herbicida en forma preemergente. El riego se efectuó semanalmente por aspersión. Se realizaron aplicaciones preventivas de fungicidas para controlar la candelilla tardía causada por *P. infestans*. Las variables evaluadas fueron: rendimiento (t.ha<sup>-1</sup>), duración del ciclo, es decir, días transcurridos desde siem-

way. Irrigation was weekly sprinkled. Fungicide preventive applications were accomplished to control the late blight caused by *P. infestans*. The evaluated variables were: yield (t.ha<sup>-1</sup>), cycle duration, that is, days from sowing to harvest (determined by plants yellowing and epidermis fixation), flowering at 60 days after sowing (das), flowers color and characteristics: shape, epidermis color and mean biomass of tubers (g) in a sample of 20 tubers by genotype at any essay. Because the design was not reached in relation to the year factor, because not always the same sowing were used any year (table 1); each location and year was considered as one environment, thus, six environments were generated. The statistical analysis was made for data of yield variable.



**Cuadro 2. Características de los suelos en los seis ambientes evaluados.**

**Table 2. Characteristics of soils in six evaluated environments.**

Ambientes	pH	M.O.	K ppm	P ppm	Ca ppm	Mg ppm	CE	Textura
A1 y A2	5,55	5,02	94	442	361	41	0,256	Franco-arenoso
A3	6,27	3,62	96	195	869	60	0,294	Franco-arenoso
A4	4,89	7,25	120	178	298	33	-	Franco
A5	5,35	5,94	83	171	486	38	-	Franco-arenoso
A6	5,78	4,79	100	300	342	42	0,198	Franco-arenoso

bra a cosecha (la cual se determinó por el amarillamiento de las plantas y la fijación de la epidermis), floración a los 60 días después de la siembra (dds), color de las flores y las características: forma, color de la epidermis y biomasa promedio de los tubérculos (g) en una muestra de 20 tubérculos por genotipo en cada ensayo. Debido a que el diseño no fue balanceado en cuanto al factor año, porque no siempre se utilizaron los mismos sitios de siembra en cada año (cuadro 1), se consideró cada localidad y año como un ambiente, por lo que se generaron seis ambientes. Los análisis estadísticos se realizaron para los datos de la variable rendimiento.

Los modelos lineal-bilineal utilizados fueron los de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) y los de regresión de sitios (SREG). El análisis estadístico se realizó utilizando el programa SAS para graficar biplots GE (modelo AMMI) y GGE (modelo SREG) de Burgueño *et al.*, 2001.

El modelo AMMI fue:

$$\bar{y}_{ij} = \mu + \tau_i + \delta_j + \sum_{k=1}^t \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

y el modelo SREG fue

The lineal-bi-lineal models used were the main additive effects and multiplicative interaction (AMMI) and those of sites regression (SREG). The statistical analysis was carried out using the SAS program to graphic GE biplots (model AMMI) and GGE (model SREG) of Burgueño *et al.*, 2001.

The model AMMI was:

$$\bar{y}_{ij} = \mu + \tau_i + \delta_j + \sum_{k=1}^t \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

and model SREG was

$$\bar{y}_{ij} = \mu + \delta_j + \sum_{k=1}^t \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

where  $\bar{y}_{ij}$  = mean of cultivar *i*-ésimo in environment *j*-ésimo

$\mu$  = global mean

$\tau_i$  = genotype effect

$\delta_j$  = locality effect

$\lambda_k$  ( $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_t$ ) = singular value

$y \quad \alpha_{ik} = (\alpha_{1k}, \dots, \alpha_{jk})$  y

$\gamma_{jk} = (\gamma_{1k}, \dots, \gamma_{ek})$  = singular vector for cultivar and site respectively (restricted to for)

$\bar{\epsilon}_{ij}$  = residual error (NID was assumed  $(0, \sigma^2/r)$ , where  $\sigma^2$  was the error variance and *r* was the n° of replications).

In the AMMI model, term

$$\bar{y}_{ij} = \mu + \delta_j + \sum_{k=1}^l \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \bar{\varepsilon}_{ij}$$

Donde  $y_{ij}$  = media del cultivar  $i$ -ésimo en el  $j$ -ésimo ambiente

$\mu$  = media global

$t$  = efecto genotipo

$\delta_j$  = efecto localidad

$\lambda_k$  ( $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_l$ ) = valor singular

$\alpha_{ik} = (\alpha_{ik}, \dots, \alpha_{jk})$  y  $\gamma_{jk} = (\gamma_{jk}, \dots, \gamma_{ek})$  = vector singular para cultivar y sitio respectivamente (restringido a  $\sum_i \alpha_{ik} = \sum_j \gamma_{jk} = 1$  y  $\sum_i \alpha_{ik} \alpha_{ik} = \sum_j \gamma_{jk} \gamma_{jk} = 0$  para  $k = 2, \dots, l$ )

$\varepsilon_{ij}$  = error residual (se asumió NID  $(0, \sigma^2/r)$ , donde  $\sigma^2$  fue la varianza del error y  $r$  fue el n° de repeticiones).

En el modelo AMMI, el término interacción genotipo x ambiente (GA) fue absorbido en el término bilineal y en el modelo SREG los efectos principales de los cultivares (G) mas el término IGA fueron absorbidos en el término bilineal. El término bilineal fue sujeto a descomposición a través del valor singular (DVS). Con el procedimiento DVS, se obtuvo la suma de cuadrados de los términos AMMI, los cuales correspondieron simplemente al cuadrado de cada uno de los valores singulares. Posteriormente se obtuvieron las coordenadas genotípicas ( $\lambda_k^{0.5} \alpha_{ik}$ ) y ambientales ( $\lambda_k^{0.5} \gamma_{jk}$ ) a partir de las cuales se construyó el gráfico (biplot). El programa creado en SAS para obtener modelos AMMI de Burgueño *et al.*, (2001), incluyó la prueba de Gollob, (1967); para determinar la significación de cada término AMMI.

## Resultados y discusión

Al realizar el análisis de varianza (ANOVA) de los datos ob-

interacción genotipo x ambiente (GA) was absorbed in bi-linear term and in the SREG model, the principal effects of cultivars (G) more the IGA term were absorbed in the bi-linear term. The bi-linear term was subject to decomposition through singular value (DSV). With the DVS procedure, the sum of squares of AMMI terms was obtained which simply corresponded to the square of each singular values. After that, the genotypic coordinates ( $\lambda_k^{0.5} \alpha_{ik}$ ) and environmental ( $\lambda_k^{0.5} \gamma_{jk}$ ) were also obtained from which the graphic (biplot) was done. The program created on SAS to obtain the AMMI models of Burgueño *et al.*, (2001), included Gollob test, (1967); to determine the significance of each AMMI term.

## Results and discussion

At the moment of accomplishing the analysis of variance (ANOVA) of data obtained for yield, highly significant differences were found ( $P < 0.01$ ), between genotypes (G), environments (A) and interaction GE (table 3) which showed a different behavior of genotypes in the evaluated environments, and also showed the environmental heterogeneity related to climate and soil. The percentages relative of variance of variable yield respect to environment (61.4%), genotype (10.2%), and interaction GE (14.4%) showed that proportion of environmental variability and interaction GE were higher than those caused by the principal effects of genotypes. The sum of squares for the environments showed that

tenidos para rendimiento se encontraron diferencias altamente significativas ( $P < 0,01$ ), entre los genotipos (G), ambientes (A) e interacción GA (cuadro 3) lo cual demostró un comportamiento diferente de los genotipos en los ambientes evaluados, y evidenció la heterogeneidad ambiental relacionada con clima y suelo. Los porcentajes relativos de la varianza de la variable rendimiento respecto al ambiente (61,4%), genotipo (10,2%), e interacción GA (14,4%) indicaron que la proporción de variabilidad ambiental e interacción GA fueron más grandes que la debida a los efectos principales de los genotipos. La suma de cuadrados para los ambientes demostró que los ambientes fueron muy diversos y causaron la mayor variación en la producción de papa. La magnitud de la interacción GA determinó que hubo diferencias sustanciales en la respuesta de los genotipos a través de los ambientes. El coeficiente de variación (%) fue de 21,40.

El rendimiento promedio de los genotipos en los ambientes varió entre 18,4 ( $\pm 8,2$ ) y 27,7 (11,1) t.ha<sup>-1</sup>, el menor rendimiento correspondió a la

entornos fueron diversos y ellos causaron la mayor variación en la producción de papa. La magnitud de la interacción GE determinó que hubo diferencias sustanciales en la respuesta de los genotipos a través de los ambientes. El coeficiente de variación (%) fue de 21,40.

El rendimiento promedio de los genotipos en los ambientes varió entre 18,4 ( $\pm 8,2$ ) y 27,7 (11,1) t.ha<sup>-1</sup>, el menor rendimiento correspondió a la variedad (G4) y el mayor a "Fripapa" (G1). El mayor rendimiento (36,4 t.ha<sup>-1</sup>) se obtuvo en el ambiente 3 (Angarabeca, Mpio. Michelená) y el menor (11,7 t.ha<sup>-1</sup>) en el ambiente 2 (Llano Largo, J. Murguía municipalidad) lo que explicó la influencia de las condiciones ambientales sobre los genotipos de diferentes ciclos de siembra, aunque no se obtuvieron datos climatológicos para examinar las variables climáticas necesarias para la respuesta adecuada de los cultivos. El análisis AMMI determinó que los primeros términos fueron significativos ( $P < 0,05$ ), el primer componente principal (PCA-1) explicó el 76,06% de la variabilidad de la interacción GE

### Cuadro 3. Características de cinco genotipos de papa evaluados en seis ambientes.

Table 3. Characteristics of five potato genotypes evaluated in six environments.

Genotipo	Floración a los 60 (dds)	Color de la flor
Idiafrit	no	Morado
Diacol Capiro	si	Morado
I-1062	si	Blanco
Fripapa	si	Morado
I-931	si	Blanco

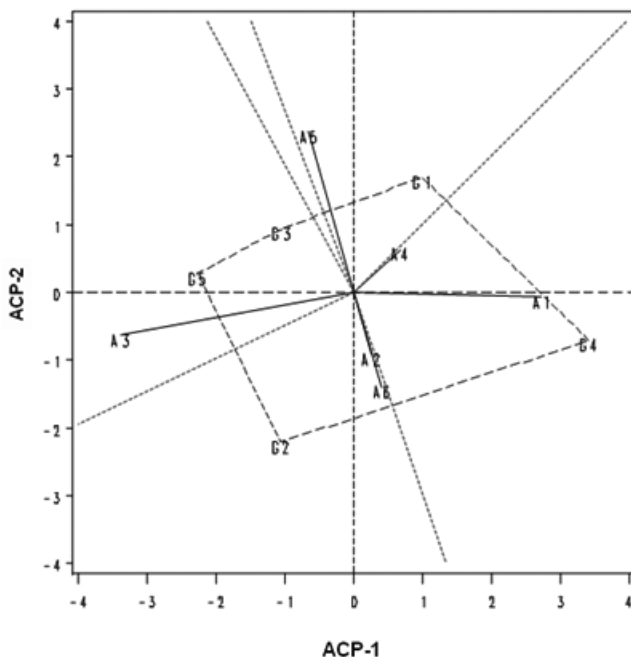
variedad Fripapa (G4) y el mayor rendimiento a Idiafrit (G1). El rendimiento promedio más alto (36,4 10,3 t.ha<sup>-1</sup>) se obtuvo en el ambiente 3 (Angarabeca, Mcpio. Michelena) y el menor rendimiento promedio (11,7 4,3 t.ha<sup>-1</sup>) en el ambiente 2 (Llano Largo, Mcpio. Jáuregui) lo cual explicó la influencia de las condiciones ambientales sobre los genotipos en los diferentes ciclos de siembra, aunque no se obtuvieron datos climatológicos que permitieran examinar las variables climáticas tan importantes para la respuesta favorable de los cultivos. El análisis AMMI determinó que los dos primeros términos fueron significativos ( $P < 0,05$ ), el primer componente principal (ACP-1) explicó el 76,06% de la variabilidad de la interacción GA y el segundo componente principal (ACP-2) explicó el 16,08%. La contribución acumulada de los dos primeros componentes fue 92,14%.

El biplot generado por los "scores" o puntajes de los genotipos y ambientes de los dos primeros componentes AMMI se muestra en la figura 1. Los ambientes donde se obtuvo el mayor rendimiento de los genotipos (A1, A3, A5) se diferenciaron de los ambientes con menor rendimiento (A2, A4, A6) por la distancia más larga del origen al puntaje obtenido (figura 1). Los ambientes se situaron en cuatro de los cinco sectores definidos por las líneas perpendiculares a los lados del polígono: el mejor genotipo para los ambientes A1 y A4 fue el G4 (Fripapa). El genotipo 2 (Diacol Capiro) fue el mejor para los ambientes A2 y A6, el genotipo 1 (Idiafrit) para el ambiente A5 y los genotipos 3 (I 931) y 5 (I 1062) para el

and the second one (PCA-2) explained 16.08%. The accumulate contribution of the two first components was 92.14%.

The biplot generated by "scores" or genotypes and environments punctuations of the two first AMMI components is shown in figure 1. The environments where the high genotypes yield was obtained (A1, A3, A5) were differenced from environments with high yield (A2, A4, A6) for the longer distance from the origin to punctuation obtained (figure 1). Environments were located in four of five sectors defined by the perpendicular lines by the polygon side: the best genotype for environments A1 and A4 was G4 (Fripapa). The genotype 2 (Diacol Capiro) was the best for environments A2 and A6, the genotype 1 (Idiafrit) for the environment A5 and genotypes 3 (I 931) and 5 (I 1062) for the environment A3. In this analysis, the genotypes of high production respect to the average were located in the positive part of component PCA-2, and the lower production genotypes to average were located in the negative part.

The interactions of multiplicative part of AMMI model were estimated from PCA-1 and PCA-2 punctuations of genotypes and environments. The genotypes of low effect of mean interaction corresponded to G3 and G1, probably by being the more stable. The genotype with high mean interaction effect was G-4 which can be explained like adaptability to favorable environments. According Solano *et al.*, (1998), the interaction effect control



**Figura 1. Biplot AMMI de cinco genotipos de papa evaluados en seis ambientes.**

**Figure 1. Biplot AMMI of five potato genotypes evaluated in six environments.**

ambiente A3. En este análisis, los genotipos de mayor producción con respecto al promedio se ubicaron en la parte positiva del componente ACP-2, y los genotipos de menor producción al promedio se ubicaron en la parte negativa.

Las interacciones correspondientes a la parte multiplicativa del modelo AMMI, se estimaron a partir de los puntajes ACP-1 y ACP-2 de los genotipos y ambientes. Los genotipos de menor efecto de interacción promedio correspondieron a G3 y G1, probablemente por ser los más estables. El genotipo con mayor efecto de interacción promedio fue el G-4 lo cual

the specific adaptability of materials and shows that genotypes have to be selected by having interactions of high magnitude interaction and positive sign for a determined environment. The AMMI-2 model selected those genotypes with higher positive interaction (specific adaptability) in respective environments (figure 1).

Other way to display the interaction through biplot generated with PCA-1 values and mean yield of genotypes and environments obtained from SREG model (figure 2). The first principal component (PCA-1) extracted a high percentage (76%) of interaction GE variability and it was

puede interpretarse como adaptación a ambientes favorables. Según Solano *et al.*, (1998), el efecto de interacción controla la adaptación específica de los materiales, e indican que se deben seleccionar los genotipos que presenten interacciones de gran magnitud y de signo positivo para un ambiente determinado. El modelo AMMI-2 seleccionó los genotipos con mayor interacción positiva (adaptación específica) en los ambientes respectivos (figura 1).

Otra manera de visualizar la interacción es a través del biplot generado con los valores de ACP-1 y el rendimiento promedio de los genotipos y ambientes obtenidos del modelo SREG (figura 2). El primer componente principal (ACP-1) extrajo un alto porcentaje (76%) de la variabilidad de la interacción GA y se consideró que este componente fue representativo para explicar los resultados y visualizar la adaptación de los genotipos a los distintos ambientes. De la figura 2 se confirma que los genotipos más estables tuvieron valores de ACP-1 cercanos a cero, lo cual concuerda con lo afirmado por González, (2003) e Ibáñez, (2006).

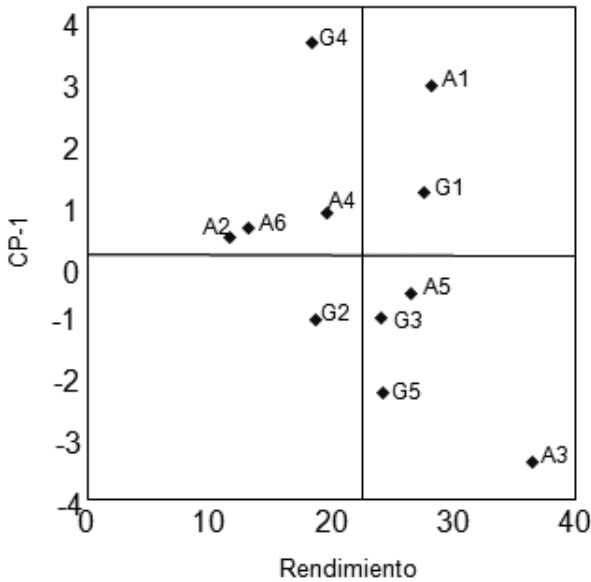
En cuanto a la selección del mejor sitio para evaluar genotipos, el ambiente A3 fue el más discriminante como lo indicó la distancia más larga del origen al puntaje obtenido (figura 2). Sin embargo, pudo no ser el más representativo respecto al rendimiento promedio y estabilidad de los genotipos en todos los sitios. El ambiente A5 no fue el más discriminante, pero las diferencias genotípicas en A5 pudieron ser más consistentes con el promedio en los sitios; se observó el valor ACP-1 cercano a cero.

considered that this component was representative to explain results and to visualize the genotypes adaptability to different environment. From figure 2 is confirmed that genotypes more stable had values of PCA-1 closed to zero which agree with those reported by González, (2003) and Ibáñez, (2006).

In relation to the selection of the best place to evaluate genotypes, the environment A3 was the more discriminant as showed by the longer distance from origin to the punctuation obtained (figure 2). Nevertheless, it could not be the more representative respect to the mean yield and genotype stability in all the sites. The environment A5 was not the more discriminant, but the genotypic differences in A5 could be more consistent with the average in sites; the value PCA-1 closed to zero was observed.

In the SREG analysis the bi-linear term absorbed the genotypic variability and interaction GE (G + IGA). The two first components were significant and explained on 58.9 and 36.0%, respectively of interaction GE. The biplot corresponding to SREG model is shown in figure 2.

This model simplified the study, differencing two mega-environments: the best genotype for the first mega-environment (A1, A2, A4, A5, A6) was «Idiafrit» (G1) and the best genotype for the second environment (A3) was the clone I-931 (G3). The "Idiafrit" production was superior to the average in all the environments. When the analysis proponed by Yan *et al.*, (2000) was applied, the genotypes located in the opposed extreme of



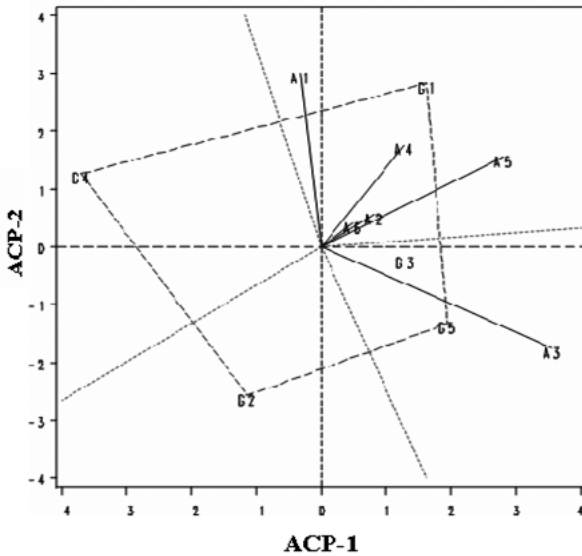
**Figura 2. Biplot ACP-1 y rendimiento (t.ha<sup>-1</sup>) de cinco genotipos de papa evaluados en seis ambientes.**

**Figure 2. Biplot PCA-1 and yield (t.ha<sup>-1</sup>) of five potato genotypes evaluated in six environments.**

En el análisis SREG el término bilineal absorbió la variabilidad genotípica e interacción GA (G + IGA). Los dos primeros componentes fueron significativos y explicaron el 58,9 y 36,0%, respectivamente de la interacción GA. La figura 3 muestra el biplot correspondiente al modelo SREG. Este modelo simplificó el estudio, diferenció dos mega-ambientes: el mejor genotipo para el primer mega-ambiente (A1, A2, A4, A5, A6) fue Idiafrit (G1) y el mejor genotipo para el segundo ambiente (A3) fue el clon I-931 (G3). La producción de Idiafrit fue superior al promedio en todos los ambientes. Cuando se aplicó el análisis propuesto por Yan *et al.*, (2000), los genotipos ubicados en el extremo opuesto de los ambientes fueron los de menor rendimiento

en esos ambientes. De la misma manera, cuando se traza una perpendicular a través del origen, los genotipos con rendimiento superior e inferior al promedio se separaron en este ambiente. El genotipo 4 (Fripapa) fue de menor rendimiento en el ambiente A3 y el resto de genotipos respondió superior al promedio en ese ambiente.

Las características de diferentes variedades y clones evaluados y tubérculos característicos se observan en las tablas 3 y 4. Los clones I-931 e I-1064 mostraron flores amarillas, las variedades "Diacol Capiro" y "Fripapa" mostraron flores púrpuras. La variedad "Fripapa" produjo berries que podrían ser un interesante



**Figura 3. Biplot SREG de cinco genotipos de papa evaluados en seis ambientes.**

**Figure 3. Biplot SREG of five potato genotypes evaluated in six environments.**

to en esos ambientes. Asimismo, cuando se trazó una perpendicular al vector ambiente a través del origen, se separaron los genotipos con rendimiento superior e inferior al promedio en ese ambiente. Por ejemplo, el genotipo 4

character for sexual seed production. According to the tubers shape, these could be guided to obtain different processed products, like "bastones" in the varieties "Idiafrit" and "Diacol Capiro", or potatoes type "hojuelas" in

**Cuadro 4. Características de los tubérculos de cinco genotipos de papa evaluados en seis ambientes.**

**Table 4. Characteristics of five potato genotypes tubers evaluated in six environments.**

Genotipo	Forma del tubérculo	Color de la epidermis	Biomasa promedio del tubérculo (g)
Idiafrit	Oblongo-alargada	Marrón	155,85
Diacol Capiro	Oblongo-redondeada	Morado	156,95
I-1062	Redondeada	Marrón	130,50
Fripapa	Redondeada	Rojo	160,82
I-931	Redondeada	Marrón	151,88



(Fripapa) fue el de menor rendimiento en el ambiente A3 y los demás genotipos respondieron más alto del promedio en ese ambiente.

En los cuadros 3 y 4 se observan las características de las diferentes variedades y clones evaluados y las características de los tubérculos. Los clones I-931 y e I-1064 presentaron flores de color amarillo, las variedades Diacol Capiro y Fripapa presentaron flores de color morado. La variedad Fripapa produjo bayas, lo cual podría ser un carácter interesante para producción de semilla sexual. De acuerdo a la forma de los tubérculos, estos podrían ser destinados a obtener diferentes productos procesados, como "bastones" en las variedades Idiafrit y Diacol Capiro, o papas tipo "hojuelas" en los clones I-931, I-1062 y la variedad Fripapa.

El tiempo transcurrido desde siembra a cosecha fue superior a 110 días en todos los genotipos evaluados, por lo cual se categorizaron como tardíos al compararlos con la variedad Granola de uso generalizado en las zonas de cultivo evaluadas y cuyo ciclo de cultivo es de aproximadamente 90 días; sin embargo, esta variedad no es de uso industrial. En cuanto a biomasa de tubérculos todos los genotipos presentaron tubérculos con biomasa promedio superior a 130 g.tubérculo<sup>-1</sup>, lo cual indicó la favorable expresión de las variedades en cuanto a esta importante característica de las papas para industria, además del rendimiento y la forma, tal como lo expresan Cotes (2000) y Gutiérrez (2006).

La diferenciación de ambientes permitió identificar el mejor genotipo,

clones I-931, I-1062 and variety "Fripapa".

Time from sowing to harvest was superior to 110 days in all the genotypes evaluated, thus they were categorized as late when be compared to the "Granola" variety of general use in cultivation regions evaluated and with a cultivation cycle of 90 days approximately; however, this variety is not of industrial use. In relation to the tubers biomass all the genotypes showed tubers with mean biomass superior to 130 g.tuber<sup>-1</sup>, which showed the favorable expression of varieties in relation to this important potatoes characteristics for industry, besides of yielding and shape, as expressed by Cotes (2000) and Gutiérrez (2006).

The environments differentiation permitted to identify the best genotype which could be used in a genetic breeding program or recommended to be sowed, as established by Abalo *et al.*, (2003), when analyzing the interaction genotype x environment in potato using the AMMI methodology identified the more stable genotypes and those adapted to specific localities.

## Conclusions

According to results, the genotypes showing better behavior evaluated through its yield stability were the Idiafrit (G1) variety for the environments A1, A2, A4, A5, and A6 and he clone I-931 (G3) for the environment A3, thereby, these genotypes can be recommended to be used for potato production for

el cual podría ser utilizado en un programa de mejoramiento genético o recomendarlo para ser sembrado, tal como lo indicaron Abalo *et al.*, (2003), al analizar la interacción genotipo x ambiente en papa utilizando la metodología AMMI identificaron los genotipos más estables y aquéllos adaptados a localidades específicas.

## Conclusiones

De acuerdo a los resultados, los genotipos que mostraron mejor comportamiento evaluado a través de la estabilidad de su rendimiento fueron la variedad Idiafrit (G1) para los ambientes A1, A2, A4, A5, y A6 y el clon I-931 (G3) para el ambiente A3, por lo cual se puede recomendar estos genotipos para ser utilizados para producción de papa para industria o semilla, en zonas similares a las estudiadas en el estado Táchira.

El clon I-1063 (G5) puede ser un genotipo alternativo para los ambientes bajo estudio por su alta estabilidad y producción, la cual superó el promedio general.

Los resultados de la aplicación del modelo AMMI permitieron discriminar entre los genotipos evaluados no sólo por su mejor comportamiento en cuanto a su rendimiento sino también identificar el mejor ambiente para evaluarlos, es decir, aquel donde pueden manifestar su máxima capacidad productiva y las características físicas de tubérculos que los hacen aptos para uso industrial.

Agradecimiento. Este trabajo fue financiado por el proyecto FONTAGRO denominado: "Selección y utilización de variedades de papa

industry or seed, in similar regions to those studied in Táchira state.

The clone I-1063 (G5) can be an alternative genotype for environments studied by its high stability and production which exceeded the general average.

The results of application of AMMI model permitted to discriminate between the genotypes evaluated not only by its best behavior in relation to its yield but also to identify the best environment to evaluate them, that is to say, those in which they can express its maximum productive capacity and physical characteristics of tubers that makes them appropriate for industrial use.

## Acknowledgement

This research was financed by the project FONTAGRO called: "Selection and use of potato varieties with disease resistance for processing in Latin América".

*End of english version*

---



---

con resistencia a enfermedades para procesamiento en América Latina".

## Literatura citada

Abalo G., J. Hakiza, R. El-Bedewy, E. Adipala. 2003. Genotype x environment interaction studies on yields of selected potato genotypes in Uganda. African Crop Sci. Jour. 11(1):9-15.

AGREVO Venezuela. Disponible en [http://www.resnet.net/agrevo/02b06\\_cont.html](http://www.resnet.net/agrevo/02b06_cont.html)

- Andrade, H. 1997. Requerimientos cualitativos para la industrialización de la papa. INIAP (9): 21-23.
- Andreu M., A. da Silva. 2007. Asociación entre el color de la peridermis de la papa con características de importancia industrial. Agricultura Técnica 67 (1):72-77
- Burgueño, J., J. Crossa, M. Vargas. 2001. SAS programs for graphing GE and GGE biplots. Biometrics and Statistics Unit, CIMMYT.
- Camadro, E. 1996. Especies silvestres y mejoramiento genético de la papa. Ciencia Hoy 6(35):46-53.
- Cotes, J. 2000. Análisis e interpretación de la interacción genotipo por ambiente en 24 clones de papa *Solanum tuberosum* ssp. *andigena*. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=UNC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=007100>.
- Eberhart, S. y W. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop. Sci. 6:36-40.
- Fano, H. 1997. Aspectos socioeconómicos de la producción y distribución de los tubérculos-semillas de papa en América Latina y el Caribe. CIP Fascículo 1.1:1-14
- FAOSTAT. 2007. PAPA. Venezuela. Disponible en: <http://www.potato2008.org/es/mundo/americalatina.html>
- FEDEAGRO. 2006. Disponible en: <http://www.fedeagro.org/produccion/Rubros.asp>
- Gauch, H. 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. Biometrics 44:705-715.
- Gollob, H. 1968. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. Psychometrika 33:73-115.
- González A., L. Vázquez, J. Sahagún, J. Rodríguez, D. Pérez. 2007. Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. Agricultura Técnica en México 33(001):33-42.
- González M., S. Estévez, J. Castillo, J. Salomón, M. Varela, U. Ortiz, E. Ortiz. 2003. Análisis de la estabilidad genotípica en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) mediante representaciones biplots. Cultivos tropicales 24(1):81-84.
- Gutiérrez, A. 2006. Estrategias para mejorar la comercialización de la papa en Venezuela. Parte I. Disponible en: [http://www.saber.ula.ve/bistream/123456789/13448/1/agutierrez\\_papa\\_pdf](http://www.saber.ula.ve/bistream/123456789/13448/1/agutierrez_papa_pdf)
- Haydar, A., M. Islam, T. Ara, E. Khokan, M. Hossain. 2009. Stability analysis for tuber yield components in potato. Int. J. Sustain. Crop Prod. 4(4):01-04
- Ibañez, M., M. Cavanagh, N. Bonamico, M. Di Renzo. 2006 Análisis gráfico mediante biplot del comportamiento de híbridos de maíz. RIA 35 (3): 83-93. INTA, Argentina.
- Kraan G., Di Pane F. 2009. Estabilidad de rendimiento: un aspecto a considerar. AgroBarrow 40:12-18. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/barrow>
- Mora, E., L. Rojas. 2007. Los cultivos líderes de la agricultura venezolana (1984-2005) Agroalimentaria 12(25):33-44.
- Perilla, A., N. Cifuentes, L. Rodríguez, C. Nustez. 2002. Evaluación y selección preliminar por rendimiento de tubérculo y potencial industrial de 36 clones de papa (*Solanum tuberosum* L.) Agronomía Colombiana 19(1-2):57-68.
- Rodríguez, M. 2004. La producción y comercio de la papa en el contexto internacional y latinoamericano.

- Disponible en: <http://www.uach.cl/alap2004/charlas%magistrales/10M%20.doc>
- Rodríguez M., D. Rau, R. Papa, G. Attene. 2008. Genotype by environment interactions in barley (*Hordeum vulgare* L.): different responses of landraces, recombinant inbred lines and varieties to Mediterranean environment. *Euphytica* 163(2):231-237.
- Sabaghnia, N., H. Dehghani, S. Sabaghpour. 2006. Nonparametrics methods for interpreting genotype x environment interaction of lentil genotypes. *Crop. Sci.* 46:1100-1106.
- Solano, J., P. Barriga, A. Krarup, H. Figueroa. 1998. Estabilidad temporal del rendimiento de genotipos mutantes de trigo, mediante el modelo de interacción multiplicativa y efectos principales aditivos (AMMI: Additive Main Effect and Multiplicative Interaction Model). *Agro Sur* 26(2):19-32.
- Valls J., B. Badiella. 1988. Introducción al SAS. Disponible en: [http://einstein.uab.es/\\_c\\_serv\\_estadistica/Manuals/Manual SAS. PDF](http://einstein.uab.es/_c_serv_estadistica/Manuals/Manual SAS. PDF).
- Yan, W., L. Hunt, Q. Sheng, Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Breeding, Genetics & Cytology* 40(3):597-605.
- Yan, W., L. Hunt. 2001. Interpretation of genotype x environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Science* 41:19-25.