

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**PROPUESTA PARA MEJORAR LA SELECCIÓN CLONAL CONVENCIONAL  
PARA RENDIMIENTO CONSIDERANDO LA SINTOMATIA VIRAL EN AJO.**

**POR:  
MARIO DENA SILVA**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**MARÍN NUEVO LEÓN MAYO DE 2006**

**PROPUESTA PARA MEJORAR LA SELECCIÓN CLONAL CONVENCIONAL PARA RENDIMIENTO  
CONSIDERANDO LA SINTOMATIA VIRAL EN AJO.**

**Por:**

**M. C. Mario Dena Silva**

**Realizado bajo la dirección del comité de tesis, ha sido aprobado por el  
mismo y aceptado como requisito parcial para obtener el grado de  
Doctor en Ciencias Agrícolas**

**Comité de Tesis**

---

**Ph. D. Ciro G. S. Valdés Lozano  
Asesor principal**

---

**Ph. D. Emilio Olivares Saenz  
Co-asesor**

---

**Dra. Elizabeth Cárdenas Cerda  
Co-asesor**

---

**Ph. D. Gilberto Salinas García  
Co-asesor**

---

**Dr. Cs. Juan Carlos Rodríguez Cabriales  
Co-asesor**

---

**Ph. D. Ciro G. S. Valdés Lozano  
Subdirector de Estudios de Postgrado de la Facultad de Agronomía  
de la Universidad Autónoma de Nuevo León**

## ÍNDICE

1. Introducción y objetivo general	1
2. Revisión de literatura	4
2.1. Genotipo, fenotipo, ambiente e interacción genotipo por ambiente	4
2.2. El control de la componente ambiental en el fenotipo	7
2.3. Selección clonal para mejoramiento de plantas con propagación asexual	7
2.3.1. Especies propagadas asexualmente y con capacidad de reproducción sexual	8
2.3.2. Especies propagación asexual obligada	8
2.4. El cultivo del ajo	9
2.5. Mejoramiento genético del ajo	10
2.5.1 Mejoramiento genético del ajo en el mundo	10
2.5.2 Mejoramiento genético del ajo en México	11
2.6. Las enfermedades del ajo como parte de la componente ambiental del fenotipo	11
2.6.1. Virus que infectan el cultivo del ajo	12
2.6.1.1. Métodos de detección de virus	13
2.6.1.2. Métodos de control de virus	14
2.6.1.3. La selección clonal y el sesgo ambiental	14
2.7. Hipótesis	15
3. Materiales y métodos	16
3.1. Poblaciones iniciales y ubicación del predio	16
3.2. Categorización de la severidad de síntomas	16
3.3. Variables medidas y análisis estadístico	17
3.4. Ciclo de selección	17
3.5. Parámetros de selección.	19
4. Resultados y discusión	20
4.1. Variación de las poblaciones originales	20
4.1.1. Comparación entre clones	21

4.1.2. Comparación entre categorías de niveles de severidad de expresión de síntomas de mosaico independiente a los clones	21
4.1.3. Comparación entre categorías de niveles de severidad de expresión de síntomas de mosaico dentro de clones	23
4.2. Ciclo de selección clonal	25
4.2.1. Clon Taiwán	25
4.2.2. Clon Aramberri	30
5. Conclusiones	37
6. Recomendaciones	39
7. Literatura citada	40

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La agricultura es producto de la organización social de las tribus formadas por hombres y mujeres que pasaron de nómadas a sedentarios. Con el paso del tiempo adecuaron los ciclos de producción y reproducción de aquellas especies, antes silvestres y luego domesticadas, a calendarios que ellos mismos calcularon, todo con el fin de evitar la búsqueda de alimentos fuera de su territorio. Ya como agricultores, iniciaron empírica e incipientemente la mejora genética de plantas y animales al seleccionar las semillas para el ciclo de cultivo siguiente o animales como pie de cría para las próximas generaciones (Cox y Atkins, 1979).

Aún y cuando Mendel todavía no realizaba sus trabajos sobre herencia, la mejora genética mediante selección conducida por Luis De Vilmorin en remolacha azucarera ofrecía sus resultados a la industria en 1843 (Allard, 1960).

Aproximadamente diez mil años después del nacimiento de la agricultura, cuando Darwin escribió su teoría y sus fundamentos, con el redescubrimiento de las leyes de Mendel y al dilucidarse y sustentarse científicamente aspectos sobre evolución, citología, genética y estadística, la mejora genética de plantas y animales pasó de ser un proceso empírico a un proceso sistematizado y fundamentado en disciplinas científicas (De La Loma, 1963).

Posterior a la conquista de México por parte de España, fueron traídas especies de cultivos cuyo centro de origen está en otros lugares del mundo, y al igual que las especies nativas como maíz (*Zea mays*), Chile (*Capsicum annum*), tomate fresadilla (*Physallis ixocarpa*) y calabaza (*Cucurbita spp*) entre muchas otras, se sujetaron a un proceso de selección, primero empírica y después fundamentada en las disciplinas ya mencionadas (Cox y Atkins, 1979).

Entre los cultivos que llegaron al continente americano esta el ajo (*Allium sativum* L), cuyo centro de origen es, según Vavilov, Asia Central y la cuenca del Mediterráneo. Esta especie ha sido explotada históricamente en todo el mundo, tal vez no haya un país donde no se consuma pues se utiliza como satisfactor cultural, religioso,

medicinal y culinario, el ajo se ha utilizado tanto para embalsamar cadáveres como para condimentar desde los platillos más simples a los más exóticos, su calidad nutricional es excepcional y muchas de sus propiedades curativas han sido demostradas. En México se ha incrementado el consumo de este cultivo considerado hortaliza, gran parte de la producción sale del país como exportación, otra cantidad se destina como semilla para el ciclo siguiente, además del producto desechado por baja calidad (Heredia *et al.* 1991).

Por los intereses antropocéntricos mencionados y por el creciente consumo, el ajo ha sido sujeto de múltiples estudios, además de estar incluido en programas de mejora genética. Sus principales problemas son las enfermedades y su reproducción exclusivamente agámica en las variedades clonales comerciales, esto último le confiere características particulares a tomarse en cuenta en los métodos de mejora genética que se pretendan ejecutar. Las enfermedades virales que infectan el ajo han sido reportadas en todo el mundo, con fuertes repercusiones negativas en el rendimiento y la calidad del producto. A pesar de no tener reproducción sexual, existen reportes sobre avance en selección clonal para aspectos fenotípicos como el peso del bulbo y el número de bulbillos. Considerando que en un clon la variabilidad originada se debe a una alta tasa de mutación como respuesta a la variación ambiental a que ha sido expuesto. Sin embargo, también se considera que dichas enfermedades virales pueden ser una fuente de variación ambiental al no estar infectados todos los individuos en la misma magnitud.

Con el presente trabajo se pretenden contribuir a enriquecer las bases teórica y metodológica sobre las cuales han sido anclados los programas de mejora genética en este cultivo, tomando en cuenta la componente ambiental, al considerar las enfermedades virales como parte de la misma y no solamente los aspectos de la variación aportada por factores como el suelo, la humedad, nutrientes y muchos otros.

Para lograr lo anterior, se planteó un objetivo general, que para alcanzarlo se establecieron tres objetivos particulares, los cuales a continuación se enuncian.

## **1.1. Objetivo general**

Determinar la influencia del complejo viral y la eficiencia de la selección clonal sobre el rendimiento y sus componentes en dos clones de ajo.

Para cumplir con este objetivo general se consideraron los siguientes objetivos particulares:

1. Comparar los clones bajo estudio en cuanto a rendimiento y sus componentes.
2. Comparar categorías de niveles de infección viral en los dos clones de ajo por su efecto en el rendimiento y sus componentes.
3. Efectuar un ciclo de selección clonal bajo dos criterios: a) sólo por alto rendimiento y b) por niveles de sintomatía seguida de alto rendimiento, considerando tres presiones de selección para:
  - a) Estimar el diferencial de selección, la respuesta a la selección y la heredabilidad para rendimiento bajo los dos criterios mencionados.
  - b) Definir si el criterio de selección por el nivel más bajo de sintomatía seguida de alto rendimiento permite hacer más eficiente la selección clonal, al obtener progenies con incrementos en el rendimiento y reducción de la frecuencia de plantas con síntomas del complejo viral del ajo.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Genotipo, fenotipo, ambiente e interacción genotipo por ambiente

Dudley (1997) y Kang (1998) después de revisar análisis minuciosos sobre genética cuantitativa, definen los conceptos de genotipo, fenotipo, ambiente e interacción genotipo por ambiente de la siguiente manera:

El genotipo (G) se refiere a la estructura genética de un individuo. Es la secuencia de nucleótidos de ADN (un gen o genes) que son transmitidos de los progenitores a la descendencia y que controlan todas las características expresadas en el fenotipo. El genotipo puede ser un locus, un loci o genes múltiples. Puede caracterizarse como homocigoto, heterocigoto o hemicigoto (en situación haploide).

El fenotipo (F) se refiere a la apariencia física o características discernibles de un individuo que pueden observarse a un nivel físico, morfológico, anatómico, o bioquímico. Depende de la expresión de un genotipo en un ambiente, es afectado además por el ambiente mismo y por la interacción que ocurra entre estos dos. Lo anterior es expresado por la siguiente ecuación:

$$F=G+A+GA$$

El ambiente (A) puede definirse como todas los aspectos que rodean un organismo o grupo de organismos; esta compuesto tanto por factores bióticos como abióticos, influyendo sobre todas sus características cualitativas o cuantitativas. Cuando un factor está presente fuera del nivel óptimo, obliga a la planta a entrar a un estado de estrés, el cual es un factor ambiental adverso.

Las características cuantitativas muestran patrones de variación continua debido al control poligénico y/o factores ambientales. Debido a la considerable influencia ambiental, las características cuantitativas tienen relativamente baja heredabilidad; como se incrementa la influencia ambiental, se reduce la expresión del fenotipo, medida en la escala apropiada, como un indicador del genotipo.

Los factores abióticos del ambiente son atmosféricos y edáficos tales como nutrientes, elementos tóxicos y sales en la solución del suelo, además de gases en la atmósfera, luz de diferentes longitudes de onda, estimulación mecánica, gravedad, presión atmosférica, y otros. Los efectos de estos factores sobre las plantas son estudiados ampliamente.

Los factores bióticos son representados por plagas, patógenos, simbioses como microflora y microfauna, malezas y plantas cercanas del mismo genotipo, etc. Representan la principal limitante en la productividad de una planta y tienen un significado relevante en la interacción GE en plantas.

La interacción genotipo por ambiente (GE) esta presente cuando diferentes cultivares de un genotipo responden diferente en ambientes diversos, para que sea detectada mediante procedimientos estadísticos, deben evaluarse al menos dos genotipos (cultivares) en al menos dos ambientes. Esta agrupada en dos categorías: interacciones cruzadas o cualitativas e interacciones no cruzadas o cuantitativas.

La interacción cruzada se muestra por la intersección de las líneas, lo que representa que los rangos de los genotipos cambian en sentidos opuestos al representarlos en una gráfica; en la interacción no cruzada ocurren cambios en la magnitud de los genotipos pero no en el rango que ocupan, es decir, un genotipo se mantiene superior a otro en cualquiera de los ambientes, por ejemplo en la Figura 1.

Por ejemplo, en la Figura 1, considerando sólo los genotipos B y C, por su comportamiento en los dos ambientes, indican que no habría interacción GA, así, de no existir la interacción GA en un programa de mejora genética sería suficiente la prueba de las variedades en un solo ambiente para obtener resultados universales, incluso no sería siquiera necesario establecer repeticiones, por lo que el genotipo C sería recomendado en los dos ambientes.

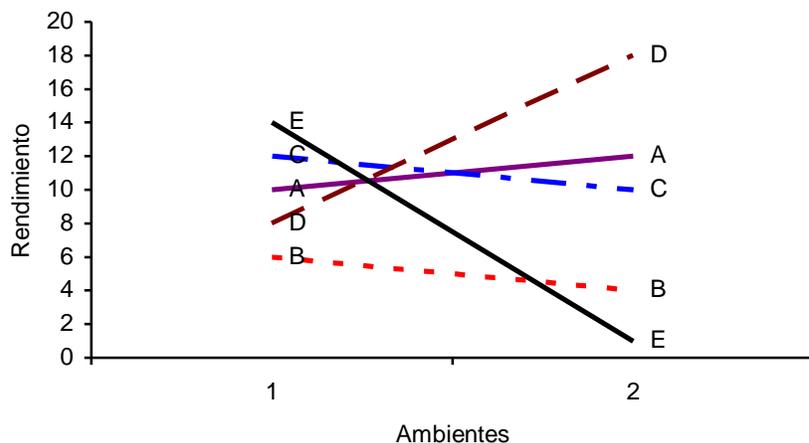


Figura 1. Representación de interacción cruzada y no cruzada de cinco genotipos (A, B, C, D y E) en dos ambientes (1 y 2).

Por el contrario, las variedades A, E y D cruzan sus líneas, lo que indica la presencia de la interacción GA, por ello en el ambiente 1 se recomendaría el genotipo E, seguido de los genotipos A y B, en tanto que en el ambiente 2 se recomendaría el genotipo D seguido de los genotipos E, y el A no se recomendaría por su bajo rendimiento. La presencia de la interacción GA, representa el factor contrario de mayor importancia en un programa de mejora genética, ya que reduce los verdaderos efectos de la selección al afectar negativamente la heredabilidad y por tanto la respuesta a la selección. En pruebas limitadas en estados de selección temprana causa deriva genética, ya que pueden desecharse genotipos no sobresalientes que fueron evaluados en un solo ambiente cuando tal vez tenían potencial en otras condiciones ambientales; realmente pocas variedades son seleccionadas para todos los ambientes de prueba.

Por lo anterior, un programa de mejora genética bien diseñado, deberá tener, entre otros, dos componentes principales: la metodología de mejoramiento y la evaluación permanente de variedades mejoradas, considerando en ambos casos los ambientes diversos en los cuales se pretenden establecer las variedades mejoradas que se generen.

Sin embargo, las pruebas multiambientales proporcionan información útil adicional, puede estimarse la interacción GA y los componentes de varianza y heredabilidad, por lo tanto la interacción GA no debe percibirse solamente como un problema. La medición de la interacción GA se ha utilizado para definir regiones geográficas con condiciones ambientales similares para identificar áreas en las cuales deben localizarse los sitios de prueba. La eliminación de la varianza de la interacción GA de los estimadores de varianza genética es una parte integral para estimar varianzas para predicción de ganancia por selección.

## **2.2. El control de la componente ambiental en el fenotipo**

De no existir la componente ambiental en el fenotipo se tendría que éste sería equivalente al genotipo ( $F = G$ ), lo cual en la realidad, para caracteres cuantitativos, esto no ocurre; por ello, en la mejora de plantas una base fundamental para la selección es tener el máximo control sobre la componente ambiental, de tal manera que todos los diseños conocidos para la evaluación de genotipos son destinados hacia tal objetivo de poder obtener información lo más confiable posible de que los valores fenotípicos de los individuos bajo selección se aproximen lo más posible a sus valores genotípicos, de los cuales se espera que su componente aditiva se transmita a su descendencia y se pueda lograr ganancia genética por selección.

## **2.3. Selección clonal para mejoramiento de plantas con propagación asexual**

La propagación asexual o agámica ofrece una serie de ventajas con respecto a la reproducción sexual; la más importante desde el punto de vista genético es la homogeneidad genotípica que se obtiene al propagar de un sólo individuo una gran cantidad de plantas (Hartman y Kester, 1988). Existen dos variantes generales para aplicar metodologías generales de selección en especies cultivadas con propagación asexual, las que se aplican en especies con capacidad de reproducción sexual y las utilizadas con especies de reproducción asexual obligada (Rodríguez, 1992).

### **2.3.1. Especies propagadas asexualmente y con capacidad de reproducción sexual**

Estas especies se propagan asexualmente a pesar de tener la capacidad de reproducción sexual para mantener la homogeneidad genotípica de todos sus individuos, los cuales se obtienen a partir de individuos seleccionados como sobresalientes. La reproducción sexual se utiliza para dos propósitos: a) utilizar la variabilidad genética que resulta del cruzamiento entre los individuos de una población, para luego seleccionar el o los mejores y proceder a su clonación, y b) formar híbridos (F1) en los cuales se conjuntan características favorables de individuos diferentes para posteriormente propagar el o los mejores de manera asexual. Sin embargo, a pesar de la mencionada homogeneidad genotípica, pueden originarse variaciones por presiones ejercidas por los ambientes biótico y abiótico en los que se desarrollan durante el transcurso de las generaciones de propagación asexual (Kang, 1998). Algunas especies mejoradas genéticamente bajo este esquema son la papa (*Solanum tuberosum*) y la caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) (Rodríguez, 1992).

### **2.3.2. Especies con propagación asexual obligada**

La pérdida de la capacidad de reproducción sexual en muchas especies de plantas ha causado la incapacidad de originar variabilidad genética al no poder cruzarse, además de no ocurrir la recombinación cromosómica durante la meiosis; se cree que la variabilidad existente se originó en alguna época en la cual dicha capacidad reproductiva existió. Sin embargo, se menciona que dichas especies han desarrollado la habilidad de responder a estímulos ambientales originando cambios genómicos con una frecuencia mayor a lo normal mediante mecanismos como la amplificación, la deleción, el rearreglo y la transposición del DNA. (Kang, 1998).

En especies cultivadas con reproducción asexual obligada la selección clonal se ha utilizado para aislar un nuevo clon producto de una mutación o alguna otra causa como las mencionadas, así como para mantener la pureza de clones comerciales (Rodríguez, 1992; Cubero, 1999).

Las especies cultivadas que por diversas razones han perdido la capacidad de reproducirse sexualmente han desarrollado características morfológicas o fisiológicas que les sirven como medio de reproducción. El pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) forma sus semillas mediante apomixis; algunas variedades de rosal (*Rosa spp*) han perdido la capacidad de formar semillas, pero desarrollaron la habilidad de originar raíces adventicias rápidamente una vez que tienen las condiciones ambientales óptimas. Muchas variedades modernas de éstas y de muchas otras especies cultivadas se han originado a partir de variaciones inducidas por diversos medios como la mutagénesis por irradiación o por agentes químicos, por la inducción artificial de poliploidía y por variación somaclonal, incluso fueron descubiertas casualmente variantes formadas por poliploidía o mutaciones naturales (Cubero, 1999).

De acuerdo con Cubero (1999), el ajo es una especie apomíctica que por el fenómeno de viviparidad ha perdido la capacidad de reproducción sexual al transformar sus órganos reproductores en vegetativos; en el ajo dichos órganos son llamados bulbillos aéreos y crecen a lo largo de un escapo floral que se desarrolla en algunas variedades clonales, en ocasiones pueden presentarse envueltas en el falso tallo, dichos bulbillos son diferentes a los que conforman el bulbo comercial del ajo pues éstos últimos son hojas modificadas.

#### **2.4. El cultivo del ajo**

Hong y Etoh (1996) ubican el centro de origen de diversidad del ajo (*Allium sativum* L) a la región de las montañas de Tien Shan en Asia Central. El ajo prácticamente es cultivado en todo el mundo, es muy utilizado como condimento en la comida latina y asiática y por sus propiedades medicinales. Los principales países productores de ajo son China, Corea, Tailandia, Egipto, India, Estados Unidos de América, Argentina, Italia, Turquía, Francia y Brasil (García, 1998).

En México se siembran aproximadamente 8,000 hectáreas de ajo (*Allium sativum* L) por año, con un rendimiento promedio de 8 ton/ha. Los principales estados productores son Aguascalientes, Guanajuato y Zacatecas; en Nuevo León se puede

encontrar en los municipios de Cadereyta, Allende, Montemorelos, General Terán y Aramberri (Centro de Estadística Agropecuaria, (2001).

## **2.5. Mejoramiento genético del ajo**

### **2.5.1 Mejoramiento genético del ajo en el mundo**

El ajo es una especie cultivada de propagación asexual obligada causada por androesterilidad (Hong y Etoh, 1996). Se propaga mediante los bulbillos que conforman el bulbo, la variabilidad genética existente pudo originarse durante el periodo en que tuvo capacidad de reproducción sexual, o bien, fue inducida por mutaciones espontáneas (Pathak, *et al*; 1996). Dicha incapacidad limita las posibilidades de mejora genética mediante metodologías tradicionales que se utilizan en especies que se multiplican asexualmente y que aún mantienen reproducción sexual.

La selección clonal es el principal método de mejora en ajo debido a que la esterilidad evita el mejoramiento mediante cruzamientos sexuales. Debido a que no hay poblaciones segregantes, es difícil monitorear las características obtenidas por selección clonal mediante el análisis genético común. El Asian Vegetable Research and Development Center (AVRDC) (1998) reporta polimorfismo de DNA, con lo que encontraron variabilidad genética entre clones de ajo seleccionados. Asumen además que las variaciones encontradas resultaron de mutaciones acumuladas durante mucho tiempo. Los resultados sugieren que la frecuencia de mutación puede ser una importante fuerza impulsora de variabilidad genética.

Se han encontrado variedades de ajo con capacidad de reproducción sexual con diferentes grados de androesterilidad en la región que rodea las montañas de Tien Shan en Asia Central, su centro de origen (Pooler y Simon, 1994; Hong y Etoh, 1996). Bozzini (1991) reporta una variedad con capacidad de formar semilla sexual y con la característica de ser tetraploide. Alloufa y Ferreira, (1999) reportaron la obtención de plantas *in vitro* con capacidad de floración. Sin embargo, hasta la fecha no es posible encontrar dicha semilla en forma comercial.

Se han publicado diversas propuestas para el mejoramiento de *Allium sativum*, como la poliploidización *in vitro* aplicando colchicina en bulbillos y explantes de inflorescencia (Maryakhina *et al.*; 1985). Marchesi (1985) sugiere el uso de somaclones, mutantes y material con diferentes tipos de ploidía como posibilidades de mejoramiento de ajo. Novak (1984) reporta variación somaclonal en plantas de ajo regeneradas *in vitro*. Tashiro *et al.* (1991) provocaron mutaciones en plantas tratadas con N-methyl-N-nitrosourea. Xi *et al.* (1993) reportan los efectos de los rayos gamma sobre células de meristemas apicales con la finalidad de inducir mutaciones. Etoh y Etoh (1984) estudiaron el híbrido entre *A. longicuspis* y *A. sativum* usando un clon fértil de éste último. Oshumi *et al.* (1993) obtuvieron un híbrido interespecífico derivado de *A. cepa* y *A. sativum* usando también un clon fértil de *A. sativum* como progenitor femenino.

### **2.5.2 Mejoramiento genético del ajo en México**

Son pocos los reportes sobre mejora genética del ajo en México. Heredia (1997) reporta avance por selección clonal a partir de las variedades clonales Chileno y Taiwán, de la misma manera Valadez y Macías, (1999) la obtuvieron con la variedad Taiwán. Anteriormente Pérez *et al.* (1996) generaron variabilidad genética en ajo mediante radiomutagénesis inducida y obtuvieron líneas tolerantes a la enfermedad pudrición blanca causada por el hongo *Sclerotinia cepivorum*. Montes y Martínez (1994) realizaron evaluaciones de clones de ajo, manteniendo actualmente un banco de germoplasma y producción comercial de clones sobresalientes.

### **2.6. Las enfermedades del ajo como parte de la componente ambiental del fenotipo**

Diversos reportes como los presentados por Heredia *et al.* (1997) y Pathak *et al.* (1997) sobre selección clonal en el cultivo del ajo, coinciden en aspectos como la disminución del número de bulbillos e incremento del peso y tamaño de los mismos; sin embargo, no consideran la sanidad de los materiales originales sobre todo en el aspecto de las enfermedades de origen viral, las cuales se han reportado en todas las zonas productoras de ajo del mundo así como sus efectos detrimentales sobre el

rendimiento y sus componentes. Conci (1997) menciona la combinación del saneamiento con el programa de selección clonal en la variedad de ajo “Rosado Paraguayo”, obteniendo incrementos significativos en la producción; sin embargo, mantienen un programa constante de sustitución de plantas enfermas por plantas sanas obtenidas *in vitro*, esto lo hacen cuando un clon presenta altos niveles de infección, debido a las reinfecciones ocurridas en el campo durante el transcurso del tiempo, lo cual conlleva una disminución en el rendimiento y la calidad.

En ajo se hace selección clonal para rendimiento y calidad aun cuando su reproducción es exclusivamente asexual, basándose en que los clones de esta especie a través del tiempo y después de propagarse durante muchos años, presentan variantes con características favorables que se han fijado en algunos individuos, por lo que es posible seleccionarlos para formar nuevos clones a partir de ellos (Heredia, *et al.* 1997; Pathak *et al.* 1996; AVRDC, 1998). Si las variaciones observadas son de origen ambiental la selección clonal puede conducir a una selección errónea de individuos supuestamente superiores, dado que los efectos del ambiente sobre el fenotipo de los individuos seleccionados no es considerado y por tanto no habrá progreso genético. La influencia del ambiente sobre el fenotipo esta dada tanto por factores abióticos como bióticos, entre los últimos están las enfermedades, las cuales pueden alterar el efecto de la selección cuando no son consideradas.

### **2.6.1. Virus que infectan el cultivo del ajo**

La baja sanidad de la “semilla” de ajo está dada por la presencia de virus los cuales se transmiten por los mismos bulbillos, estos virus se han estudiado en muchas partes del mundo desde el descubrimiento del onion yellow dwarf en cebolla (*Allium cepa* var *cepa*) en los Estados Unidos de América a principios de este siglo (Sherf y Macnab, 1993; Van Dijk, 1993; Koch y Salomon, 1994). Los bulbillos o dientes de ajo utilizados como semilla, acumulan diferentes virus que forman un complejo, sin posibilidades de liberarse de ellos en forma natural. Estos virus provocan un mosaico que se manifiesta en forma de estrías de color variable desde el verde claro hasta un amarillo intenso ocasionando en altos niveles de infección una disminución del

tamaño de la planta y del bulbo, y por lo tanto del rendimiento; esta sintomatología se denominada mosaico del ajo. La existencia de cultivares de ajo totalmente infectados por virus parece constituir la regla general de que en todos los cultivares en condición caigan en desuso en todas las áreas productoras de este cultivo en el mundo (Van Dijk, 1993; Conci, 1997).

Hervé, *et al.* (1998) evaluaron el efecto de infecciones individuales de OYDV y LYSV así como la mezcla de ambas, encontrando que tienen un efecto directo sobre el tamaño de la planta, los bulbos y los bulbillos, además de reducir el rendimiento y el tiempo a la madurez; reportaron que las infecciones mezcladas son las que más afectan estas características, pero que en forma individual el OYDV tiene mayor efecto detrimental que el LYSV sobre las mismas.

#### **2.6.1.1. Métodos de detección de virus**

Existen varios procedimientos para detección de virus vegetales entre los que están la sintomatía, el uso de plantas indicadoras, la observación de inclusiones virales, así como los basados en técnicas serológicas y en técnicas moléculares; éstos dos últimos son los más utilizados y seguros en la actualidad.

Los métodos basados en técnicas serológicas lo hacen utilizando la técnica ELISA<sup>1</sup> principalmente el Doble Anticuerpo en Sándwich – ELISA (DAS–ELISA); esta variante tiene características que favorecen su uso, es altamente sensible ya que puede detectar de 1 a 10 ng/ml de virus purificado, requiere cantidades mínimas de antisuero, es adaptado rápidamente para uso a gran escala, es cuantitativo y puede realizarse en 24 horas. Sin embargo, con esta técnica se llegan a presentar falsos positivos con muestras control; además, diferentes lotes de antisueros pueden ser una fuente de variación. El problema más grave es con virus que están a bajas concentraciones y no pueden ser detectados por la técnica (Rocha y Lee, 1991; Torrance, 1998).

---

<sup>1</sup> Por su nombre en ingles Enzyme-linked immunosorbent assay.

Las técnicas moleculares se basan en la reacción en cadena de la polimerasa, que es una técnica usada para amplificar el número de copias de una región específica de ADN, produciendo suficiente para ser estudiado en detalle. Para usar la PCR es necesario conocer las secuencias exactas que flanquean los extremos de una región de interés en el ADN (puede ser un gen o alguna secuencia) (Brown, 1995).

La detección mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR<sup>2</sup>) ha mejorado la calidad de los resultados al ser mucho más sensible y específica, además de haberse desarrollado diversas variantes de la técnica permitiendo ampliar el panorama para su uso y la detección de diversos agentes causales de enfermedades, entre estos el complejo viral del ajo (Salomon, 1996; Tsuneyushi y Sumi, 1996; Conci, 1997; Vlugt, 1999).

#### **2.6.1.2. Métodos de control de virus**

Mediante técnicas de saneamiento como la termoterapia combinada con la extracción de meristemas y su posterior establecimiento *in vitro*, ha sido posible la obtención de plantas libres de virus, las cuales presentan hojas más largas, diámetro de bulbo mayor y peso de los bulbillos superior al de las plantas infectadas, obteniéndose incrementos de los rendimientos que varían entre 30 y 70%. (Ravnikar *et al.* 1994; Walkey y Antill, 1989; Conci, 1991; Koch y Salomon, 1994).

#### **2.6.1.3. La selección clonal y el sesgo ambiental**

La selección clonal en relación con los virus vegetales en diversos cultivos, ha sido reportada por Leitao *et al.* (1996) en olivo, Potter (1993) en trébol blanco, Korosec (1990), Lemoine y Michelesi (1994) Peressini *et al.* (1991) y Pospisilova (1992) en vid. En ajo, Messiaen *et al.* (1994) en Francia y Conci (1997) en Argentina han demostrado las bondades de aplicar la selección en material sano. El mejoramiento del ajo en México se ha realizado explotando la variación dentro y entre clones criollos e introducidos en el INIFAP<sup>3</sup> en Celaya, Guanajuato (Heredia, *et al.* 1991) y

---

<sup>2</sup> Por su nombre en inglés polimerase chain reaction.

<sup>3</sup> INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

en la FAUANL<sup>4</sup> en Marín N. L., (Montes, 1994); sin embargo, es muy probable que los materiales que han sido seleccionados por estos autores tengan un rendimiento reducido, que no se expresa totalmente por la presencia de infecciones virales.

Investigadores de diversos países han desarrollado programas de mejoramiento para este cultivo, seleccionando a través de características fenotípicas para mayor rendimiento y calidad. Para la planeación de los programas, se han basado principalmente en las relaciones que existen entre el rendimiento y sus componentes, así como sus características de calidad, tales como bulbos con pocos bulbillos y de tamaño grande (Pathak, et al; 1996; Heredia, 1997a; Muñoz, 1997; López, et al; 1997; AVRDC, 1998; Valadez y Macías, 1999).

## **2.7. Hipótesis**

La selección previa por asintomatía de mosaico para identificar plantas con baja infección viral, seguida de la selección por peso del bulbo y sus componentes, permitirá mayor respuesta a la selección que cuando se efectúa en forma convencional sólo por rendimiento sin considerar previamente la presencia del mosaico viral en las plantas de la población bajo mejora.

---

<sup>4</sup> FAUANL: Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Poblaciones iniciales y ubicación del predio

La población inicial se tomó de un lote de producción de semilla agámica de ajo, establecido el 17 de octubre de 1998 durante el ciclo otoño - invierno 97/98 para el Proyecto de Producción de Semilla de Hortalizas, en el Campo Experimental de la FAUANL ubicada en Marín Nuevo León, México. La latitud es de 375 msnm y se localiza en las coordenadas 25° 53' de latitud norte y 100° 03' de longitud oeste.

Para el presente trabajo fueron escogidas dos variedades clonales, una introducida que es Taiwán y otra considerada un criollo regional llamada Aramberri.

El arreglo de la parcela se realizó estableciendo surcos de 1 m de ancho, sembrando a una distancia entre plantas de entre 5 y 10 cm a doble hilera estableciendo uno o dos surcos por variedad dependiendo de la disponibilidad de semilla. El croquis de la distribución de las variedades clonales es el siguiente:

San Luis, Chileno, Napuri y Massone	→N
Taiwán Terán	
Taiwán Terán	
Taiwán*	
Taiwán*	
Taiwán Cadereyta	
Cadereyta	
Vikingo II	
Celaya	
Vikingo I	
Aramberri*	

\*Variedades clonales utilizadas para tomar la muestra

#### 3.2. Categorización de la severidad de síntomas

Cuando las plantas se encontraban en pleno crecimiento vegetativo, se marcaron 100 plantas de las variedades clonales Taiwán y Aramberri. Las 100 plantas de cada

variedad se dividieron en subgrupos de 25 plantas, que correspondieron a cuatro categorías de severidad de expresión de síntomas de mosaico: 1: Sin mosaico, 2: Mosaico en algunas hojas, 3: Mosaico en todas las hojas y 4: Mosaico en toda la planta.

### **3.3. Variables medidas y análisis estadístico**

Después de cosechar las plantas se separó el bulbo de las hojas verdaderas, posteriormente utilizando un vernier se midieron en centímetros los diámetros longitudinal y transversal del bulbo, luego se pesó el bulbo en gramos con una balanza analítica y se contó el número de bulbillos diez días antes de establecer el siguiente ciclo agrícola, con la finalidad de evitar la deshidratación de la semilla. El peso del bulbo se dividió entre el número de bulbillos para generar otra variable a la que se llamó índice de peso promedio por bulbillo.

Con los datos obtenidos de las variables medidas se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias por el método de Diferencia Mínima Significativa (DMS), bajo un diseño completamente al azar con 25 repeticiones, en el cual se tuvieron los dos clones y las cuatro categorías de severidad de expresión de síntomas de mosaico como fuentes de variación. Para realizar los análisis estadísticos se utilizó el software SPSS.

### **3.4. Ciclo de selección**

Se consideraron como población inicial las 100 plantas categorizadas por la severidad de expresión de síntomas de mosaico mencionadas anteriormente. Para hacer la selección de los materiales sobresalientes se utilizaron dos criterios; en el primero se consideró solamente el alto rendimiento es decir, se ordenaron los valores de peso del bulbo en gramos de mayor a menor sin considerar las categorías de severidad de expresión de síntomas de mosaico de las plantas; en el segundo criterio se considero primero la ausencia de síntomas del complejo viral para luego seleccionar dentro de estas las de mayor peso del bulbo. Se aplicaron tres presiones de selección: 20%, 10% y 5%.

En ajo es prácticamente imposible conservar una muestra de la población que se mejora de un año a otro, esto es debido a que los bulbillos, aun en refrigeración, se brotan. En una población de ajo bajo selección es fácil en un mismo ciclo agrícola calcular el diferencial de selección; sin embargo, por lo anteriormente mencionado, el cálculo de la respuesta a la selección mediante la diferencia entre la media de la progenie de las plantas seleccionadas respecto a la media de la población original será sesgada por el ambiente debido a que la diferencia entre el año en que se sembró la población original y el año en que se sembraron las progenes de las plantas seleccionadas.

Para salvar esta dificultad, en el trabajo de selección clonal deberá representarse toda la población, esto es, el 100% de la progenie, para el caso, se sembró nuevamente la progenie de todas las planta de la población original, seleccionadas y no seleccionadas, así se calculó la respuesta a la selección sin el sesgo de un año a otro se podrá calcular mediante la identificación de las progenes de cada planta seleccionada para comparar su promedio respecto al promedio de la población total sembrada considerada como población original.

En el cálculo de la heredabilidad como el cociente de la respuesta sobre el diferencial, es imposible evitar el sesgo que resulta dado que la respuesta se obtiene en el segundo año y el diferencial en el año previo, por lo que este valor de heredabilidad será subestimado o sobreestimado según sea el efecto del ambiente sobre el rendimiento en cada año.

Para representar la progenie de cada una de las 100 plantas categorizadas por la severidad de expresión de síntomas de mosaico del ciclo otoño - invierno 97/98, se sembraron seis bulbillos de diferentes tamaños el 15 de noviembre de 1998, durante el ciclo otoño-invierno 98/99 en charolas de unicel, colocando un bulbillito por cada celda para asegurar la germinación de la semilla. Posteriormente el 1° de diciembre las plántulas germinadas se transplantaron al suelo en bancales de aclimatación de vitroplantas en Marín, Nuevo León.

Al igual que en el ciclo otoño - invierno 97/98, cuando las plantas desarrolladas en 98/99 se encontraban en pleno crecimiento vegetativo, fueron clasificadas también por categoría de severidad de expresión de síntomas considerando las categorías descritas anteriormente. Después de cosechadas cada una de las plantas de la progenie de cada clon, se les midieron a los bulbos las mismas variables.

### **3.5. Parámetros de selección**

El diferencial de selección (D) se calculó restando de la media de las plantas seleccionadas ( $X_{pls}$ ) la media de la población original ( $X_{po}$ ) en el ciclo 97/98. La respuesta a la selección (R) se obtuvo restando a la media de la progenie de las plantas seleccionadas ( $X_{prpls}$ ), la media de la progenie total de la población original ( $X_{prtpo}$ ) en el ciclo 98/99. Los valores de D y R se expresaron primero en gramos y luego en porcentaje para disminuir el efecto de los ciclos de cultivo sobre las medias de rendimiento. La heredabilidad realizada ( $H^2$ ) se calculó dividiendo el valor en gramos de R entre el valor en gramos de D; los cálculos se hicieron para ambos criterios de selección y se consideraron las tres presiones de selección aplicadas.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Variación de las poblaciones originales

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro 1) para las variables diámetro transversal del bulbo, peso del bulbo, número de bulbillos e índice de peso promedio por bulbillos presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ ) entre clones, entre las categorías de severidad de expresión de síntomas de mosaico y en la interacción clones por categorías. En cuanto a la variable diámetro longitudinal del bulbo, los resultados del análisis estadístico sólo mostraron diferencias significativas entre las categorías de expresión de síntomas de mosaico.

CUADRO 1. Análisis de varianza para las variables diámetro longitudinal del bulbo, diámetro transversal del bulbo, peso del bulbo, número de bulbillos e índice de peso promedio por bulbillo en dos clones de ajo con diferentes categorías de expresión de síntomas de mosaico.

Variable analizada	Fuente de variación	G. L. <sup>1</sup>	Cuadrado medio	Valor de F	P>F
<b>Diámetro longitudinal del bulbo</b>	Clon	1	0.446	1.27	0.2602 <sup>ns</sup>
	Categoría	3	24.112	68.74	0.0001 <sup>**</sup>
	Clon * Categoría	3	0.818	2.33	0.0754 <sup>ns</sup>
	Error	190	0.351		
<b>Diámetro transversal del bulbo</b>	Clon	1	21.338	67.40	0.0001 <sup>**</sup>
	Categoría	3	17.910	56.57	0.0001 <sup>**</sup>
	Clon * Categoría	3	0.897	2.83	0.0396 <sup>*</sup>
	Error	190	0.316		
<b>Peso del bulbo</b>	Clon	1	1005.0768	5.16	0.0243 <sup>*</sup>
	Categoría	3	14242.941	73.06	0.0001 <sup>**</sup>
	Clon * Categoría	3	780.076	4.000	0.0086 <sup>**</sup>
	Error	190	194.938		
<b>Número de bulbillos</b>	Clon	1	14136.005	437.90	0.0001 <sup>**</sup>
	Categoría	3	868.523	26.91	0.0001 <sup>**</sup>
	Clon * Categoría	3	164.167	5.09	0.0021 <sup>**</sup>
	Error	190	32.281		
<b>Índice de peso promedio por bulbillo</b>	Clon	1	100.750	335.76	0.0001 <sup>**</sup>
	Categoría	3	12.967	43.22	0.0001 <sup>**</sup>
	Clon * Categoría	3	4.013	13.37	0.0001 <sup>**</sup>
	Error	190	0.300		

<sup>1</sup> = Grados de libertad. <sup>ns</sup> = No significativa ( $P < 0.05$ ). \* = Significativa ( $P < 0.05$ ). \*\* = Altamente significativa ( $P < 0.01$ )

#### 4.1.1. Comparación entre clones

Las pruebas de comparación de medias por el método de Diferencia Mínima Significativa (DMS) ( $P < 0.05$ ) en las variables diámetro longitudinal del bulbo, diámetro transversal del bulbo, peso del bulbo e índice de peso promedio por bulbillo, indican que el clon Taiwán superó estadísticamente al clon Aramberri, sin embargo ocurre lo contrario para la variable número de bulbillos (Cuadro 2).

CUADRO 2. Comparación de medias para las variables medidas en dos clones de ajo con diferentes categorías de expresión de síntomas de mosaico.

Clon	Diámetro longitudinal del bulbo	Diámetro transversal del bulbo	Peso del Bulbo	Número de bulbillos	Índice de peso promedio por bulbillo
Taiwán	4.8912 a*	5.2606 a	45.986 a	17.0606 b	2.6128 a
Aramberri	4.7969 a	4.6040 b	41.480 b	33.9596 a	1.1861 b
DMS	0.1601	0.1578	3.9144	1.5929	0.1536

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ( $P < 0.05$ ).

#### 4.1.2. Comparación entre categorías de niveles de severidad de expresión de síntomas de mosaico independiente a los clones

La comparación de medias mediante DMS ( $P < 0.05$ ) para las variables diámetro longitudinal del bulbo, diámetro transversal del bulbo, peso del bulbo, número de bulbillos e índice peso promedio por bulbillo, indicó que las cuatro categorías de severidad de expresión en los síntomas de mosaico, fueron estadísticamente diferentes entre sí, obteniéndose el mayor valor promedio en el grupo de menor severidad (categoría sin síntomas de mosaico), reduciéndose significativamente estos valores conforme se incrementó el grado de la misma (Cuadro 3).

CUADRO 3. Comparación de medias para las variables diámetro longitudinal del bulbo, diámetro transversal del bulbo, peso del bulbo, número de bulbillos e índice de peso promedio por bulbillo en cuatro categorías de expresión de síntomas de mosaico en dos clones de ajo.

<b>Categoría de expresión de síntomas</b>	<b>Diámetro longitudinal del bulbo</b>	<b>Diámetro transversal del bulbo</b>	<b>Peso del bulbo</b>	<b>Número de bulbillos</b>	<b>Índice peso promedio por bulbillo</b>
<b>1</b>	5.548 a*	5.590 a	62.294 a	29.880 a	2.470 a
<b>2</b>	5.229 b	5.194 b	52.275 b	27.290 b	2.155 b
<b>3</b>	4.614 c	4.735 c	35.803 c	24.685 c	1.631 c
<b>4</b>	3.960 d	4.187 d	24.035 d	19.999 d	1.330 d
<b>DMS</b>	0.235	0.223	5.536	2.253	0.217

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ( $P < 0.05$ ).

1 Sin mosaico. 2 Mosaico en algunas hojas. 3 Mosaico en todas las hojas. 4 Mosaico en toda la planta.

Las diferencias entre clones en las características medidas del bulbo, se explican por las diferencias genéticas propias entre los mismos, las cuales podrían determinar también la susceptibilidad de los clones a las infecciones por virus. Las diferencias dentro de cada clon, están en función de las categorías de severidad de expresión de mosaico, éstas concuerdan con los resultados obtenidos por Walkey y Antill (1989), Koch y Salomon (1994), Messiaen (1995) y Conci (1997), quienes reportan la superioridad de plantas libres de virus respecto a las plantas enfermas; la sintomatología observada en este trabajo es igual a la reportada por estos mismos autores en las variedades clonales con las cuales trabajaron. Takaichi, *et al.* (1998) utilizaron un sistema de clasificación visual de severidad de expresión de síntomas similar al del presente trabajo.

La variación en la severidad de expresión de síntomas dentro de un mismo clon podría depender de otros factores, como la procedencia de la semilla con la cual se inició el lote de producción, el número de generaciones transcurridas después de la primera infección, y tipo o tipos de virus que hospedan los bulbillos de propagación. Zaag, (1987) y Conci (1997) mencionan que una planta enferma dará origen a plantas hijas enfermas y con el avance de las generaciones de propagación, sin realizar ningún proceso de saneamiento, los efectos negativos en el rendimiento y sus componentes serán mayores; por tanto, al propagar plantas que manifestaron

diferente severidad de síntomas, la progenie de todas éstas también expresará diferentes grados de severidad.

#### 4.1.3. Comparación entre categorías de expresión de síntomas de mosaico dentro de clones

Como se mostró anteriormente en el Cuadro 1, la interacción clon por categoría de severidad de expresión de síntomas de mosaico fue significativa para todas las variables analizadas, con excepción del diámetro longitudinal del bulbo; las pruebas de comparación de medias por DMS para las variables diámetro longitudinal, diámetro transversal, peso del bulbo, número de bulbillos e índice de peso promedio por bulbillo, se presentan en los Cuadros 4, 5, 6, 7 y 8 respectivamente.

CUADRO 4. Prueba de comparación de medias para la interacción clon \* categoría de expresión de síntomas de mosaico en la variable diámetro longitudinal.

Categoría	Clon Taiwán	Clon Aramberri
1. Sin mosaico	5.688 <sup>A*</sup> <sup>a*</sup>	5.410 <sup>A</sup> <sup>a</sup>
2. Mosaico en algunas hojas	5.371 <sup>B</sup> <sup>a</sup>	0.751 <sup>B</sup> <sup>a</sup>
3. Mosaico en todas las hojas	4.484 <sup>C</sup> <sup>a</sup>	4.746 <sup>C</sup> <sup>a</sup>
4. Mosaico en toda la planta	4.025 <sup>D</sup> <sup>a</sup>	3.895 <sup>D</sup> <sup>a</sup>
DMS	0.330	0.330

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ( $p < 0.05$ ). Las letras mayúsculas en subíndice indican los grupos estadísticos formados por las categorías dentro de cada clon, y las minúsculas en superíndice indican los grupos estadísticos formados por los clones dentro de cada categoría.

CUADRO 5. Prueba de comparación de medias para la interacción clon por categoría de expresión de síntomas de mosaico en la variable diámetro transversal.

Categoría	Clon Taiwán	Clon Aramberri
1. Sin mosaico	6.078 <sup>A</sup> <sup>a</sup>	5.104 <sup>A</sup> <sup>b</sup>
2. Mosaico en algunas hojas	5.566 <sup>B</sup> <sup>a</sup>	4.823 <sup>B</sup> <sup>b</sup>
3. Mosaico en todas las hojas	4.900 <sup>C</sup> <sup>a</sup>	4.571 <sup>C</sup> <sup>b</sup>
4. Mosaico en toda la planta	4.496 <sup>D</sup> <sup>a</sup>	3.880 <sup>D</sup> <sup>b</sup>
DMS	0.310	0.310

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ( $p < 0.05$ ). Las letras mayúsculas en subíndice indican los grupos estadísticos formados por las categorías dentro de cada clon, y las minúsculas en superíndice indican los grupos estadísticos formados por los clones dentro de cada categoría.

CUADRO 6. Prueba de comparación de medias para la interacción clon por categoría de expresión de síntomas de mosaico en la variable peso del bulbo.

Categoría	Clon Taiwán	Clon Aramberri
1. Sin mosaico	69.036 <sub>A</sub> a	55.552 <sub>A</sub> b
2. Mosaico en algunas hojas	56.500 <sub>B</sub> a	48.050 <sub>B</sub> b
3. Mosaico en todas las hojas	33.420 <sub>C</sub> a	38.187 <sub>C</sub> b
4. Mosaico en toda la planta	25.075 <sub>D</sub> a	22.996 <sub>D</sub> b
DMS	7.740	7.740

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ( $p < 0.05$ ). Las letras mayúsculas en subíndice indican los grupos estadísticos formados por las categorías dentro de cada clon, y las minúsculas en superíndice indican los grupos estadísticos formados por los clones dentro de cada categoría.

CUADRO 7. Prueba de comparación de medias para la interacción clon por categoría de expresión de síntomas de mosaico en la variable número de bulbillos.

Categoría	Clon Taiwán	Clon Aramberri
1. Sin mosaico	19.600 <sub>A</sub> b	40.160 <sub>A</sub> a
2. Mosaico en algunas hojas	19.083 <sub>B</sub> b	35.500 <sub>B</sub> a
3. Mosaico en todas las hojas	15.538 <sub>C</sub> b	33.833 <sub>C</sub> a
4. Mosaico en toda la planta	14.041 <sub>D</sub> b	25.958 <sub>D</sub> a
DMS	3.150	3.150

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ( $p < 0.05$ ). Las letras mayúsculas en subíndice indican los grupos estadísticos formados por las categorías dentro de cada clon, y las minúsculas en superíndice indican los grupos estadísticos formados por los clones dentro de cada categoría.

CUADRO 8. Prueba de comparación de medias para la interacción clon por categoría de expresión de síntomas de mosaico en la variable índice de peso promedio por bulbillo.

Categoría	Clon Taiwán	Clon Aramberri
1. Sin mosaico	3.542 <sub>A</sub> a	1.398 <sub>A</sub> b
2. Mosaico en algunas hojas	2.975 <sub>B</sub> a	1.337 <sub>B</sub> b
3. Mosaico en todas las hojas	2.130 <sub>C</sub> a	1.132 <sub>C</sub> b
4. Mosaico en toda la planta	1.804 <sub>D</sub> a	0.856 <sub>D</sub> b
DMS	0.300	0.300

\*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ( $p < 0.05$ ). Las letras mayúsculas en subíndice indican los grupos estadísticos formados por las categorías dentro de cada clon, y las minúsculas en superíndice indican los grupos estadísticos formados por los clones dentro de cada categoría.

La no interacción para la variable diámetro longitudinal del bulbo, se debe a que no hubo diferencia significativa entre clones aunque si existiera para categorías de expresión de síntomas dentro de clones. Para el resto de las variables medidas, la interacción clon por categoría de severidad de expresión de síntomas de mosaico arrojó diferencias estadísticamente significativas, debido a que clones y categorías de severidad de expresión de síntomas presentaron diferencias significativas cada

una por separado, esto explica que la variabilidad encontrada en las poblaciones originales se debió tanto a las diferencias genéticas entre ambos clones así como a las diferentes niveles de severidad encontrados dentro de cada clon.

En todas las variables analizadas el clon Taiwán superó al clon Aramberri, excepto en número de bulbillos, la cual es una característica de mejor calidad cuanto menor sea la cantidad de éstos los que conforman el bulbo (Heredia, 1997) por lo tanto, Taiwán supera en calidad por menor número de bulbillos a Aramberri

El clon Taiwán supera en rendimiento y calidad al clon Aramberri, éste último es un criollo regional, adaptado a las condiciones ambientales de la zona donde se cultiva sin embargo, es adecuado para someterlo a un proceso de selección, mientras que Taiwán es un clon introducido sobre el cual ya se ha realizado mejoramiento genético, inclusive la intensidad con que expresa el mosaico es más tenue que Aramberri lo que pudiera afectar de manera diferente la capacidad fotosintética de ambas variedades clonales.

López, et al. (1997) reportaron diferencias estadísticas significativas entre clones para el diámetro transversal del bulbo, el peso del bulbo y el número de bulbillos por bulbo; Valadéz y Macías (1999) observaron diferencias significativas para estas mismas características en grupos sobresalientes de un clon de ajo.

## **4.2. Ciclo de selección clonal**

### **4.2.1. Clon Taiwán**

En los Cuadros 9 y 10 se presentan los valores de rendimiento, media y desviación estándar de la población original y de las plantas seleccionadas al considerar ambos criterios de selección y las tres presiones de selección del ciclo 97/98 en lo que se refiere a la variedad clonal Taiwán; en los Cuadros 11 y 12 se muestran los mismos valores para la progenie de la población original y para la progenie de las plantas seleccionadas en el ciclo 98/99 para la misma variedad clonal. Las diferencias en las medias de rendimiento obtenidas en cada ciclo, se debieron al efecto que ejerció sobre el rendimiento en el ciclo 98/99 el ambiente en este ciclo. En el ciclo 97/98, se

aprecia una tendencia a incrementarse la media de rendimiento y la desviación estándar de las plantas seleccionadas conforme aumenta la presión de selección, en el ciclo 98/99 dichos valores se comportan de manera similar al incrementar la presión de selección.

CUADRO 9. Valores de rendimiento total, media de rendimiento y desviación estándar de la población total y de las plantas seleccionadas bajo el criterio de selección sólo por rendimiento bajo tres presiones de selección en la variedad Taiwán, ciclo 97/98, Marín N. L.

Presiones de selección (p)	Población original	Criterio de selección sólo por rendimiento		
		20%	10%	5%
Rendimiento (gr)	4604.9	1518.3	832.50	454.3
Media (gr)	46.05	75.915	83.350	90.86
Desviación estándar	22.913	13.222	15.552	19.851

CUADRO 10. Valores de rendimiento total, media de rendimiento y desviación estándar de la población total y de las plantas seleccionadas bajo el criterio de selección por sintomatía y por rendimiento bajo tres presiones de selección en la variedad Taiwán, ciclo 97/98, Marín N. L.

Presiones de selección (p)	Población original	Criterio de selección por sintomatía y por rendimiento		
		20%	10%	5%
Rendimiento total (gr)	4604.9	1372.8	797.2	442.8
Media (gr)	46.05	68.640	79.72	88.56
Desviación estándar	22.913	16.897	17.12	21.51

CUADRO 11. Valores de rendimiento total, media de rendimiento y desviación estándar, de la progenie total de la población original y de la progenie de las plantas seleccionadas bajo el criterio de selección sólo por rendimiento bajo tres presiones de selección en la variedad Taiwán, ciclo 98/99, Marín N. L.

Presiones de selección (p)	Progenie total	Criterio de selección sólo por rendimiento		
		20%	10%	5%
<b>Rendimiento total (gr)</b>	8538.8	2644.3	1160.2	606.1
<b>Media (gr)</b>	20.625	26.443	24.685	23.311
<b>Desviación estándar</b>	417.76	11.377	12.329	12.498

CUADRO 12. Valores de rendimiento total, media de rendimiento y desviación estándar, de la progenie total de la población original y de la progenie de las plantas seleccionadas bajo el criterio de selección por sintomatía y por rendimiento bajo tres presiones de selección en la variedad Taiwán, ciclo 98/99, Marín N. L.

Presiones de selección (p)	Progenie total	Criterio de selección por sintomatía y por rendimiento		
		20%	10%	5%
Rendimiento total (gr)	8538.8	2596.9	1399.7	639.70
Media (gr)	20.625	26.772	27.994	26.654
Desviación estándar	417.76	11.481	13.341	14.530

Por la dificultad de conservar bulbillos sin que se broten, el cálculo de la respuesta a la selección mediante la diferencia entre la media de la progenie de las plantas seleccionadas, respecto a la media de la población original será sesgado por efecto del ambiente, debido a que la población original y las progenes de las plantas seleccionadas se sembraron en años diferentes.

Bajo la consideración anterior, en los Cuadros 13 y 14 se presentan los valores del diferencial de selección, la respuesta a la selección y la heredabilidad realizada para las presiones de selección de 20, 10 y 5% bajo ambos criterios de selección. El valor del diferencial de selección se incrementa conforme aumenta la presión de selección, es decir, el valor de  $p$  disminuye; sin embargo, sus valores son siempre superiores en la selección bajo el criterio de selección sólo por rendimiento respecto al criterio de selección por asintomatía y rendimiento.

Los valores de la respuesta a la selección disminuyen también al incrementar la presión de selección, pero sólo bajo el criterio de selección sólo por rendimiento; bajo el criterio de selección por asintomatía y rendimiento no hay una tendencia constante, ocurriendo lo mismo con los valores de la heredabilidad, los cuales bajo este segundo criterio bajan notablemente con una presión del 5%. Este comportamiento de la respuesta a la selección y la heredabilidad pudiera ser un indicador de que la presión de selección óptima bajo el criterio de selección por sintomatología y rendimiento es del 10%.

CUADRO 13. Valores de diferencial de selección, respuesta a la selección y heredabilidad realizada para rendimiento en el clon Taiwán, después de un ciclo de selección solo por alto rendimiento.

	Ciclo 97/98			Ciclo 98/99			
	X <sub>po</sub> = 46.05	D (g)	D (%)	X <sub>prtpo</sub> = 20.63	R (g)	R (%)	H <sup>2</sup>
Xpls 20%	75.91	29.86	64.84	Xprpls (20%)	26.44	5.81	28.16
Xpls 10%	83.25	37.10	80.78	Xprpls (10%)	24.68	4.05	19.63
Xpls 5%	90.86	44.81	97.30	Xprpls (5%)	23.31	2.68	12.99
Promedio	83.34	37.29	80.90	Promedio	24.81	4.18	20.26

X<sub>po</sub> = media de la población original, Xpls, Media de las plantas seleccionadas, D(g) = diferencial de selección en gramos, D(%) = diferencial de selección en porcentaje, X<sub>prtpo</sub> = media de la progenie total de la población original, Xprpls = Media de la progenie de las plantas seleccionadas.

1)  $D(g) = X_{pls} - X_{po}$ ,  $D(\%) = (D(g)/X_{po}) \cdot 100$ ; 2)  $R(g) = X_{prpls} - X_{prtpo}$ ;  $R(\%) = (R(g)/X_{prtpo}) \cdot 100$ ; 3)  $H = R(g)/D(g)$  (subestimada).

CUADRO 14. Valores de diferencial de selección, respuesta a la selección y heredabilidad realizada para rendimiento en el clon Taiwán, después de un ciclo de selección de plantas asintomáticas seguido por alto rendimiento.

	Ciclo 97/98			Ciclo 98/99			
	X <sub>po</sub> = 46.05	<sup>1</sup> D (g)	D (%)	X <sub>prtpo</sub> = 20.63	<sup>2</sup> R (g)	R (%)	<sup>3</sup> H <sup>2</sup> (g)
Xpls 20%	68.64	22.59	49.05	Xprpls (20%)	26.77	6.14	29.76
Xpls 10%	72.46	26.41	57.13	Xprpls (10%)	27.99	7.36	35.67
Xpls 5%	87.96	41.91	91.00	Xprpls (5%)	26.65	6.02	29.18
Promedio	76.35	30.30	65.71	Promedio	27.14	6.51	31.54

X<sub>po</sub> = media de la población original, Xpls, Media de las plantas seleccionadas, D(g) = diferencial de selección en gramos, D(%) = diferencial de selección en porcentaje, X<sub>prtpo</sub> = media de la progenie total de la población original, Xprpls = Media de la progenie de las plantas seleccionadas

1)  $D(g) = X_{pls} - X_{po}$ ,  $D(\%) = (D(g)/X_{po}) \cdot 100$ ; 2)  $R(g) = X_{prpls} - X_{prtpo}$ ;  $R(\%) = (R(g)/X_{prtpo}) \cdot 100$ ; 3)  $H = R(g)/D(g)$  (subestimada).

Los valores del diferencial a distintas presiones de selección son siempre superiores bajo el criterio de selección sólo por alto rendimiento; sin embargo, dicho diferencial tiene una componente genética y una componente ambiental, la reducción en los valores de dicho diferencial bajo el criterio de selección por asintomatía y rendimiento se pueden deber a que la selección únicamente de plantas asintomáticas no implica siempre los rendimiento más altos, ya que algunas plantas a pesar de expresar síntomas superaban en rendimiento a algunas plantas asintomáticas.

En el Cuadro 15, se aprecia que el valor de la heredabilidad fue ligeramente menor bajo el criterio de selección por asintomatía seguida de alto rendimiento que bajo selección sólo por alto rendimiento.

En el Cuadro 16 se observa que la mayor respuesta a la selección clonal positiva, considerando primero la asintomatía de las plantas y luego el alto rendimiento, puede explicarse por la menor frecuencia de plantas con síntomas que aparecen en la progenie de las plantas seleccionadas, respecto al criterio de seleccionar únicamente por rendimiento.

CUADRO 15. Comparación de criterios de selección clonal positiva bajo tres presiones de selección (20%, 10% y 5%) en la variedad Taiwán.

Indicador	Criterio de selección:		Diferencia a favor del criterio:	
	Sólo por rendimiento	Por asintomatía y rendimiento	Sólo por rendimiento	Por asintomatía y rendimiento
D (g)	37.29	30.30	6.99	-6.99
D (%)	80.90	65.71	15.19	-15.19
R (g)	4.18	6.51	-2.33	2.33
R (%)	20.26	31.54	-11.28	11.28
H <sup>2</sup>	0.27	0.23	0.04	-0.04

CUADRO 16. Porcentaje de plantas con síntomas de virosis en las plantas seleccionadas (ciclo 97/98) y su progenie (ciclo 98/99) bajo dos criterios y tres presiones de selección en la variedad Taiwán.

p (%)	% de plantas seleccionadas con síntomas en el ciclo 97/98		% de plantas de la progenie con síntomas en el ciclo 98/99		Diferencia entre criterios
	Sólo por rendimiento	Por asintomatía y rendimiento	Sólo por rendimiento	Por asintomatía y rendimiento	
	20	35	0	38.4	
10	40	0	55.2	26.2	-29.0
5	20	0	52.9	29.4	-23.5
$\chi$	31.6	0	48.5	32.8	-16.0

Como se puede apreciar en el Cuadro 16 es evidente que en las plantas de la población original seleccionadas bajo el criterio de selección sólo por alto rendimiento, independientemente de la presión de selección, el porcentaje de plantas con síntomas es en promedio mayor que al aplicar el criterio de selección de asintomatía y alto rendimiento, esto debido a que en este segundo criterio no se incluyen entre las plantas seleccionadas ninguna planta con síntomas de virosis. Sin embargo, en la progenie de las plantas seleccionadas cuando se hace la selección sólo por rendimiento, el porcentaje de plantas que presentan síntomas es muy alto y

tiende a incrementarse respecto al ciclo anterior, mientras que el porcentaje de plantas con síntomas tiende a disminuir bajo el criterio de selección de asintomatía y alto rendimiento con las presiones de selección mas fuerte de 10 y 5%. Esta tendencia concuerda con Messiaen *et al* (1994) al realizar selección clonal visual de bulbos libres de síntomas de mosaico durante varios ciclos hasta obtener dos nuevas variedades clonales asintomáticas y libres de virus. Es evidente que la selección por asintomatía y rendimiento reduce la frecuencia de plantas con síntomas en la progenie (Cuadro 16).

#### 4.2.2. Clon Aramberri

En los Cuadros 17 y 18 se presentan los valores de rendimiento, media y desviación estándar de la población original y de las plantas seleccionadas al considerar ambos criterios de selección y las tres presiones de selección del ciclo 97/98 en la variedad clonal Aramberri. Se aprecia en el Cuadro 17, donde el criterio es sólo por alto rendimiento, que el rendimiento de las poblaciones seleccionadas con 20, 10 y 5% de presión de selección tiende a disminuir, esto se explica por la reducción en el número de plantas cosechadas conforme se incrementa la presión de selección. También es claro que existe un incremento en la media de las plantas seleccionadas respecto a la población original conforme se incrementa la presión de selección. Asimismo, la desviación estándar de las plantas seleccionadas disminuye respecto a la de la población original al incrementar la presión de selección, estas tendencias eran esperadas.

CUADRO 17. Valores de rendimiento total, media de rendimiento y desviación estándar de la población total y de las plantas seleccionadas bajo el criterio de selección sólo por rendimiento bajo tres presiones de selección en la variedad Aramberri, ciclo 97/98, Marín N. L.

<b>Presiones de selección (p)</b>	<b>Población original</b>	<b>Criterio de selección sólo por alto rendimiento</b>		
		<b>20%</b>	<b>10%</b>	<b>5%</b>
Rendimiento total (gr)	4106.5	1308.8	696.5	357
Media (gr)	41.48	65.44	69.65	71.4
Desviación estándar	17.55	5.08	2.31	1.65

En el Cuadro 18 para el criterio de selección primero por asintomatía seguido por alto rendimiento, puede apreciarse una tendencia similar a la observada en el Cuadro 17 en el rendimiento total, en la media del rendimiento de las plantas seleccionadas y en la desviación estándar; sin embargo, la desviación estándar de las plantas seleccionadas bajo este criterio con el 20, 10 y 5% de presión de selección tienden a ser superiores respecto a cuando se seleccionó bajo el criterio de solamente por alto rendimiento (Cuadro 17). Esta tendencia puede explicarse que es el resultado de eliminar plantas con síntomas de alto rendimiento e incluir en el grupo seleccionado plantas asintomáticas con un rendimiento menor, lo que contribuye a una mayor varianza del rendimiento en los grupos de las plantas seleccionadas bajo las tres presiones de selección, así como una tendencia a disminuir, aunque ligeramente, la media de rendimiento en cada grupo de cada presión de selección. No obstante de esta tendencia es importante mencionar que la carga viral bajo el segundo criterio de selección al ser menor implica que la media tendrá una mayor componente genética.

CUADRO 18. Valores de rendimiento total, media de rendimiento y desviación estándar de la población total y de las plantas seleccionadas bajo el criterio de selección por sintomatía y por rendimiento bajo tres presiones de selección en la variedad Aramberri, ciclo 97/98, Marín N. L.

<b>Presiones de selección (p)</b>	<b>Población original</b>	<b>Criterio de selección por asintomatía y por alto rendimiento</b>		
		<b>20%</b>	<b>10%</b>	<b>5%</b>
Rendimiento total (gr)	4106.5	1174.9	660.4	351.1
Media (gr)	41.48	58.74	66.04	70.22
Desviación estándar	17.55	8.52	5.34	2.14

Al comparar los Cuadros 19 y 20 del ciclo 98/99 donde se consideran la progenie, respecto a los Cuadros 17 y 18 de la población original, se aprecia que el rendimiento total y de los grupos de selección bajo los dos criterios tienden a ser mayores, esto se explica debido a que el tamaño de la población se incremento de un ciclo a otro; sin embargo, al observar las medias de rendimiento en ambos ciclos, éstas disminuyen en general en el ciclo 98/99 respecto al ciclo 97/98 debido a causas ambientales y de manejo particularmente en la fecha de siembra más tardía. Por otro lado, en el ciclo 98/99 respecto al ciclo 97/98 la tendencia a aumentar la media y a disminuir la desviación estándar es la misma.

CUADRO 19. Valores de rendimiento total, media de rendimiento y desviación estándar, de la progenie total de la población original y de la progenie de las plantas seleccionadas bajo el criterio de selección sólo por rendimiento bajo tres presiones de selección en la variedad Aramberri, ciclo 98/99, Marín N. L.

<b>Presiones de selección (p)</b>	<b>Progenie total</b>	<b>Criterio de selección sólo por alto rendimiento</b>		
		<b>20%</b>	<b>10%</b>	<b>5%</b>
Rendimiento total (gr)	10182	3441.8	1915.8	1052.8
Media (gr)	18.65	31.29	34.83	37.6
Desviación estándar	8.48	4.63	4.01	3.89

CUADRO 20. Valores de rendimiento total, media de rendimiento y desviación estándar, de la progenie total de la población original y de la progenie de las plantas seleccionadas bajo el criterio de selección por sintomatía y por rendimiento bajo tres presiones de selección en la variedad Aramberri, ciclo 98/99, Marín N. L.

<b>Presiones de selección (p)</b>	<b>Progenie total</b>	<b>Criterio de selección por asintomatía y por alto rendimiento</b>		
		<b>20%</b>	<b>10%</b>	<b>5%</b>
Rendimiento total (gr)	10182	2044.3	1343.2	826.4
Media (gr)	18.65	18.58	24.42	29.41
Desviación estándar	8.48	9.18	6.71	5.95

En los Cuadros 21 y 22 para ambos criterios de selección se presentan los valores del diferencial de selección (ciclo 97/98), la respuesta a la selección (ciclo 98/99) y la heredabilidad realizada para las presiones de selección de 20, 10 y 5%. Al igual que en la variedad clonal Taiwán, en la variedad Aramberri el valor del diferencial de selección se incrementa conforme aumenta la presión de selección; sin embargo los valores del porcentaje del diferencial son siempre superiores en la selección bajo el criterio de selección sólo por alto rendimiento (Cuadro 21) respecto al criterio de selección por asintomatía y alto rendimiento bajo sus respectivas presiones de selección (Cuadro 22). Los valores de porcentaje de respuesta también se incrementan al aumentar la presión, sin embargo, bajo el criterio de selección considerando solamente alto rendimiento y bajo las presiones de selección mencionadas, estos valores (Cuadro 21) son mayores en referencia a los obtenidos bajo el criterio de selección por asintomatía y alto rendimiento (Cuadro 22), lo mismo se presenta para la heredabilidad, lo que indica que el clon Aramberri al tener un alto

componente ambiental por virosis, al hacer la selección por el segundo criterio se esperaría que la heredabilidad se redujera, aparte del sesgo ambiental entre ciclos.

CUADRO 21. Valores de diferencial de selección, respuesta a la selección y heredabilidad realizada para rendimiento en el clon Aramberri, después de un ciclo de selección solo por alto rendimiento.

	Ciclo 97/98			Ciclo 98/99				
	$X_{po} = 41.47$	$^1D$ (g)	D (%)	$X_{prtpo} = 18.64$	$^2R$ (g)	R (%)	$^3H^2$	
Xpls 20%	65.44	23.97	57.8	Xprpls (20%)	31.29	12.65	67.86	0.52
Xpls 10%	69.65	28.18	67.95	Xprpls (10%)	34.83	16.19	86.85	0.57
Xpls 5%	71.40	29.93	72.17	Xprpls (5%)	37.6	18.96	101.7	0.63
Promedio	68.83	27.36	65.97	Promedio	34.57	15.93	86.14	0.57

$X_{po}$  = media de la población original,  $X_{pls}$ , Media de las plantas seleccionadas,  $D(g)$  = diferencial de selección en gramos,  $D(\%)$  = diferencial de selección en porcentaje,  $X_{prtpo}$  = media de la progenie total de la población original,  $X_{prpls}$  = Media de la progenie de las plantas seleccionadas.

1)  $D(g) = X_{pls} - X_{po}$ ,  $D(\%) = (D(g)/X_{po}) \cdot 100$ ; 2)  $R(g) = X_{prpls} - X_{prtpo}$ ;  $R(\%) = (R(g)/X_{prtpo}) \cdot 100$ ; 3)  $H = R(g)/D(g)$  (subestimada).

CUADRO 22. Valores de diferencial de selección, respuesta a la selección y heredabilidad realizada para rendimiento en el clon Aramberri, después de un ciclo de selección de plantas asintomáticas seguido por alto rendimiento.

	Ciclo 97/98			Ciclo 98/99			
	$X_{po} = 41.47$	$^1D$ (g)	D (%)	$X_{prtpo} = 18.64$	$^2R$ (g)	R (%)	$^3H^2$ (g)
Xpls 20%	58.74	17.27	41.64	Xprpls (20%)	18.58	-0.06	-
Xpls 10%	66.04	24.59	59.29	Xprpls (10%)	24.42	5.78	31.00
Xpls 5%	70.22	28.75	69.32	Xprpls (5%)	29.41	10.77	57.78
Promedio	65.0	23.54	56.75	Promedio	24.14	5.5	29.6

$X_{po}$  = media de la población original,  $X_{pls}$ , Media de las plantas seleccionadas,  $D(g)$  = diferencial de selección en gramos,  $D(\%)$  = diferencial de selección en porcentaje,  $X_{prtpo}$  = media de la progenie total de la población original,  $X_{prpls}$  = Media de la progenie de las plantas seleccionadas.

1)  $D(g) = X_{pls} - X_{po}$ ,  $D(\%) = (D(g)/X_{po}) \cdot 100$ ; 2)  $R(g) = X_{prpls} - X_{prtpo}$ ;  $R(\%) = (R(g)/X_{prtpo}) \cdot 100$ ; 3)  $H = R(g)/D(g)$  (subestimada).

Igual que en el clon Taiwán, los valores del diferencial de selección a diferentes presiones de selección son siempre superiores bajo el criterio de selección sólo por rendimiento; sin embargo, dicho diferencial tiene una componente genética y una componente ambiental, la reducción en los valores de dicho diferencial bajo el criterio de selección por asintomatía y rendimiento se pueden deber a la selección únicamente de plantas asintomáticas, lo que puede interpretarse como la eliminación de una parte del efecto ambiental en el diferencial de selección aportado por la infección viral cuando se seleccionó sólo por rendimiento. Lo anterior se comprueba al comparar el Cuadro 15 respecto al Cuadro 23, donde los valores de la respuesta a

la selección y la heredabilidad bajo el criterio de selección por asintomatía y rendimiento son mayores que bajo el criterio de selección sólo por alto rendimiento, ocurriendo lo contrario en el clon Aramberri al tener una componente viral con mayor efecto viral que en el clon Taiwán.

En el clon Taiwán el promedio de la heredabilidad para el criterio de selección por alto rendimiento fue de 0.27 (Cuadro 13), mientras que para el criterio de asintomatía seguida de alto rendimiento fue de 0.23 (Cuadro 14). En el clon Aramberri, para estos mismos criterios de selección, los promedios de la heredabilidad fueron de 0.57 (Cuadro 21) y 0.3 (Cuadro 12) respectivamente. Para éste último clon la diferencia entre ambas heredabilidades es más drástica, explicada por la mayor carga ambiental debida a virosis.

CUADRO 23. Comparación de criterios de selección clonal positiva bajo tres presiones de selección (20%, 10% y 5%) en la variedad Aramberri.

X	Criterio de selección:		Diferencia a favor del criterio:	
	Sólo por rendimiento	Por sintomatía y rendimiento	Sólo por rendimiento	Por sintomatía y rendimiento
D (g)	27.36	23.54	3.82	-3.82
D (%)	65.97	56.75	9.22	-9.22
R (g)	15.93	5.5	10.43	-10.43
R (%)	86.14	29.6	56.54	-56.54
H <sup>2</sup> .	0.57	0.2	0.37	-0.37

La variedad clonal Taiwán es una variedad mejorada con respecto a Aramberri, la cual es un criollo regional que no ha estado sometido a ningún proceso de selección. Los valores de heredabilidad encontrados en ambas, son mayores en Taiwán con respecto a Aramberri bajo el criterio de selección por sintomatología y rendimiento, esto podría indicar que la carga ambiental por sintomatología viral afecta en mayor proporción a esta segunda variedad.

Vijay (1990) Reportó valores de heredabilidad para rendimiento por hectárea, rendimiento por parcela, peso del bulbo, número de dientes por bulbo, materia seca, altura de planta, número de hojas por planta, índice del tamaño del bulbo, índice del tamaño del diente y días a madurez, dichos valores fueron respectivamente de

25.12, 25.65, 26.07, 29.52, 20.20, 19.32, 13.86, 11.29, 30.56 y 6.07; López, *et al.* (1997) estimó valores de heredabilidad de 14.7, 32.0 y 63.0 para diámetro transversal del bulbo, peso del bulbo y número de bulbillos por bulbo respectivamente.

En el Cuadro 24 se presenta el porcentaje de las plantas con síntomas de virosis tanto en la población original como en la progenie de la variedad clonal Aramberri considerando ambos criterios de selección. Cuando el criterio de selección fue solamente por alto rendimiento, el porcentaje de la progenie de las plantas seleccionadas que presentaron síntomas de virosis fue mayor que en la progenie de las plantas seleccionadas considerando ausencia de síntomas y rendimiento, lo mismo se observó en la variedad Taiwán (Cuadro 15), sin embargo en Aramberri el porcentaje de plantas con síntomas aun después de aplicar el criterio de selección por asintomatía seguida de alto rendimiento fue mayor que en Taiwán (Cuadros 16 y 24). Si bien en Aramberri las diferencias son menores que en Taiwán, es significativo que se mantenga la tendencia, lo que indica la necesidad de realizar en Aramberri un proceso de selección más estricto por el segundo criterio hasta lograr una homogeneidad en la ausencia de síntomas, como lo señalan Messiaen, *et al* (1994) y Conci (1997); dicho proceso podría requerir más tiempo en Aramberri que en Taiwán.

CUADRO 24. Porcentaje de plantas con síntomas de virosis en las plantas seleccionadas (ciclo 97/98) y su progenie (ciclo 98/99) bajo dos criterios y tres presiones de selección en la variedad Aramberri.

p. (%)	% de plantas seleccionadas con síntomas en el ciclo 97/98		% de plantas de la progenie con síntomas en el ciclo 98/99		Diferencia entre criterios
	Sólo por rendimiento	Por sintomatía y rendimiento	Sólo por rendimiento	Por sintomatía y rendimiento	
20	50	0	64	46.5	-17.5
10	40	0	48	42.8	-5.2
5	40	0	50	44.8	-5.2
$\chi$	43.3	0	54	44.7	-9.3

Ahora bien, las diferencias entre clones en la expresión de síntomas se reflejan en los valores señalados de heredabilidad y en el porcentaje de la progenie con síntomas, en esto influyen diversos factores tales como la partícula o mezcla de partículas virales presentes, el tiempo transcurrido desde la infección inicial es decir, las generaciones que han transcurrido en la transmisión de las mismas. Estos factores fueron estudiados por Hervé, *et al.* (1998) al evaluar el efecto de infecciones individuales de OYDV y LYSV así como la mezcla de ambas, encontrando que reducen el tamaño de la planta, los bulbos, los bulbillos, el rendimiento y el tiempo a la madurez; reportando también que las infecciones mezcladas son las que más afectan estas características, pero que en forma individual el OYDV tiene mayor efecto detrimental que el LYSV sobre las mismas.

## 5. CONCLUSIONES

1. Son grandes las diferencias entre ambas variedades clonales, Taiwán supera a Aramberri en las características fenotípicas analizadas, como diámetro logitudinal, diámetro transversal, peso del bulbo, número de bulbillos, índice de peso promedio por bulbillo y un mayor vigor. (Objetivo particular 1).

2. A medida que se incrementa la severidad de los síntomas en ambas variedades clonales hay una disminución significativa en el rendimiento y sus componentes. (Objetivo particular 2).

3. Los valores de heredabilidad calculados bajo ambos criterios de selección, sólo por alto rendimiento así como por asintomatía y alto rendimiento, muestran que bajo este segundo criterio sus estimaciones tienen una carga ambiental menor al eliminar de éstas el detrimento aportado por los efectos del síntoma de mosaico ocasionado por el mosaico viral del ajo, y como consecuencia, en lo general, tiende a reducirse la heredabilidad por el segundo criterio de selección, siendo menor esta reducción en el clon Taiwán por en general el menos infectado. (Objetivo particular 3a).

La preselección de plantas asintomáticas permite realizar un proceso de selección clonal más eficiente, debido a que:

Las plantas asintomáticas tienen una tendencia a ser más vigorosas que aquellas que muestran algún grado de expresión de mosaico y por lo tanto más rendidoras.

Una mayor proporción de individuos de la progenie de plantas asintomáticas mantienen su condición de asintomatía lo que los hace seleccionables en ciclos posteriores, permitiendo hacer una depuración in situ de las infecciones virales (objetivo particular 3b).

La hipótesis de trabajo se acepta parcialmente dado que la respuesta a la selección primero por asintomatía viral y luego por alto rendimiento se incrementó en el caso del clon Taiwán con una menor carga viral y se puede esperar lo contrario cuando se trate de un clon con alta carga viral como Aramberri. Surge así una nueva hipótesis

de que en este último caso la respuesta a la selección por este criterio podrá incrementarse en ciclos de selección posteriores.

## 6. RECOMENDACIONES

La selección en base al criterio de sintomatía y rendimiento deberá conducirse manteniendo a la población original bajo un intenso control de áfidos y mantener este control en las progenies de las planta seleccionadas bajo presiones de selección del 10% o del 5%, y para la conservación de la población mejorada manteniendo alta sanidad con alto rendimiento no bastará con un ciclo de selección, sino que en ciclos posteriores al momento de la cosecha, se deberán eliminar todas las plantas que presenten síntomas de virosis y cosechar solamente planta asintomáticas con alto rendimiento.

Una alternativa de manejo de las poblaciones sometidas a selección por el criterio de sintomatía y rendimiento, así como de las progenies de las plantas que sean seleccionadas puede ser el cubrir con tela antiáfidos las parcelas experimentales para evitar la reinfección viral por vectores, tal como lo ha propuesto Valdés (2000) en la producción de minitubérculos de papa.

Es importante implementar a la par de la selección *in situ* un programa de saneamiento *in vitro* así como un proceso de detección utilizando alguna de las técnicas disponibles, ya sea serológica o molecular. Esto permitirá realizar estimaciones más precisas de los indicadores del avance por selección así como garantizará la seguridad del saneamiento tanto *in vitro* como *in situ*.

## 7. LITERATURA CITADA

- Allard R. W. 1960. Principles of plant breeding. John Wiley and Sons. USA. 485 p.
- Alloufa, M. A. I. and E. V. Ferreira. Flower formation in *Allium sativum* L. form garlic callus tissue cultures. In vitro cellular and developmental biology. 35(3): 54-A.
- AVRDC. 1998. Allium improvement. In: AVRDC Report 1997. Asian vegetable research and development center. Shanhua, Tainan, Taiwan. 191 p.
- Bozzini, A., P. Casoria, and P. De Luca. 1991. Discovery of an Italian fertile tetraploid line of garlic. Economic Botany. 43: 436-438.
- Brown, J. 1995. What The Heck is PCR? <http://www.cc.ukans.edu/~micro/KU/Microbiology>.
- Centro de Estadística Agropecuaria. 2001. Avance de siembras y cosechas ciclo otoño-invierno 2000/2001. [www.cea.sagarpa.gob.mx/diagro](http://www.cea.sagarpa.gob.mx/diagro).
- Conci, V. C. 1991. Virosis de ajo, diagnóstico y obtención de plantas libres. 1º y 2º curso taller sobre producción, comercialización e industrialización del ajo. INTA. Argentina. p 56-59.
- Conci, V. C. 1997. Virus y fitoplasmas de ajo. En: 50 temas sobre producción de ajo. Editor: José Luis Burba. Mendoza, Argentina. 3: 267 - 291.
- Cox G. W and M. D. Atkins. 1979. Agricultural ecology, an analysis of world food production systems. W. H Freeman and Company. USA. 721 p.
- Cubero, J. I. 1999. Introducción a la mejora genética vegetal. Ediciones Mundi Prensa. España. 365 pp.
- De La Loma J. L. 1963. Genética General y Aplicada. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana. México. 753 pp.
- Dudley, W. J. 1997. Quantitative genetics and plant breeding. Advances in agronomy 59: 1-23.
- Etoh, T., and Etoh, T. 1984. Hybrids between wild garlic (*Allium longicuspis* Regel) and garlic (*A. sativum* L.). 3rd Eucarpia Allium symposium. P 78-82 (Cab-Abst.).
- García A. 1998. El ajo: Cultivo y aprovechamiento. 2a edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 168 pp.
- Hartmann H. T. y D. E. Kester, 1983. Propagación de plantas. Principios y prácticas. Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V. México. 760 pp.
- Heredia, G. E., E. Heredia Z. y L. M. Serrano C. 1991. Evaluación de calidad y rendimiento de ocho selecciones clonales de ajo (*Allium sativum* L.). Revista Chapingo. No. 73-74: 39-42.
- Heredia, Z. A. 1997. Number of cloves per bulb: selection criteria for garlic improvement. I. Results with "Chileno" type. Acta Horticulturae. 433: 265-270.
- Heredia, Z. A. 1997. Number of cloves per bulb: selection criteria for garlic improvement. II. Results with "Taiwan" type. Acta Horticulturae. 433: 271-277.
- Hervé L. V. Chovelon, S. Souche, and B. Delecalle. 1998. Effects of onion yellow dwarf and leek yellow stripe viruses on symptomatology and yield loss of three French garlic cultivars. Plant dis. 82: 1381 - 1385.
- Hong, Ch and T. Etoh. 1996. Fertile clones of garlic (*Allium sativum* L.) abundant around the Tien Shan Mountains. Breeding Science. 46: 349-353.
- Kang, M. S. 1998. Using genotype by environment interaction for crop cultivar development. Advances in agronomy 62: 199-252.

- Koch, M. and R. Salomon. 1994. Serological detection of onion yellow dwarf virus in garlic. *Plant Dis.* 78:785-788.
- Korosec, K. Z. 1990. Clonal selection of grapes (*Vitis vinifera*) cv. Rebula. *Zbornik biotniske fakultete Universe v Ljubljani, Kmetijstvo.* No 55, 63-69.
- Leitao, F. A., J. F. Serrano, F. M. Potes, M. I. E. Clara, F. T. Rei and A. Gentil. 1996. Studies on clonal selection of olive cv. "Negrinha" in the province of Tras os Montes. *Olivae.* No 62, 38-45.
- Lemoine J. and J. C. Michelesi. 1994. Doyenne du Comice: Should a healthy clone be grown? *Arboriculture frutiére.* No. 447, 19-22.
- López F. A., V. Silvestri y J. L. Burba. 1997. Variabilidad genética y estimación de asociaciones en caracteres de ajo tipo clonal "Blanco" (*Allium sativum* L.). *Acta Horticulturae.* 433:279-283.
- Marchesi, G. 1985. Possibilities of breeding garlic (*Allium sativum* L)? *Sementi Elette.* 31(6): 17-23. (CAB-Abst.).
- Maryakhina, I., L. I. Moskovkin, E. I. Tugolukova, and I. V. Polumordvinova. 1985. Polyploidization of garlic *in vitro* as a method of producing breeding material. (CAB-Abst.).
- Messiaen, C. M., H. Lot and B. Delecolle. 1994. Thirty years of France experience in the production of disease-free garlic and shallot mother bulbs. *Acta horticulturae.* No. 358, 275-279.
- Montes, C. F y J. Martínez de la C. 1994. Observación del comportamiento de cultivares de ajo. (*Allium sativum* L). *Avances de investigación. CIA-FAUANL.* p 72.
- Muñoz, De C. L. 1997. Mejoramiento genético de ajo en Cuba. *Acta Horticulturae.* 433: 257-263.
- Novak, F. J. 1984. Somaclonal variation in garlic tissue culture as a new breeding system. 3<sup>rd</sup> Eurocarpia Allium Symposium. Wageningen. pp 39-43. (CAB-Abst.).
- Ohsumi, C., Kojima, A., Hinata, K., Etoh, T. and Hayashi, T. 1993. Interspecific hybrid between *Allium cepa* and *Allium sativum*. *Theoretical-and-Applied-Genetics.* 85(8): 969-975. (CAB-Abst).
- Pathak, C. S., S. J. Cheng, and S. S. Ko. 1997. Improvement of garlic through clonal selection. *TVIS Newsletter.* 1(2):10.
- Peressini, S., D. Mucignat, G. L. Bianchi and G. Colussi. 1991. Utilization of ELISA test for evaluation of the sanitary state for clonal selection in viticulture. *Rivista di viticoltura e di enología.* 44(3): 27-33.
- Pérez, M. L., P. J. R. Sanchez, G. J. G. Salinas y J. E. Redondo. 1996. Evaluación de líneas de ajo *Allium sativum* L. (SIR-SAL) generadas por irradiación tolerantes a la pudrición blanca *S. cepivorum*. *Memorias del XVI Congreso de Fitogenética. SOMEFI.* p 59.
- Pooler, M. R., and P. W. Simon. 1993. Characterization and classification of isozyme and morphological variation in a diverse collection of garlic clones. *Euphytica.* 68: 121-130.
- Pospisilova, D. 1992. Clonal selection of grapevine combined with testing for virus disease. *Vinohrad, Bratislava.* 11, 63.
- Potter, L. R. 1993. The effects of white clover mosaic virus on vegetative growth and yield of clones of S.100 white clover. *Plant Pathology.* 42 (5): 797-805.

- Ravnikar, M., Plaper, I., Uzman, R., Zel, J., Javornik, B., Bohanec, B. and Kreft, I. 1994. Establishment of an efficient method for virus elimination in meristem cultures and regeneration of high quality plants. Proceedings of the international colloquium on impact plant biotechnology of on agriculture. p. 97-102.
- Rocha-P., M. A. and Lee, R. F. 1991. Serological techniques for detection of citrus tristeza virus. *Journal of Virological Methods* 34: 311-331.
- Rodríguez, M. S. 1992. Fitomejoramiento en especies de reproducción agámica. En: Primer curso FAO - Francia - Cuba, sobre técnicas modernas de mejoramiento y multiplicación de especies agámicas. Universidad Central de las Villas, Santa Clara de Cuba. 16 p.
- Salomon, R. M. Koch, S. Levy and A. Gal-on. 1996. Detection and identification of the viruses forming mixed infection in garlic. BCPC symposium proceedings: Diagnosis in crop production. No. 65, 193-198.
- Sherf A. F. and Macnab, A. A. 1993. Vegetables diseases and their control. Second edition. Jhon Willey and Sons Eds. New York. pp. 465-473.
- Takaichi, M., Yamamoto, M., Nagakubo, T. And Oeda, K. 1998. Four garlic viruses identified by reverse transcription-polimerase chain reaction and their regional distribution in northern Japan. *Plant Dis*, 82: 694-698.
- Tashiro, Y., S. Miyasaki, and A. Takeshita. 1991. Induction of garlic by treatment of cultured shoot tips with alkylating agent. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Saga University*. 71: 99-111. (CAB-Abst.).
- Torrance, L. 1998. Developments in serological methods to detect and identify plant viruses. *Plant Cell and Organ culture*. 52: 27-32.
- Tsuneyoshi T., and sumi, S. 1996. Differentiation among viruses in mixed infections based on RT-PCR procedures and direct tissue blotting immunoassays. *Phytopathology* 86: 253-259.
- Valadez, C. C. y L. M. Macías. 1999. Mejoramiento de ajo (*Allium sativum* L.), por medio de la utilización de clones. *Memorias del VIII Congreso de Horticultura*. Manzanillo, Colima. P 91.
- Valdés L. C. G. S., L. A. Moreno A. y E. Sandoval F. 2000. Integración tecnológica para producir semilla de papa de alta calidad en el Noreste de México. En: *Investigación para el desarrollo regional*. CONACYT. PP 43-48. ISBN: 968-823-274-2
- Vlugt, R. A. A., Steffens, P., Cuperus, C., Barg, E., Lesemann, D. E. Bos, L., and Vetten, H. J. 1999. Further evidence that shallot yellow stripe virus (SYSV) is a distinct potyvirus and reidentification of welsh onion yellow stripe virus as a (SYSV) strain. *Phytopathology* 89: 148-155.
- Van Dijk, P. 1993. Survey and characterization of potyviruses and their strains of allium species. *Neth. J. Pl. Path.* 99: 1-48. Supplement 2.
- Walkey, D. G. A. and D. N. Antill. 1989. Agronomic evaluation of virus-free and infected garlic (*Allium sativum* L). *Journal of Horticultural Science*. 64(1):53-60.
- Xi, Y. F., D. M. Quian, Q. J. Bian, and T. J. Ying. 1993. Effects of gamma ray irradiation on cellular and subcellular structures of apical meristems in *Allium sativum* and *Allium cepa*. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*. 7(3): 134-138. (CAB-Abst.).

Zaag, D. E. 1987. Yield reduction in relation to virus infection. In: Viruses of potato and seed potato production. Ed: Van Der Want. pp. 146-150.