

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

## **ESCUELA DE POSGRADO**



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**

**TESIS:**

**PARÁMETROS DE ESTABILIDAD GENÉTICO DEL RENDIMIENTO DE  
OCHO GENOTIPOS DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.), EVALUADOS EN  
SEIS LOCALIDADES DE LA SIERRA NORTE DEL PERÚ**

Para optar el Grado Académico de

**DOCTOR EN CIENCIAS**

Presentada por:

**M. Sc. HÉCTOR ANTONIO CABRERA HOYOS**

Asesor:

**Dr. SEGUNDO BERARDO ESCALANTE ZUMAETA**

**Cajamarca - Perú**

**2019**

COPYRIGHT 2019 © by  
**HÉCTOR ANTONIO CABRERA HOYOS**  
Todos los derechos reservados

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

## **ESCUELA DE POSGRADO**



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**

**TESIS APROBADA:**

**PARÁMETROS DE ESTABILIDAD GENÉTICO DEL RENDIMIENTO DE OCHO GENOTIPOS DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.), EVALUADOS EN SEIS LOCALIDADES DE LA SIERRA NORTE DEL PERÚ**

Para optar el Grado Académico de

**DOCTOR EN CIENCIAS**

Presentada por:

**M. Sc. HÉCTOR ANTONIO CABRERA HOYOS**

**JURADO EVALUADOR**

Dr. Segundo Berardo Escalante Zumaeta  
Asesor

Dr. Juan Edmundo Chávez Rabanal  
Jurado Evaluador

Dr. Marcial Idelso Mendo Velásquez  
Jurado Evaluador

Dr. Glicerio Eduardo Torres Carranza  
Jurado Evaluador

Cajamarca – Perú

2019



**Universidad Nacional de Cajamarca**  
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD  
**Escuela de Posgrado**  
CAJAMARCA - PERU



**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**


**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**


Siendo las 16 horas, del día 23 de abril del año dos mil diecinueve, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por Dr. JUAN EDMUNDO CHÁVEZ RABANAL, Dr. MARCIAL HIDELSO MENDO VELÁSQUEZ, Dr. GLICERIO EDUARDO TORRES CARRANZA y en calidad de Asesor, el Dr. SEGUNDO BERARDO ESCALANTE ZUMAETA Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y el Reglamento del Programa de Doctorado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la SUSTENTACIÓN de la tesis titulada: **PARÁMETROS DE ESTABILIDAD GENÉTICO DEL RENDIMIENTO DE OCHO GENOTIPOS DE PAPA (*Solanum tuberosum L.*), EVALUADOS EN SEIS LOCALIDADES DE LA SIERRA NORTE DEL PERÚ**; presentada por el M.Cs. **HÉCTOR ANTONIO CABRERA HOYOS**


Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó POR UNANIMIDAD con la calificación de Dieciocho (18) Excelente la mencionada Tesis; en tal virtud, el M.Cs. **HÉCTOR ANTONIO CABRERA HOYOS**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **DOCTOR EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Mención **GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**

Siendo las 17.15 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

  
.....  
Dr. Segundo Berardo Escalante Zumaeta  
Asesor

  
.....  
Dr. Juan Edmundo Chávez Rabanal  
Presidente Jurado Evaluador

  
.....  
Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez  
Jurado Evaluador

  
.....  
Dr. Glicerio Eduardo Torres Carranza  
Jurado Evaluador

## DEDICATORIA

- A la memoria de mis queridos padres: Manuel Jesús Cabrera, Julia Ricardina Hoyos, así como al de mi hermano Jaime Élmer Cabrera Hoyos.
- A mi esposa Dora Esperanza Ramírez de Cabrera, por su apoyo, cariño, comprensión y por el tiempo alejado para cristalizar mis estudios y mi trabajo de investigación doctoral.
- A mis hijas: Sonia, Sandra y Verónica con el infinito cariño porque son motivo de mi vida e inspiración de superación.
- A mis hermanos: Rafaél y Marleni, que siempre están presentes en mi mente con mucho amor y cariño.
- A mis nietos: Diego, Leonardo y Valeria, por darme mucha felicidad y alegría en mi vida.
- A mis sobrinos y sobrinas.

## AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a las siguientes Instituciones y personas:

- A la Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela de Post Grado (UNC-PERÚ), Doctorado en Ciencias, Mención Gestión Ambiental y Recursos Naturales, por darme la oportunidad de realizar y culminar mis estudios.
- Al Centro Internacional de la Papa, por haberme permitido en una forma permanente y constante el fortalecimiento de mis capacidades y a su valiosa información.
- Al Instituto Nacional de Innovación Agraria - Estación Experimental Agropecuaria Baños del Inca y en especial al Programa Nacional de Investigación en Raíces y Tuberosas, por el material genético, cuyo origen es del Centro Internacional de la Papa.
- Al Dr. Segundo Berardo Escalante Zumaeta, asesor del presente trabajo por su decidido apoyo y aporte científico, seguimiento y cristalización del presente trabajo.
- Al Dr. Víctor Vásquez Arce, por la acertada orientación, apoyo y atinada dirección tanto en la formulación, instalación, participación e intercambio de conocimientos para la interpretación de los resultados del presente trabajo.
- A los integrantes del comité científico: Doctores Glicerio Eduardo Torres Carranza, Marcial Hidelso Mendo Velásquez y Juan Edmundo Chávez Rabanal, por sus aportes valiosos en el acompañamiento académico y desarrollo del presente trabajo de investigación.
- A los científicos del Centro Internacional de la Papa en las personas de: Dr. Stef de Hann, Dra. Maredith Bonierbale, Ing M.Sc. Manuel Gastelo, Ing M.Sc.

Walter Amorós y Wilmer Pérez, por sus constantes aportes científicos en mi formación y en el apoyo con información para el desarrollo de la presente Investigación.

- Al personal del Programa Nacional de Investigación en Raíces y Tuberosas de la Estación Experimental Baños del Inca. Ings. Rosmeri Pando Gómez, Ángel Santa Cruz Padilla y al Técnico. Edgar Abanto Machuca, por su amplia colaboración en la ejecución del presente trabajo a nivel de campo.

“No se llega muy lejos en la vida  
Sin hacer nada por los demás”

**Melvin Jones**

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA .....	v
TABLA DE CONTENIDO .....	vii
ANEXOS .....	x
LISTA DE TABLAS .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
AGRADECIMIENTO .....	vi
LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS .....	xiv
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO II .....	9
MARCO TEÓRICO .....	9
2.1. Antecedentes de la investigación .....	9
2.2. Bases teóricas .....	14
2.2.1. Ensayos multi ambiente (EMA) .....	14
2.2.2. Interacción Genotipo x Ambiente (IGA) .....	16
2.2.3. Causas y naturaleza de la interacción .....	19
2.2.4. Implicaciones de la Interacción Genotipo Ambiente en el mejoramiento. ....	23
2.2.5. Estabilidad y su análisis .....	28
2.2.6. Origen genético de la estabilidad .....	33
2.2.7. La adaptabilidad general (adaptación amplia o estabilidad fenotípica amplia) .....	35
2.2.8. Parámetros de Estabilidad .....	37
2.2.9. Adaptación .....	40
2.2.10. Modelo de Eberhart y Russell (MER) .....	42
2.3. Definición de términos básicos .....	47



CAPÍTULO III .....	58
MATERIALES Y MÉTODOS.....	58
3.1. Ubicación geográfica de la investigación .....	58
3.2. Análisis físico-químico del suelo .....	62
3.3. Equipos y Materiales .....	63
3.4. Materiales y equipo de gabinete.....	64
3.5. Material biológico .....	64
3.6. Metodología .....	67
3.7. Técnicas e instrumentos.....	67
3.8. Análisis estadístico de la Interacción Genotipo Ambiente .....	68
3.9. Conducción del ensayo .....	73
 CAPÍTULO IV .....	 79
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	79
4.1. Emergencia, vigor, floración, madurez de follaje y altura de planta.....	79
4.2. Susceptibilidad del cultivo a <i>Phytophthora infestans</i> medida a través del Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC).....	81
4.3. Rendimiento de genotipos de papa.....	83
4.4. Análisis de estabilidad según el Método de Hebehart y Russell (1966) .....	91
 CAPÍTULO V.....	 104
CONCLUSIONES .....	104
RECOMENDACIONES .....	105
 CAPÍTULO VI .....	 106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
 ANEXOS.....	 115

## ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Programas Utilizados .....	116
Anexo B. Evaluación de ocho genotipos de papa en seis localidades por campaña pertenecientes al Distrito de la Encañada, provincia de Cajamarca, Distrito de Tacabamba, provincia de Chota, Departamento de Cajamarca y Distrito de Chugay, provincia de Sánchez Carrión Departamento de la Libertad..	117
Anexo C. Apéndice sobre: Tubérculos Totales.....	129
Anexo D. Prueba de Homogeneidad de varianzas. ....	135
Anexo E. Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC).....	136
Anexo F. Información meteorológica. ....	137
Anexo G. Actividades realizadas durante la investigación.....	138

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Clasificación de genotipos para papa en base a los valores de los parámetros $b_i$ y $S^2_{di}$ propuestos por Eberhart y Russell (1966), en base a su consistencia ó inconsistencia.....	39
Tabla 2. Significado de los parámetros de estabilidad obtenidos por la metodología de Eberhart y Russell (1966). .....	44
Tabla 3. Localidades del ensayo multi ambiente, claves, época de siembra y cosecha, localización geográfica y altitud. ....	59
Tabla 4. Principales condiciones climáticas presentadas durante el desarrollo del cultivo (período octubre, 2016-abril, 2017). .....	62
Tabla 5. Análisis físico químico del suelo de las diferentes localidades. ....	63
Tabla 6. Genotipos en Estudio. ....	65
Tabla 7. Análisis de varianza literal para cada ambiente. ....	69
Tabla 8. Análisis de varianza literal combinado para el Diseño Bloques Completos al Azar .....	70
Tabla 9. Disposición de los datos en filas (genotipos) y columnas (ambientes). ....	71
Tabla 10. Interpretación de los parámetros de estabilidad del método de Eberhart y Russell (1966). ....	73
Tabla 11. Evaluaciones cuantitativas y cualitativas de ocho genotipos de papa expresados en promedio por localidad. ....	80
Tabla 12. Valores del Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC), <i>Phytophthora infestans</i> frente a la variedad Canchán en dos localidades. ....	82
Tabla 13. Cuadrados medios de los análisis individuales de varianza de peso total de ocho genotipos de papa ( <i>Solanum tuberosum L.</i> ) por localidad. ....	84

Tabla 14.	Prueba de comparación múltiple de las medias Duncan ( $\alpha=0,05$ ) para el rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ) de los genotipos en estudio por localidad.....	85
Tabla 15.	Prueba de Shapiro-Wilk .....	87
Tabla 16.	Análisis de varianza combinado de los genotipos por localidades.....	89
Tabla 17.	Prueba de comparación múltiple de las medias Duncan ( $\alpha=0,05$ ) para el rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ) de los genotipos en estudio por localidad sobre el índice ambiental.....	90
Tabla 18.	Rendimiento Promedios en ( $tha^{-1}$ ) de ocho genotipos en las seis localidades.....	91
Tabla 19.	Análisis de la varianza para la estabilidad según Eberhart y Russell (1966) de ocho genotipos de papa evaluados en seis localidades.....	93
Tabla 20.	Rendimiento expresado en peso de tubérculos por parcela y por hectárea de ocho genotipos de papa y parámetros de estabilidad.....	95
Tabla 21.	Análisis de varianza combinado para el número total de tubérculos.....	97
Tabla 22.	Prueba de comparación múltiple de las medias Duncan ( $\alpha=0,05$ ) para el total de tubérculos de los genotipos en estudio por localidad sobre el índice ambiental. ....	99
Tabla 23.	Prueba de comparación de medias (Duncan 5%) para la producción de tubérculos totales. ....	100
Tabla 24.	Análisis de la varianza para la estabilidad según Eberhart y Russell (1966) de ocho genotipos de papa evaluados en seis localidades para tubérculos totales. ....	101
Tabla 25.	Rendimiento de la producción de tubérculos totales de ocho genotipos de papa y parámetros de estabilidad.....	102

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ubicación geográfica de las localidades experimentales dentro de la Región Cajamarca.....	60
Figura 2. Ubicación geográfica de las localidades experimentales dentro de la Región La Libertad .....	61
Figura 3. Croquis y distribución de tratamientos en el campo experimental.....	76
Figura 4. Valores del Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC) <i>Phytophthora infestans</i> , frente a la variedad Canchán en dos localidades.....	83
Figura 5. Contribución porcentual de los factores de variación al rendimiento promedio en el ensayo multi ambiente. ....	90
Figura 6. Rendimiento Promedios en ( $\text{tha}^{-1}$ ) de ocho genotipos en las seis localidades.....	92
Figura 7. Comportamiento de ocho genotipos de papa en base al rendimiento promedio sobre el índice ambiental (Ij) evaluados en seis localidades. ....	96
Figura 8. Comportamiento de ocho genotipos de papa en base al número de tubérculos totales (TT) promedio sobre el índice ambiental (Ij) evaluados en seis localidades.....	103

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

A	Ambiente (en inglés E Environment)
ANVA	Análisis de la varianza
EEA – BI	Estación Experimental Agraria Baños del Inca
CIP	Centro Internacional de la Papa
CM	Cuadrado medio (en inglés MS Mean square)
CV	Coefficiente de Variación
EMA	Ensayos multiambiente (en inglés METs Multi environment trials) Fenotipo (en inglés Phenotype), Expresión externa
INIA	Instituto Nacional de Innovación Agraria
G	Genotipo
G x A	Interacción genotipo por ambiente (en inglés: GGE)
GLM	Modelo lineal general (del inglés General Linear Model)
PC	Componente principal (del inglés PC Principal Component)
tha <sup>-1</sup> .	Toneladas por hectárea.

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar los parámetros de estabilidad de ocho genotipos de papa con respecto al rendimiento y adaptabilidad, en seis localidades, correspondientes a tres caseríos del Distrito de La Encañada, provincia de Cajamarca, dos caseríos del Distrito de Tacabamba, Provincia de Chota, del Departamento de Cajamarca y un caserío del Distrito de Chugay, Provincia de Sánchez Carrión del Departamento de la Libertad, durante las campañas 2016 - 2017. Los genotipos experimentales forman parte de la población B, del Centro Internacional de la Papa. Se utilizó el diseño experimental Bloques Completos al Azar con ocho tratamientos y tres repeticiones. Las parcelas experimentales consistieron en cuatro surcos de 3.0 m de largo, separados a 1.00 m. El análisis de varianza combinado propuesto por Eberhart & Russell (1966), reveló significancia estadística ( $P \leq 0.01$ ) para genotipo (G), ambientes (A) e interacción GxA. Las localidades con mayor potencial productivo fueron Santa Clotilde y la Púcara (Distrito de Tacabamba). El genotipo 399062.115 registró la mejor estabilidad por su alto rendimiento ( $22,09 \text{ t. ha}^{-1}$ ), coeficiente de regresión mayor que la unidad y desviación de regresión igual a cero. Así mismo, los genotipos 393377.159, 399058.12 y 399075.26 mostraron adaptación específica a ambientes de bajos rendimientos.

**Palabras clave:** Genotipo, estabilidad, rendimiento, adaptación y resistencia.

## ABSTRACT

The objective of this study was to determine the genetic stability of eight experimental potato genotypes, installed in three hamlets of the District of La Encañada, province of Cajamarca, two hamlets of the District of Tacabamba, Province of Chota, Department of Cajamarca and a hamlet of the District of Chugay, Province of Sánchez Carrión and Department of Liberty. During the 2016-2017 campaigns, performance trials were evaluated in six contrasting environments. The genetic material consisted of eight experimental genotypes from the B population, material from the International Potato Center, delivered to the Baños del Inca Experimental Station-INIA Cajamarca. The experimental design used was complete blocks at random with three repetitions, the experimental plots consisted of four rows of 3.0 m long, separated at 1.00 m. The combined analysis of variance proposed by Eberhart & Russell (1966), revealed statistical significance ( $P \leq 0.01$ ) as well as for environments, genotype and GxA interaction. The environments with the greatest productive potential were Santa Clotilde and Púcara, the genotype 399062.115 is considered to be the one with the best stability due to its high yield and the regression coefficient greater than unity, as well as a regression deviation equal to zero. The genotypes 393377.159, 399058.12 and 399075.26 showed specific adaptation to low yield environments.

**Key words:** Genotype, environment, interaction, stability y performance.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de la papa ha evolucionado hace aproximadamente 8 000 años en la cordillera de los Andes y sus tubérculos fueron encontrados durante unas excavaciones realizadas en las cercanías del pueblo de Chilca, al sur de Lima, en el año de 1976. Como especie está dispersa desde el norte de Bolivia hasta el suroccidente de Venezuela, extendiéndose por los territorios del Perú, Ecuador y Colombia (Huamán y Spooner 2002). Es un cultivo básico en la canasta familiar y altamente consumido a nivel mundial, a tal punto de ser considerado como el cuarto cultivo más importante en el mundo, después del arroz, trigo y maíz. En comparación con estos cultivos, la papa produce más Kcal/ha/por día y es más eficiente en la toma de agua, pues produce más Kcal/L de agua absorbida y más proteína/área y por unidad de tiempo que los principales cereales (FAO 2012). Estos hechos hacen que la papa sea el cultivo número uno y el eje de trabajo más importante para la seguridad alimentaria y nutricional (SAN).

En la última década el Instituto nacional de Innovación Agraria (INIA), a través del Programa Nacional de Investigación en Raíces y Tuberosa y el Centro Internacional de la Papa, liberaron tres cultivares de papa tetraploides con mayor calidad nutricional que los cultivares comerciales actuales. La selección de estos nuevos cultivares unió el trabajo de agricultores mediante la Selección Participativa Varietal y el conocimiento científico, en un modelo participativo (Cabrera, H. 2017), el cual pone de manifiesto que las variedades de papa para el consumo y uso industrial, además de ser estables en su rendimiento y adaptación, deben cumplir características de calidad interna y externa.

El rendimiento se toma inestable y reduce como consecuencia de la contaminación del cultivo con una serie de agentes Fito patogénicos, como los virus,

hongos y bacterias entre otros. Este problema se agudiza cuando las variedades son de escasa adaptabilidad a las condiciones edafo-climáticas de una determinada región. En consecuencia, surge la necesidad de obtener y evaluar genotipos a fin de obtener nuevas variedades que no solo se adapten a la región norte del Perú sino también que presenten características adecuadas para la industria y el consumo del poblador peruano (Vásquez 1988).

Si se considera que el clima determina la longitud del periodo de desarrollo de las plantas y permite establecer las épocas de siembra, entonces, la evaluación de los genotipos en diferentes localidades y campañas, es importante para estimar las respuestas genotípicas diferenciales bajo diversas condiciones ambientales. En tal sentido, uno de los principales requisitos para obtener nuevas variedades es la evaluación de los materiales en diferentes ambientes y el cálculo de su interacción x ambiente, la cual da una idea de la estabilidad fenotípica de las variedades ante las fluctuaciones ambientales (Vásquez 1988).

La interacción genotipo x ambiente es una fuente importante de variación en cualquier cultivo y el término estabilidad es usado para caracterizar genotipos que muestran rendimientos relativamente estables, independientemente de las condiciones ambientales cambiantes; por lo tanto, los genotipos con una mínima variación en el rendimiento a través de diferentes ambientes son considerados estables (Vásquez 1988).

Una de las formas de medir la estabilidad del 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 su coeficiente de regresión es igual a uno ( $\beta_i = 1$ ) y una de las desviaciones de la regresión, tiene un valor igual a cero ( $S^2d_i = 0$ ) (Eberhart y

Buccio 1966). Este análisis ha sido utilizado con éxito para seleccionar genotipos de papa deseables (Haydar et al. 2009) en condiciones ambientales distintas a las nuestras.

Conscientes de la necesidad de disponer de nuevas variedades de papa, adaptadas a las condiciones edafo climáticas de la sierra norte del país y con rendimientos estables, durante la campaña 2016-2017, se instalaron ocho genotipos en seis localidades (ambientes), con el propósito de reportar la evolución de los caracteres antes indicados, teniendo como herramienta el modelo de Eberhart y Russell (1966).

En la sierra se siembra el 95% de la papa producida en el Perú. (323, 745 has), País que tiene una alta producción nacional de 4,5 millones de toneladas y un rendimiento promedio de 14.7 t ha<sup>-1</sup>. Entre los años 1956 y 2014 se han liberado 87 variedades mejoradas de papa de las cuales el 15% mantiene su estabilidad genética, mientras que la mayoría de ellas presentan no solo inestabilidad en su rendimiento sino también expresan su inestabilidad genética a través de modificaciones en sus características agronómicas como el número de tallos por planta, altura de planta, diámetro de tallo principal, número de tubérculos por planta, peso comercial y número comercial de tubérculos, resistencia a enfermedades y plagas. Por lo general, estas alteraciones morfológicas de las plantas están asociadas a significativas pérdidas de la calidad y el rendimiento del cultivo, problemas que, a su vez, se magnifican por el efecto del cambio climático, caracterizado por significativos incrementos de temperatura, lo cual hace que los rendimientos de las actuales variedades pierdan estabilidad genética.

Las regiones de Cajamarca y la Libertad, constituyen un espacio geográfico de mucha importancia para el cultivo de papa y el abastecimiento de tubérculos - semilla de buena calidad. Sin embargo, en ella predominan condiciones ambientales muy heterogéneas entre localidades, entre años o entre combinaciones de estos, los cuales representan una permanente amenaza a la estabilidad genética y rendimiento de las

variedades cultivadas, en razón a lo cual, la identificación de genotipos estables y de alto rendimiento es una alternativa de solución muy importante para estas regiones y el país.

El Perú dispone de un germoplasma de papa conformado por 3 000 accesiones de papas nativas de diferentes especies y 108 accesiones de papas silvestres, 87 variedades mejoradas y nuevas poblaciones de genotipos del grupo: B3C1, B3C2 y B1C5, desarrollados por el departamento de mejoramiento genético del Centro Internacional de la Papa (Vásquez 1988, Ochoa, 1999, Salas 2002). Sin embargo, esta enorme diversidad genética, prospera en un territorio caracterizado por la presencia de 84 zonas de vida natural y por lo tanto con una marcada diversidad climática, lo que sin duda influencia en el genotipo de las especies vegetales y particularmente de la papa, desencadenado fenómenos de silenciamiento o expresión de genes y con ello, alteraciones de la estabilidad genética de las diferentes variedades de papa. En este contexto, genéticamente diverso y ambientalmente cambiante, formulamos las siguientes preguntas de investigación:

- a) ¿Cuál es el comportamiento de los parámetros de estabilidad de ocho genotipos de papa evaluados en seis localidades?
- b) ¿Qué efectos tiene la aplicación del modelo estadístico de Eberhart and Russell (1966) en la estimación de los parámetros de estabilidad ( $b_{iy}$   $S_{2i}$ ) para seleccionar los genotipos de mayor adaptación y alto potencial de rendimiento, en seis localidades?
- c) ¿Cuál es la influencia de las localidades, en el rendimiento de tubérculos comercial de ocho genotipos de papa, sembrados bajo las condiciones de secano?

Con la presente investigación, los objetivos propuestos son:

- a) Evaluar las diferencias de ocho genotipos de papa con respecto al rendimiento y su interacción, en seis localidades.
- b) Determinar, mediante la aplicación del modelo estadístico de Eberhart and Russel (1966), la estimación de los parámetros de estabilidad ( $b_i$  y  $S^2_{Di}$ ) para seleccionar los genotipos de mayor adaptación y alto potencial de rendimiento, en seis localidades.
- c) Determinar la influencia de las localidades en el rendimiento de tubérculos comerciales de ocho genotipos de papa, sembrados bajo las condiciones de secano.

El Centro Internacional de la Papa, ha invertido muchos años de trabajo y una significativa proporción de su presupuesto para obtener los grupos de poblaciones de papa: B3C1, B3C2 y B1C5, cuyos genotipos muestran su potencial productivo y calidad de tubérculos luego de ser sembrados en diferentes ambientes, pues de esta manera se tendrá la certeza que sus rendimientos serán estables en el tiempo y responderán de la misma manera en las diferentes localidades y años, requisito indispensable para que, en el futuro, se constituyan en nuevas variedades caracterizadas por su estabilidad genética y buenas características agronómicas y de adaptación (plasticidad), con los cuales se podría alcanzar los ansiados rendimientos unitarios del cultivo más importante del país, la papa. En esta tarea, el uso de modelos de Regresión, como el propuesto por Eberhart y Russell (1966), que indiquen estadísticamente cuál de los genotipos de papa que se adapta mejor a las diferentes condiciones climáticas de la Región Cajamarca, se convertirá en una herramienta de mucho valor, aun cuando su aplicación en el cultivo de papa está poco documentada.

La prueba extensiva de genotipos en diferentes localidades y años permite, de un lado, identificar el germoplasma superior para una amplia área geográfica, lo que resultará más rentable para los agricultores y las empresas de semillas (Russell 1990; Cubero & Flores 2003); y de otro, permite minimizar la interacción genotipo ambiente (IGA) que modifica la expresión genética de los cultivares; por ejemplo, confiriéndoles resistencia o tolerancia a los estreses a los que pueden estar sometidos y que son responsables de sus interacciones con el ambiente (Kang 1997).

Esta investigación, además, pondrá al alcance de los científicos, profesionales del Agro y agricultores en general, información acerca del comportamiento de los ocho genotipos avanzados de papa, provenientes de tres grupos de una población, en la cual se determinará su rendimiento más estable en las seis localidades durante la campaña. La realización de ensayos multiambiente (o ensayos multifocales) es un enfoque eficiente para seleccionar variedades estables en diferentes entornos. También es importante señalar que las IGA son complejas y cuando son desconocidas o pobremente entendidas, representan un impedimento significativo para la mejora genética de los cultivos.

La Universidad Nacional de Cajamarca, el Instituto Nacional Innovación Agraria y otros Centros de Investigación, tienen como misión realizar investigación aplicada para fortalecer el desarrollo de la región y del País. En este contexto, el cultivo de papa es uno de los productos emblemáticos y consumidos prácticamente en todo el planeta. En el Perú y la región de Cajamarca, es el cultivo más importante y constituye la base de la alimentación. Además, a nivel nacional, el departamento de Cajamarca durante los tres primeros meses del año 2016 fue la tercera región con mayor producción de papa, con 99 651 toneladas (INEI 2016).

La labor del fitomejorador, no termina con la obtención de las primeras semillas de una nueva variedad, pues éste, siempre estará atento al significado de los datos de todos los ensayos que se realicen con su material, especialmente a la respuesta en diferentes localidades, a los factores ambientales que hacen aumentar o disminuir el rendimiento, a la estabilidad de sus variedades en relación a otras obtenciones, en suma, estará interesado en la IGA, información esencial para proseguir con el trabajo de mejora. Además, esta investigación aportará información importante para tener material genético que, con estudios complementarios de validación técnica – económica, se puede constituir en nuevas variedades de papa para ponerlas a disposición de los agricultores.

El estudio de estabilidad genética de los ocho genotipos, realizado en seis localidades: Santa Clotilde, Santa Margarita, Chucmar, Marcobamba y La Pucara, pertenecientes a los Distritos de La Encañada y Tacabamba de la región de Cajamarca; y, San Juan del Distrito de Chugay de la región La Libertad, han generado información y conocimiento acerca del rendimiento de los genotipos, resistencia a factores bióticos, entre otros aspectos.

La ubicación estratégica de los campos experimentales en relación a otros campos de producción de papa, ha incentivado el interés de los productores para participar en los trabajos realizados; además, su fácil accesibilidad ha facilitado las visitas en diferentes etapas del desarrollo de la presente investigación.

Las pruebas de evaluación del rendimiento en múltiples localidades que se realizan en las etapas finales de los programas de mejoramiento constituyen la fase más onerosa de este proceso, ya que requieren de una alta inversión, un tiempo algo extenso y una amplia gama de localidades para la obtención de resultados confiables. El alto costo de estas pruebas ha llevado a los fitomejoradores a buscar maneras de maximizar la eficiencia de evaluación y una de ellas es la optimización de la localización de los

recursos. La IGA es un importante y desafiante fenómeno para fitomejoradores y agrónomos que actúan en las pruebas comparativas y en la recomendación de variedades. Cuanto mayor sea la diversidad genética entre los genotipos y entre los ambientes, de mayor importancia será la IGA.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

En los programas de mejoramiento genético de plantas es común evaluar la respuesta de los genotipos en varios ambientes con el fin de valorar la estabilidad fenotípica. Una de las grandes preocupaciones de los mejoradores es poder encontrar líneas, variedades e híbridos, con alta estabilidad y respuesta fenotípica (Pulido et al 2013) . Con ese objetivo se han desarrollado numerosos métodos de análisis que involucran un modelo de dos vías con interacción; es decir: el efecto del genotipo, del ambiente y de la interacción genotipo ambiente. Se argumenta que estos modelos están más acordes con los intereses agronómicos que los modelos inicialmente usados. Sin embargo, el modelo de varianza ambiental es un modelo más general y preferible para evaluar la estabilidad de la respuesta fenotípica, y con base en este, a través de la metodología bayesiana, se desarrolla y propone un parámetro que no solo permite la selección de genotipos con alta estabilidad y respuesta fenotípica, sino que además permite la incorporación de información previa de los genotipos testigos usados en las pruebas regionales. El modelo de varianza ambiental, que es un modelo jerárquico que contempla el desempeño de los genotipos dentro de los ambientes, es un modelo que permite medir la estabilidad fenotípica en cualquier tipo de variable cuantitativa. Este modelo se desarrolló mediante la metodología bayesiana la cual permite la incorporación de información previa que puede estar disponible en algunos genotipos. Se propuso el parámetro  $P_i$  el cual ayuda al

mejorador a seleccionar genotipos deseables en el caso de variables con distribución normal (Cotes et al. 2012).

El análisis de los parámetros de estabilidad de cinco híbridos de girasol productores de aceite con alto contenido de ácido oleico (Olisun 1, Olisun 2, Sabritas 1, Híbrido 2 e Híbrido 3), en cinco localidades, utilizando el diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, reveló diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre híbridos para el contenido de ácido oléico. El modelo de Eberhart y Russell para las variables ácido oleico y rendimiento clasificó a los híbridos como estables, con excepción del híbrido Sabritas 1 que, por mostrar una significativa desviación de la regresión lo clasificó como inconsistente. En base al contenido de ácido oléico, rendimiento de grano y estabilidad, se concluye que los mejores híbridos fueron el Híbrido 3 y Sabritas 1 (Guzmán et al 2017).

Para evaluar la interacción genotipo-ambiente y estabilidad del rendimiento Ferreira et al (2014), realizaron una investigación con 23 líneas experimentales de forraje, las cuales fueron evaluadas durante 5 años en rio Cuarto (Córdoba) y Santa Rosa (La Pampa), Argentina. Mediante un ANVA se determinaron los efectos principales del genotipo (G), ambiente (A) y la interacción genotipo x ambiente (IGA), todos ellos estadísticamente significativos. La estabilidad se determinó mediante análisis de la regresión y los modelos AMMI. Los resultados de la aplicación de los diferentes métodos coincidieron parcialmente. Así, el promedio general para la producción de materia seca acumulada fue de  $3.188 \pm 193,6 \text{ kg. ha}^{-1}$ , con rango de variación entre  $2.949$  y  $3.601 \text{ kg ha}^{-1}$ . Las diferencias fueron significativas ( $p < 0.01$ ) para los efectos principales G ( $F=2,1$ ), A ( $F=150,9$ ) y para la IGA ( $F=3,3$ ). El

análisis de la regresión ubicó como rendidores y estables a los triticales 8, 7, 9, 2 y 1 y los tricepiros 20, 18, 16 y 21 dado que están dentro de la banda de confianza.

Colunche (2014), midió la estabilidad de seis genotipos de papa y sus resultados muestran que los genotipos CAJ010.4 y CAJ004.4, son los de mayor rendimiento ( $34.65 \text{ tha}^{-1}$  y  $30.80 \text{ tha}^{-1}$ ), mayor estabilidad y adaptación a todos los ambientes. Contrariamente, la variedad testigo (Canchan) alcanzó el más bajo rendimiento ( $15.40 \text{ tha}^{-1}$ ). El genotipo CAJ004.4 presentó un coeficiente de regresión ( $\beta_i$ ) igual a uno y desviación de regresión  $S^2_{di}$  igual a cero, definiéndolos, según el criterio de Erberhart y Russell (1966), como genotipos adaptables (estables) en los ocho ambientes. De igual manera, el genotipo CAJ010.4 obtuvo un coeficiente de regresión ( $\beta_i$ ) mayor a uno, con lo que se considera como mejor respuesta en ambientes favorables a diferencia de los genotipos: CAJ010.1 y CAJ003.4 que presentaron un coeficiente de regresión ( $\beta_i$ ) menor a uno, que significa una respuesta mejor en ambientes desfavorables. Entre tanto, el genotipo CAJ010.5 presentó una desviación de regresión ( $S^2_{di}$ ) mayor a cero, clasificándolo como genotipo inconsistente.

Pulido, Contera y Perea (2013), analizaron los componentes del rendimiento de la papa (tamaño de tubérculos por planta y número de tubérculos por planta), a través de un experimento, análisis estadístico y determinación de la correlación entre los mencionados caracteres. Estos autores concluyeron que los mencionados componentes del rendimiento presentan una correlación muy buena para seleccionar genotipos por su mayor producción de tubérculos por planta, basándose en el tamaño de los tubérculos producidos.

Vargas et al. (2011), utilizaron 17 ambientes de seis zonas agroecológicas de Colombia (Caribe Húmedo, Caribe Seco, Orinoquía, Valle del Río Cauca, Valle del Río Magdalena y Zona Cafetera) para evaluar nueve híbridos amarillos QPM y un testigo comercial de endospermo normal. Los análisis de estabilidad y adaptabilidad se basaron en el rendimiento de grano usando los modelos estadísticos de Eberhart y Russell (1966). Se determinó que los híbridos se comportan mejor en ambientes favorables ( $\beta_1 > 1$ ) o en ambientes desfavorables ( $\beta_1 < 1$ ) y tienen una desviación de la regresión  $> 0$ , con excepción del genotipo QPM 305, que es el único predecible y que se comporta mejor en ambientes poco favorables.

Castillo et al. (2010), estudiaron cuatro especies de papa conservadas *in vitro* durante diez años, con el objetivo de determinar si mantenían su estabilidad genética en comparación con las de la colección base mantenida en campo. Se realizó una descripción morfoagronómica de las especies de ambas procedencias y se emplearon métodos isoenzimáticos de peroxidasas, esterases, polifenol oxidasas y anhidrasa carbónica, así como el polimorfismo de longitud de fragmentos amplificados (*AFLP*), como marcador molecular. Los resultados mostraron que no existen cambios significativos en cuanto al fenotipo. Los caracteres cualitativos se mantuvieron inalterables y solo sufrió cambios el carácter número de tallos por planta, que fue ligeramente superior en todos los casos, cuando la especie provenía de la colección base con respecto a las *in vitro*. Otro cambio notable fue el que se manifestó en la intensidad de la floración, que a excepción de la especie *Solanum schrueteri*, fue mayor cuando las plantas provenían de la colección base.

En Irán, Zarghami et al. (2008), estudiaron la estabilidad genética de plántulas de las variedades Agria y Marphona de (*Solanum tuberosum* L.), almacenadas en condiciones de crioconservación y sin crioconservación, Se utilizó la técnica de longitud de fragmentos amplificados polimorfismo (AFLP) y realizaron estudios de citometría de flujo para detectar cualquier cambio en el nivel de poliploidía. Siete combinaciones de cebadores se utilizaron en los estudios de AFLP. Se determinó que las plántulas Agria sin crioconservación fueron aproximadamente de media similitud genética (97%) a las del mismo cultivar almacenadas en condiciones de crioconservación. Con el cultivar de Marphona, se encontró una completa homología (100%) entre las plántulas crioconservadas y no crioconservadas.

En la sierra alta de México, Pérez, Vásquez y Sahagun (2007), evaluaron el rendimiento y estabilidad de diez genotipos de papa en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones en cada ambiente. Se detectaron efectos significativos ( $P \leq 0.01$ ) de ambientes (A), genotipos (G) e interacción G x A. El rendimiento por hectárea en promedio de los cinco ambientes fluctuó entre 13.28 y 25.04 t. ha<sup>-1</sup>. El  $\lambda_i$  de Tai clasificó a los genotipos en el mismo orden que los índices de Eberhart y Russell. Las correlaciones fueron muy cercanas a la unidad ( $r \geq 0.99$ ).

León (2003), realizó la investigación “Estimación de parámetros de estabilidad de nueve líneas promisorias y una variedad de trigo harinero *Triticum aestivum* L. en Cajamarca”, en 12 localidades del departamento de Cajamarca, en el periodo noviembre de 1999 - julio del 2000, con el objetivo de determinar genotipos de trigo harinero de mayor adaptabilidad y/o estabilidad, con significativos rendimientos de grano seco y forraje seco. La

clasificación de la adaptabilidad de las progenies estudiadas, en base a los parámetros de estabilidad de Carballo y Márquez (1970), Citado por Márquez (1991), concluyó que los genotipos H-534, H-476, H-528 y H10 tuvieron el coeficiente de regresión mayor que la unidad ( $b > 1$ ) y desviación desde la regresión, mayor que cero, por lo que los clasificaron como híbridos con *buena* respuesta en ambientes desfavorables, pero inconsistentes.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Ensayos multi ambiente (EMA)**

Los ensayos multi ambiente (EMA) son una serie de experimentos en los que se evalúa un conjunto de genotipos (G) en múltiples ambientes (A), considerando usualmente a los ambientes como una combinación de sitios y años. Estos ensayos son importantes por la presencia de la IGA, la cual complica la selección y/o recomendación de variedades, ya que, si no existiera la IGA, un solo ambiente de prueba sería suficiente para la evaluación de las variedades. Por consiguiente, el entendimiento de la IGA observada en EMA es muy útil en los programas de fitomejoramiento, puesto que permite identificar variedades de alto rendimiento con adaptación específica y amplia (Annicchiarco 1997; Gauch 1992; Yan & Hunt 2002; Yan & Kang 2003; Yan et al 2007). Estos EMA también permiten estimar rendimientos con más precisión y seleccionar los mejores genotipos (Cubero & Flores 2003; Yan et al, 2000; Yan & Kang 2003; Yan & Tinker 2006; Yan et al 2007).

El objetivo central de los programas de mejora es la evaluación de la respuesta fenotípica, en términos del rendimiento de un conjunto

de variedades o líneas de mejora avanzadas, a un rango amplio de condiciones agroecológicas. Para ello los mejoradores llevan a cabo ensayos en múltiples localidades y/o durante varios años (EMA). En estos ensayos se evalúa un conjunto de genotipos en una muestra de condiciones ambientales que representan lo mejor posible la región donde dichos genotipos pueden cultivarse comercialmente. Por su parte, el objetivo final de los EMA es identificar las variedades que *presentan un* rendimiento superior en todo el rango de ambientes, es decir, que muestran adaptación amplia, o bien identificar aquellas variedades que muestran alta producción en un subconjunto específico de ambientes, es decir, que presentan adaptación específica a estos ambientes. Estos ensayos consumen una parte importante de los recursos disponibles en un programa de mejora (Romagosa et al 2009).

Las etapas finales de un programa de mejoramiento incluyen experimentos de evaluación conducidos en diferentes localidades y durante varios años. La presencia de interacción genotipo x ambiente exige la realización de estudios adicionales con el propósito de atenuar sus efectos. Por este motivo, la selección de material utilizando solo el rendimiento es inadecuada, debido a que ignora la consistencia del comportamiento (Cubero & Flores 2003; Balzarini et al 2005; Borém et al 2008).

Un importante resultado de los EMA, es la construcción de una tabla de dos vías donde se sitúan los rendimientos estimados de cada genotipo en varios ambientes. Esta tabla es la base para el estudio de la interacción genotipo ambiente. El *estimador más* natural y más

utilizado para la construcción de estas tablas GxA es la media entre repeticiones para cada genotipo en cada ambiente (Cubero & Flores 2003).

**Ambiente** es el conjunto de todos los factores externos, de origen no genético, que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas, tales como las condiciones edafoclimáticas, asociadas a prácticas culturales, ocurrencia de patógenos e insectos y otras variables (Vallejo-Cabrera & Estrada-Salazar 2002; Borém et al 2008). Incluye factores ambientales predecibles, tales como algunas características de clima (radiación solar y fotoperiodo), tipo y fertilidad de suelos, toxicidad por aluminio, fecha, densidad y método de siembra; y, factores ambientales impredecibles, como cantidad y distribución de lluvias; temperatura atmosférica y del suelo; humedad relativa y presiones repentinas de plagas o enfermedades (Vallejo-Cabrera & Estrada & Salazar 2002; Borém et al 2008). En general, ambiente se puede definir en forma amplia y de acuerdo con los factores bióticos y abióticos, como el conjunto de las condiciones del suelo, clima, manejo agronómico y administración (oportunidad de las prácticas de manejo) los cuales tendrán un efecto marcado sobre la expresión del rendimiento en el genotipo de las plantas (Cubero & Flores 2003).

### **2.2.2. Interacción Genotipo x Ambiente (IGA)**

El rendimiento de un cultivo depende de su estructura genética y del medio ambiente donde éste crece (Cooper y Byth 1996). Los factores ambientales tienen un efecto mayor en los rasgos cuantitativos que en rasgos cualitativos, por lo tanto, las pruebas de rendimiento de



cultivares potenciales se llevan a cabo en varios años y lugares (Bernardo 1999).

El rendimiento de los cultivos está determinado por los efectos principales del genotipo y del medio ambiente, influyendo en su determinación la IGA, que es la respuesta diferencial de los cultivares a los cambios ambientales (Hallauer et al 1988; Crossa et al 1990; Vargas et al 1999; Abbott y Pistorale 2011). En presencia de una IGA significativa, las medias genotípicas no son la mejor representación para caracterizar el comportamiento de los genotipos ensayados sobre todos los ambientes en la identificación de genotipos superiores (Lin y Binns 1988).

La detección de la Interacción Genotipo Ambiente (IGA) en ensayos de campo ha llevado al desarrollo de procedimientos que son llamados genéricamente análisis de estabilidad. Los análisis de estabilidad y adaptabilidad, en ensayos en ambientes múltiples posibilitan la identificación de cultivares de comportamiento previsible y que respondan a las variaciones ambientales (Abbott y Pistorale 2011). Las IGA, definidas como cambios en el comportamiento relativo de los genotipos cuando son evaluados en diferentes ambientes, suelen explicar una proporción mayor de variación que la explicada por el efecto genotipo (Balzarini et al 2005).

La Interacción Genotipo Ambiente (IGA), puede ocurrir debido a factores bióticos y abióticos, tales como condiciones de nutrientes y micro flora del suelo, la temperatura, incidencia de lluvias y sequía, pH, subsuelo y los factores socio-económicos que dan lugar a la aplicación de diferentes actividades de manejo en el cultivo (Bänziger et al. 2006).

El desarrollo de genotipos resistentes/tolerantes a diferentes factores ambientales a los que es probable que esté expuesto, podría minimizar la IGA (Kang 1997).

La magnitud relativa de la IGA proporciona información con respecto a la zona probable de adaptación de un genotipo dado. También es útil en la determinación de métodos eficientes del uso de tiempo y recursos en un programa de mejora (Ceccarelli 1989 Kang 1997, Borém et al 2008).

La existencia de IGA requiere que los mejoradores evalúen a sus genotipos en más de un ambiente para que les permita obtener ordenamientos repetibles de estos genotipos (Hallauer et al. 1988; Yan y Tinker 2006). Los ensayos llevados a cabo en ambientes de estrés suelen producir ranking que difieren significativamente de un ambiente a otro, debido a la presencia de la IGA y esto hace que sea difícil elegir el mejor genotipo (Bánziger et al. 2000; Gordon Mendoza et al. 2006).

La Interacción Genotipo Ambiente (IGA), de mayor y especial interés para los programas de fitomejoramiento, es aquella que se refiere al cambio en el orden de las variedades al pasar de un ambiente a otro (interacción cruzada, llamada también interacción cualitativa), de modo que la mejor variedad en un ambiente es posible que no sea la mejor en otro ambiente (Kang 2002; Crossa y Comelius 2002; Borém et al 2008).

Para ambientes específicos, la identificación de cultivares con mayor rendimiento, en la base de genotipo (G) e interacción genotipo x ambiente (GA) son útiles a mejoradores y agricultores, desde que las

estimaciones de rendimiento en base solo al genotipo (G) y los efectos ambientales (A) son insuficientes (Samonte et al. 2005). Aun cuando las medias de rendimiento resultan de la suma de efectos de genotipos (G), ambientes (A) y de efectos de interacción (GA), solamente G y GA parecieran relevantes para formular una recomendación de cultivares (Yan y Kang 2003; Yan y Tinker 2006).

Una Interacción Genotipo Ambiente significativa puede ser: 1) del tipo sin cruce cuando el orden de clasificación de los genotipos a través de los ambientes se mantiene, y sólo se presentan cambios en la magnitud de la expresión del carácter evaluado; 2) del tipo cruzado cuando la clasificación de los genotipos cambia con el ambiente. La interacción de cruce es más importante que la interacción sin cruce (Baker 1990; Borém et al. 2008). Cuando se realiza la selección de genotipos para varios ambientes, los fitomejoradores buscan el tipo de interacción sin cruce, esto es, genotipos con adaptación general y el tipo de interacción con cruce para adaptación específica (Okoye et al. 2008).

### **2.2.3. Causas y naturaleza de la interacción**

Las causas de la ocurrencia de la Interacción Genotipo Ambiente son muy discutidas. Una interacción de magnitud importante puede provenir de una alta variación entre los genotipos para caracteres morfo-fisiológicos de resistencia (o de escape) a uno o más tipos de estrés, o de una alta variación entre ambientes para la incidencia del mismo o mismo tipo de estrés (como los determinados por clima, suelo, factores bióticos y de manejo). Su estructura puede también tener

relación con la magnitud de la IGA. Las variedades caracterizadas por pocos niveles de heterogeneidad (líneas puras, genotipos, híbridos simples) o heterocigosis (líneas puras) tienden a interactuar con el ambiente más que los tipos de variedades con comportamiento opuesto (poblaciones de polinización abierta, mezclas de líneas puras) porque son menos ricos en genes de adaptabilidad y su estructura genética los hace más susceptibles a las variaciones en las condiciones ambientales (Balzarini et al. 2005).

Los desarrollos fenológicos de las plantas pueden ser alterados por los factores del ambiente, algunos de amplio efecto y otros de un efecto relativamente insignificante. Dentro de estos factores, los más comunes, causantes de la IGA, se encuentran los factores previsibles o predecibles; a decir, fotoperiodo, radiación solar, tipo de suelo, fertilidad del suelo; toxicidad por aluminio, época, densidad y método de siembra; y, manejo agronómico del cultivo; y los factores imprevisibles, impredecibles o de variación inconsistente, a decir, distribución de lluvias, humedad relativa del aire, temperatura del aire y del suelo, nubosidad, patógenos e insectos (Borém et al. 2008).

Si la Interacción Genotipo Ambiente es significativa, el fitomejorador necesita adoptar criterios para la interpretación de los datos, pues es especialmente importante saber si la interacción resultó de la alteración al orden de mérito de los genotipos de un ambiente a otro o de simplemente alteración en la magnitud de las diferencias entre los genotipos (Borém et al. 2008).

La probabilidad de que dos organismos tengan exactamente el mismo ambiente es infinitesimal, aún en el caso de dos plantas del mismo genotipo que crezcan juntas en el mismo campo de cultivo. La interacción genética con estos microambientes se refleja generalmente en los términos del error de un análisis de variancia. Un macro ambiente, por otro lado, es una serie colectiva de microambientes (Borém et al. 2008).

El término IGA, generalmente se reserva para lugares, años, estaciones, etc. las diferencias entre microambientes de diferentes macro ambientes se espera que sean mayores que entre microambientes del mismo macro ambiente. La complejidad del ambiente es, por lo tanto, más evidente cuando se considera que apenas una parte de la IGA puede ser atribuida a factores del ambiente conocido (Borém et al. 2008).

Cuando una IGA significativa es detectada, el interés se concentra en conocer las causas de esa interacción a fin de hacer una predicción precisa del comportamiento de un determinado genotipo bajo una variedad de ambientes. Entender las respuestas de un genotipo a factores ambientales individuales ayuda a una mejor interpretación y explotación de la IGA. Un factor ambiental representa un estrés cuando presenta un nivel fuera del óptimo (Yan & Kang 2003, Borém et al. 2008).

Las diferencias en la tasa de aumento de la respuesta genotípica a un nivel sub-óptimo refleja diferencias en la eficiencia y las diferencias en las tasas de decrecimiento de la respuesta genotípica a un nivel súper-óptimo refleja diferencias en tolerancia (Baker 1988, citado por

Yán & Kang 2003). Por ejemplo, en condiciones de sequía ocurre que el agua está a un nivel sub-óptimo y la selección se dirige a identificar genotipos que hagan un uso eficiente del agua; en condiciones de inundación hay un nivel súper-óptimo y en este caso la selección se dirigirá a la identificación de genotipos tolerantes a excesos de humedad (Yan y Kang 2003).

En cuanto a la naturaleza de la interacción, las diferencias en la adaptación de genotipos resultan de diferencias en la constitución génica para los caracteres importantes en esta adaptación. La reacción a diferentes cambios ambientales se puede dar desde los mecanismos de regulación génica hasta los caracteres morfológicos finales. Cuando se consideran caracteres métricos de importancia para el mejoramiento debe haber varios factores actuando en los diferentes niveles, desde la regulación génica hasta la manifestación final (Chávez 2001).

Cuando la IGA es significativa a través de cada ambiente se ve reducida la utilidad de la media del rendimiento de los genotipos sobre todos los ambientes para la identificación de genotipos superiores. La detección de la IGA en ensayos de campo y el deseo del fitomejorador de manejar estas interacciones apropiadamente han llevado al desarrollo de procedimientos llamados genéricamente análisis de estabilidad. Los métodos disponibles proveen diferentes estrategias para una mejor interpretación y tomar las mejores alternativas en los procesos de selección y recomendación de cultivares (Yan y Kang 2003).

#### **2.2.4. Implicaciones de la Interacción Genotipo Ambiente en el mejoramiento.**

Los programas de mejoramiento tienen como objetivos desarrollar cultivares estables, de alto rendimiento y otras características deseables a través de un amplio rango de condiciones ambientales. Cuando un carácter es controlado por pocos genes (herencia cualitativa o Mendeliana), la IGA no es una fuente importante de varianza. Mientras que cuando un carácter está gobernado por varios loci con pequeños efectos mostrando varianzas aditivas, dominantes y epistáticas (herencia cuantitativa), la IGA adquiere mayor importancia; se sabe que varios tipos de efectos de los genes interactúan con el ambiente para afectar la expresión de su fenotipo (Pandey y Vargas 1985, Cubero y Flores 2003, Borém et al. 2008).

La IGA es un importante y desafiante fenómeno para los fitomejoradores y profesionales agrónomos que actúan en las pruebas multi-ambientes y en la recomendación de variedades. Cuanto mayor sea la diversidad genética entre los genotipos y entre los ambientes, de mayor importancia será la IGA. Ellos pretenden, por un lado, superar el nivel de adaptación de las variedades existentes (adaptación general). Por otro, es interesante descubrir los ambientes en los cuales una futura variedad puede cultivarse satisfactoriamente (adaptación específica) (Borém et al. 2008).

Los fitomejoradores han reconocido durante mucho tiempo las implicaciones de la IGA en los programas de mejoramiento genético de las especies (Yan y Kang 2003). La IGA es importante para el

fitomejorador porque tiene un impacto negativo sobre la heredabilidad; reduce la correlación entre genotipo y fenotipo y contribuye a la inestabilidad de los genotipos en varios ambientes (Allard y Bradshaw 1964, Borém et al. 2008).

El conocimiento de la naturaleza y magnitud de la IGA contribuye significativamente a determinar el número de ambientes de evaluación en los que los genotipos que deben ser evaluados con el objetivo de lograr la precisión necesaria para medir las diferencias entre genotipos. Adicionalmente, puede ayudar a determinar si es necesario el desarrollo de cultivares para todos los ambientes de interés o si se deberían desarrollar cultivares para ambientes específicos (Yan y Kang 2003).

La IGA se considera de tipo cuantitativo si el orden de los genotipos no cambia al pasar de un ambiente al otro, esto es, si la respuesta diferencial de un genotipo comparado con otro es la misma independientemente del ambiente en estudio. Para los mejoradores este tipo de interacción cuantitativa es menos importante que la de tipo cualitativo, en la cual los genotipos cambian sus ordenaciones relativas en los distintos ambientes. Esta interacción complica el proceso de selección y recomendación de los buenos genotipos (Cubero y Flores 2003, Borém et al. 2008).

También la variabilidad genotípica puede tener influencia en el número de ambientes así en familias se requieren de 3 a 4 ambientes para su evaluación, mientras en familias de medios hermanos se necesitan 7 o más localidades. El *número* de localidades para los ensayos se debe incrementar, si la IGA se debe a factores ambientales



impredecibles (precipitaciones, temperatura, humedad relativa, plagas y enfermedades). La variación genotípica también se puede reducir usando diseños experimentales apropiados. Por otra parte, la estabilidad del rendimiento de un genotipo a través de diferentes ambientes se debe determinar antes de su liberación y recomendación como variedad comercial para una localidad o región determinada, ya que normalmente las variedades evaluadas en ensayos multi-ambiente se han comportado en forma diferencial en los diversos ambientes. Por lo tanto, la comprensión de la IGA observado en Ensayos Multi Ambientes es muy útil en los programas de mejoramiento con el fin de identificar cultivares de alto rendimiento con adaptación amplia o específica (Annicchiarco 1997; Yan y Hunt 2002).

Al diseñar estrategias de mejora de adaptación, los mejoradores deben disponer de la IGA, por lo que es necesario ajustar las técnicas estadísticas para el análisis de estabilidad del rendimiento debido: i) al número y diversidad de genotipos y localidades involucradas en los ensayos multi-ambiente; ii) a la necesidad de estimar y predecir con mayor precisión los rendimientos basados sobre un limitado conjunto de datos experimentales; iii) determinar patrones de respuesta de genotipos interrelacionados con ambientes; y proveer una fuente confiable para la selección de los mejores genotipos y estudiar el comportamiento de cada cultivar en cada uno de los ambientes evaluados (Marín 1995, Cubero y Flores 2003).

La IGA, entendida como un cambio del comportamiento relativo de los genotipos a través de ambientes cambiantes, causa

confusión en la estimación de parámetros genéticos reduce la respuesta a la selección y dificulta la identificación de genotipos superiores; su análisis e interpretación permite identificar mega-ambientes al detectar genotipos estables en un grupos de ambientes diferentes o con mayor rendimiento en uno de estos, proponer estrategias de mejoramiento genético y generar tecnología que permita a los agricultores elegir la mejor variedad en una región o para sus condiciones ambientales y de manejo agronómico (Kang 2003).

Márquez (1994) afirma que la IGA no es sino el comportamiento relativo diferencial que exhiben los genotipos cuando se les somete a diferentes ambientes. Por tanto, los cambios que surgen en el ordenamiento de los cultivares al cambiar de un ambiente a otro indican la presencia de GxA y la ausencia de estabilidad para el carácter en cuestión. Como resultado de estos cambios, un genotipo es capaz de producir varios fenotipos y reducir la correlación entre genotipo y fenotipo. Para la determinación de la interacción G X A, los genotipos deben ser evaluados en diferentes localidades, años e incluso épocas.

El comportamiento diferencial de los genotipos en los diversos ambientes es debido a la IGA, dificultandose la selección de los que están ampliamente adaptados como los más estables (Duarte y Vencovsky 1999). Por otro lado, la presencia de la relacion GXA afecta las estimativas de la varianza genética y por ende sobrestima la ganancia genética esperada por selección, afectando negativamente el éxito de los programas de mejoramientos (Vasquez 1988).

La ocurrencia de la IGA en este tipo de experimentos exige la realización de estudios adicionales con el propósito de precisar la selección de individuos con adaptabilidad general y específica (Yang y Baker 1991). Esta interacción es frecuentemente descrita como la inconsistencia del comportamiento entre genotipos desde un ambiente a otro, y cuando ésta ocurre en proporción reduce el progreso genético de la selección (Magari y Kang 1993).

El término IGA 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). La existencia de la IGA frecuentemente dificulta los progresos en los programas de mejoramiento genético ya que complica la evaluación y selección de los genotipos superiores (Yan y Hunt 2001).

La IGA representa al comportamiento de un genotipo con respecto a aquellos factores del ambiente que varían de una localidad a otra, estableciendo que mientras más estable es un genotipo, menos sensitivo es su comportamiento a los cambios ambientales dentro de una determinada localidad, y cada genotipo alcanza su máximo comportamiento biológico en un ambiente particular que puede determinarse como óptimo (Evenson et al. 1978).

Contreras y Vásquez (2006), estimaron los parámetros de estabilidad utilizando el modelo Eberhart y Russell en (1966); propusieron un modelo para medir la estabilidad genética de los vegetales basado en la técnica estadística de regresión lineal, para lo cual consideraron dos parámetros: la pendiente de la recta de regresión

lineal ( $\beta_i$ ) y la varianza de las desviaciones de la recta de regresión ( $S^2_{ij}$ ). El modelo propuesto por Eberhart y Russell (1966); es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij} \begin{cases} i = 1, \dots, v \\ j = 1, \dots, n \end{cases}$$

**Dónde:**  $\mu_i$  = es la media de la i-ésima variedad sobre todos los ambientes;  $\beta_i$  = es el coeficiente de regresión que mide la respuesta de la i-ésima variedad en varios ambientes;  $\delta_{ij}$  = es la desviación de la regresión de la i-ésima variedad en el j-ésimo ambiente;  $I_j$  = índice ambiental obtenido del promedio de todas las variedades en el ambiente k menos el promedio general.

### 2.2.5. Estabilidad y su análisis

Los investigadores coinciden en la importancia de obtener variedades estables en ambientes muy diversos y de alto rendimiento, pero no se ponen de acuerdo en la definición del concepto de estabilidad, ni en los métodos estadísticos para su estimación. No existe una única definición de estabilidad. Se emplean términos como estabilidad fenotípica, estabilidad del rendimiento, adaptación y adaptabilidad, con un significado diferente en cada caso y en otros como sinónimos (Cubero y Flores 2003; Borém et al. 2008).

Dos conceptos básicos de la estabilidad fenotípica se distinguen: i) el concepto biológico, y el concepto agronómico (Becker 1981). El concepto biológico de la estabilidad se refiere a la consistencia de comportamiento de un genotipo en un amplio rango de ambientes. "Esta idea de la estabilidad está de acuerdo con el concepto de homeostasis

ampliamente utilizado en genética cuantitativa. El concepto de estabilidad agronómica se refiere a que un genotipo es estable cuando su rendimiento está en el nivel de productividad determinado por un ambiente concreto (Becker 1981; Cubero y Flores 2003; Borém et al. 2008). Posteriormente, se definió dos conceptos básicos adicionales de estabilidad, dependiendo del fin propuesto y del carácter en consideración: i) concepto estático, y ii) concepto dinámico (Cubero y Flores 2003). Estas definiciones coinciden, respectivamente, con los ya mencionados conceptos biológico y agronómico (Cubero y Flores 2003; Borém et al. 2008).

Como se aprecia, el concepto de estabilidad tiene diversas definiciones y se han desarrollado varios métodos biométricos para evaluarla (Kang 1997, Cubero y Flores 2003). Estudios de estabilidad se han realizado en muchos cultivos, por mencionar algunos, en cebada (*Hordeum vulgare L.*) (Jalata 2011), en maíz (*Zea mays L.*), en haba y vicia (Stelling et al. 1994) y trigo (Syed et al. 2007).

Los genotipos de estabilidad estática poseen un rendimiento sin cambios, independientemente de la *variación* de los ambientes, lo que implica que su varianza entre los ambientes es cero. Este tipo de estabilidad es rara vez, una característica deseada en los cultivares, ya que ninguna respuesta es esperada frente a las condiciones mejoradas del cultivo (Becker y León 1988). Generalmente, un fitomejorador busca los genotipos estables y al mismo tiempo, de alto rendimiento. La estabilidad estática está asociada a rendimientos relativamente bajos, razón por la cual, se recomienda

el concepto dinámico para estudios de estabilidad de rendimiento (Cubero y Flores 2003, Borém et al. 2008).

La estabilidad dinámica o agronómica, implica que un genotipo es estable si siempre tiene rendimientos altos en el nivel de productividad de los ambientes y con una IGA tan pequeña como sea posible (Becker 1981, Cubero y Flores 2003). Para los caracteres cuantitativos y dentro de ellos el rendimiento, la mayoría de los genotipos reaccionan de forma *similar* a condiciones ambientales favorables o desfavorables (Cubero y Flores 2003, Borém et al. 2008).

El análisis de estabilidad para los genotipos se lo debe de realizar cuando en los ensayos multilocales existe la presencia de una IGA significativa. A lo largo de muchos años, se ha descrito y definido a *estabilidad* de diferentes maneras (Lin et al. 1986, Cubero y Flores 2003). Así mismo, los términos de adaptación, estabilidad fenotípica y rendimiento estable son utilizados de diferentes maneras (Becker y León 1988, Cubero y Flores 2003).

La estabilidad de un carácter para un genotipo en particular significa la capacidad que éste tiene de sufrir variación mínima en los diferentes ambientes. De esta manera, los genotipos deseables mostrarán baja IGA, para caracteres de importancia agrícola, especialmente el rendimiento de *tubérculos*, pero no necesariamente para otras características (Becker y León 1988). Cuando el carácter a estudiar es el rendimiento, se utiliza el término estabilidad fenotípica, para referirse a las fluctuaciones de la expresión fenotípica de rendimiento mientras el genotipo permanece constante (Cubero y Flores 2003).

La mayoría de los programas de fitomejoramiento intentan producir variedades estables en su producción, particularmente para *rendimiento* de materia seca o tubérculos, que resultan importantes para los agricultores cuando adoptan nuevos cultivares. La IGA representa una de las principales dificultades encontradas en los procesos de selección, lo que puede ocasionar que los mejores genotipos en una localidad no sean los mejores en otras localidades dificultando el proceso de recomendación de cultivares para una amplia gama de ambientes, siendo necesaria la selección de genotipos para un ecosistema o sistema de producción específico (Cubero y Flores 2003, Balzarini et al. 2005, Yan y Tinker 2006).

Los estadísticos, que pueden ser utilizados para identificar genotipos estables, son clasificados bajo dos enfoques: paramétricos y no paramétricos. El enfoque paramétrico es más común e implica relacionar respuestas genotípicas observadas, en términos de rendimiento, a una muestra de condiciones ambientales. Es útil cuando los datos son continuos. El enfoque no paramétrico define ambientes y fenotipos, en términos de factores bióticos y abióticos y es útil cuando los datos son discontinuos. El análisis no paramétrico de los datos tiene el potencial de reducir los datos complejos en medidas intuitivas de estabilidad. Sin embargo, el uso de algunos elementos de ambos enfoques es común en la mayoría de los programas de mejora (Becker y León 1988, Romagosa y Fox 1993, Cubero y Flores 2003).

En los métodos biométricos paramétricos univariantes para estimar la estabilidad, se mencionan a ocho estadísticos de estabilidad:

i) la varianza de un genotipo a través de ambientes ( $S_i^2$ ); ii) coeficiente de variabilidad (CV); iii) la media de las variancias de Plaisted y Peterson para todos los genotipos tomados de dos en dos, para estimar la variancia de la interacción para todas las combinaciones posibles de genotipos ( $\bar{\sigma}_i$ ); iv) la variancia de la IGA de Plaisted ( $\bar{\sigma}_i$ ); v) ecovalencia de Wricke ( $W(i)$ ); vi) variancia de la estabilidad de Shukla ( $ff?$ );  $vi_j$ ) coeficiente de *regresión* de Finlay y Wilkinson ( $b_i$ ); variancia residual de la desviación de la regresión de Eberhart y Russell ( $S_{,j}^2$ ) (Wricke 1962, Finlay y Wilkinson 1963, Eberhart y Russell 1966, Shukla 1972, Lin et al. 1986, Cubero y Flores 2003).

Para medir la estabilidad y para estudiar la estructura interna de la IGA a través de los métodos multivariantes se utilizan dos técnicas: (a) técnica de ordenamiento, tales como el factorial; y, (b) Técnica de clasificación como el análisis de grupo y el análisis discriminante (Cubero y Flores 2003).

Una variedad estable se la define como una variedad con capacidad de amortiguamiento o flexibilidad para cambiar en actitud, que, para el caso de variedades agrícolas, significaría ajustar su rendimiento a las condiciones ambientales, es decir, variedades capaces de ajustar sus procesos vitales para mantener la productividad (Marquez 1991, Gordon Mendoza et al. 2006). Variedad estable es aquella que no interacciona con el ambiente, sino que responde mejor a los cambios ambientales (Eberhart & Russell 1966, Vallejo-Cabrera y Estrada-Salazar 2002).



Una variedad es estable si muestra la menor variación del rendimiento sobre todos los ambientes de evaluación (Hanson 1970, Borém et al. 2008). La estabilidad es la respuesta relativa de un genotipo a las variaciones del ambiente en una localidad específica. Además, se distingue la estabilidad espacial, o sea la variación entre repeticiones cuando se cultiva en una misma localidad y la estabilidad temporal que es la variación de una estación de cultivo a otra (Laing 1978, Quemé et al. 2010).

Un genotipo se considera estable si la suma residual de cuadrados es pequeña. La estabilidad de Tipo 4 puede medir la capacidad de un genotipo, en sentido homeostático, para resistir variaciones ambientales impredecibles o súbitas (Cubero y Flores 2003).

#### **2.2.6. Origen genético de la estabilidad**

La estabilidad tiene dos orígenes: i) por el poder tampón derivado de la estructura genética de ciertos genotipos; y, ii) por la existencia de genes específicos de adaptación. Diversos trabajos han asociado una mayor estabilidad a las estructuras genéticas heterogéneas (una población, una mezcla de híbridos, una variedad multilínea, una variedad multiclon) que a las poblaciones homogéneas (una línea parental o híbrido) (Cubero y Flores, 2003). En maíz se da a conocer una mayor estabilidad en los híbridos dobles respecto a los híbridos simples (Eberhart y Russell 1966).

Los genotipos heterocigóticos están menos sujetos a las influencias de ambiente que los homocigóticos, y poblaciones heterogéneas poseen mayor poder tamponante que las homogéneas. La

posibilidad de encontrar una variedad homogénea altamente productiva es mayor que la de encontrar una mezcla (cultivar heterogéneo) altamente productivo, debido a la poca repetibilidad de los datos de estabilidad, la selección para esta característica es de baja eficiencia (Borém et al. 2008).

Desde los puntos de vista fisiológico, morfológico y fenológico, los mecanismos que influyen sobre la estabilidad del rendimiento son la heterogeneidad genética, compensación en los componentes de rendimiento, tolerancia al estrés, y capacidad de recuperación rápida del estrés (Heinrich et al. 1983, Borém et al. 2008). Los mecanismos genéticos que operan en la producción de la estabilidad espacial son la diversidad genética, heterocigosis, plasticidad genotípica, y poliploidía (Vega 1988, Borém et al. 2008).

En general, se ha aceptado que, a mayor variabilidad genética de una especie, mayor su estabilidad sobre el ambiente. El efecto de la heterogeneidad y la heterocigosis es variable entre especies y algunas diferencias inter específicas de estos *efectos* han sido observadas en maíz sorgo y otras especies de plantas (Stelling et al. 1994). Una variedad puede estar compuesta por un número de individuos diferentes, cada una adaptada a un rango diferente de ambientes (amortiguamiento poblacional), o puede estar conformado por individuos semejantes, pero cada uno adaptado a un rango de ambientes (amortiguamiento individual) (Allard y Bradshaw 1964; Borém et al. 2008).

La estabilidad puede ser debida a la presencia de genes de adaptación. La resistencia a una enfermedad *que* afecta el rendimiento,

puede ser considerada un gen de adaptación; si existe un ataque de dicha enfermedad en un ambiente dado, el genotipo resistente tendrá un mayor rendimiento que el genotipo susceptible (Gonzales-García 2001).

#### **2.2.7. La adaptabilidad general (adaptación amplia o estabilidad fenotípica amplia)**

Es la capacidad de algunos genotipos para comportarse óptimamente en un amplio rango de ambientes y estabilidad específica (adaptación específica o adaptabilidad) es la capacidad de comportarse óptimamente en algunos ambientes particulares (Finlay y Wilkinson 1963, Cubero y Flores 2003, Borém et al. 2008). Generalmente, el objetivo de un programa de mejoramiento es el desarrollo de variedades productivas en un amplio espectro de ambientes, pero también el desarrollo de una variedad altamente adaptada a ambientes específicos. En el primer caso, se deben preferir situaciones de pequeña Interacción Genotipo Ambiente y, en el segundo, de gran interacción (Borém et al. 2008).

Por otro lado, la adaptabilidad es la propiedad o habilidad de un genotipo o población de genotipos que permite la alteración de las normas de adaptación en respuesta a distintas presiones de selección; mientras que adaptación es un estado de adecuación a un ambiente dado. Así se distingue entre los siguientes conceptos: i) adaptación específica de un genotipo, es la adaptación concreta del genotipo correspondiente a 'un ambiente limitado; ii) adaptación general es la capacidad de un genotipo para producir en un rango de fenotipos compatibles con un rango de ambientes determinado; iii) adaptación específica de una población, es

la parte de la adaptación específica de una población heterogénea que es atribuible a la interacción entre los componentes más que a la adaptación de los componentes por sí mismos; y iv) la adaptación general de una población es la capacidad de poblaciones heterogéneas para adaptarse a variedad de ambientes (Cubero y Flores 2003, Borém et al. 2008).

También se define la adaptabilidad de un cultivar como la respuesta de un genotipo cuando se cultiva en diversas localidades; adaptabilidad amplia al comportamiento relativo de los genotipos bajo gran diversidad de ambiente y adaptabilidad específica o local como el comportamiento relativo de un genotipo bajo una gama estrecha de ambientes (Laing 1978, Cubero y Flores 2003, Borém et al. 2008).

El término estabilidad se utiliza para describir un comportamiento uniforme y predecible a través del tiempo (estaciones, años) o prácticas agronómicas, de un determinado genotipo en una determinada localidad. La adaptabilidad se refiere a un comportamiento uniforme y predecible de un determinado genotipo a través de distintas localidades. A veces estos términos se utilizan como sinónimos (Vallejo-Cabrera y Estrada-Salazar 2002).

En general, los términos estabilidad y adaptabilidad son empleados con sentido diferente. Tampoco existe unanimidad de criterios y los resultados experimentales son también dispares con relación a sí materiales adaptables son también estables. Varios investigadores han indicado que la estabilidad está bajo control genético, apoyados en que la estabilidad y adaptabilidad muestran una

alta correlación y que la falta de estabilidad indica falta de adaptabilidad (Cubero y Flores 2003).

Los fitomejoradores están de acuerdo que un cultivar exitoso debe presentar en diferentes condiciones ambientales, alta productividad y que su superioridad debe ser estable, pero discrepan en relación a la definición más apropiada de estabilidad y a los métodos para cuantificarla (Borém et al. 2008).

#### **2.2.8. Parámetros de Estabilidad**

Yates y Cochran (1938), aplicaron el análisis de regresión en una red de experimentos con localidades, años y cultivares. Este procedimiento analiza los rendimientos promedio de cada cultivar por localidad con los rendimientos promedios de las localidades, este modelo permaneció sin utilizarse hasta que Finlay y Wilkinson (1963), lo aplicaron al estudiar la estabilidad de 277 cultivares de cebada que en aquel entonces componían la colección Mundial, explicando desde un punto de vista práctico, la adaptabilidad y comportamiento de cada cultivar. Así mismo, los autores antes indicados estimaron la regresión del promedio del rendimiento de cada cultivar en cada localidad con respecto al promedio de rendimiento de todos los cultivares ensayados en cada uno de las localidades, e interpretaron los resultados bajo los siguientes criterios: 1) si el coeficiente de regresión es igual a cero, esto significaba que el cultivar no respondía a ningún cambio del medio ambiente, 2) si el coeficiente de regresión es igual a uno este indicaría que un cultivar se comportaba como el promedio de todas ellas en cada localidad, un caso difícil pero más probable que el anterior, 3) si el

coeficiente de regresión se encontraba entre cero y uno representa una variedad muy estable, que responde a los cambios del medio ambiente, pero en pequeña escala, 4) si el coeficiente de regresión fuese superior a uno, esto significa que la variedad es muy sensible a los cambios del ambiente y puede calificarse como inestable.

Eberhart y Russell (1966), proponen como base el procedimiento de regresión de Finlay y Wilkinson (1963) y desarrollaron algunas modificaciones, las cuales consistieron en utilizar como variable independiente las desviaciones de las medias de todas las variedades en cada ambiente con respecto a la media general, a estas desviaciones les llamaron índices ambientales, contra los cuales se corrió la regresión de las medias de cada variedad en cada ambiente tomadas como variable dependiente. Se considera como una variedad estable a aquella con un coeficiente de regresión igual a uno y poca desviación de las observaciones reales a la recta de regresión ajustada, proponiendo así los estimadores conocidos como parámetros de estabilidad. Estos parámetros de estabilidad son el coeficiente de regresión ( $b_i$ ), que mide la respuesta de la variable dependiente (carácter deseado) por cada unidad de cambio de la variable independiente (índice ambiental) y las desviaciones de regresión ( $S^2_{di}$ ) que corresponde a la proporción en que la respuesta estimada está de acuerdo con la respuesta observada incluyendo las interacciones genotipo-ambiente, indicando si los rendimientos del genotipo son o no predecibles (consistentes ó inconsistentes).

Carballo y Márquez (1972), para una mayor interpretación de los resultados del método propuesto por Eberhart y Russell (1966), propusieron una clasificación en base a los valores obtenidos en los coeficientes de regresión y las desviaciones de regresión clasificando así a las variedades en base a su consistencia (Tabla 1).

Tabla 1

*Clasificación de genotipos para papa en base a los valores de los parámetros  $b_i$  y  $S^2_{di}$  propuestos por Eberhart y Russell (1966), en base a su consistencia ó inconsistencia.*

<b>Categoría</b>	<b><math>B_i</math></b>	<b><math>S^2_{di}</math></b>	<b>Clasificación</b>
a	= 1	= 0	Genotipos estables
b	= 1	> 0	Genotipos con buena respuesta en todos los ambientes pero inconsistentes
c	< 1	= 0	Genotipos con buena respuesta en ambientes desfavorables y consistentes.
d	< 1	> 0	Genotipos con buena respuesta en ambientes desfavorables pero inconsistentes
e	> 1	= 0	Genotipos con buena respuesta en ambientes favorables y consistentes
F	> 1	> 0	Genotipos con buena respuesta en ambientes favorables pero inconsistentes.

Vásquez (1988), manifiesta a los parámetros de estabilidad como la descripción del comportamiento de una variedad en una serie de medios ambientes en función a sus características agronómicas como: altura de planta, diámetro de tallo principal, número de tubérculos por planta, peso comercial y no comercial de tubérculos, resistencia a enfermedades y plagas. Razón por la cual es importante investigar bajo diferentes ambientes y en diferentes años, esto es el

espacio y tiempo (lugares y años) los genotipos, a fin de determinar los de más alto rendimiento y mayor estabilidad.

### **2.2.9. Adaptación**

La adaptación es un conjunto de cambios heredables que se producen en una población de una especie, en respuesta a modificaciones de ambiente donde se desarrolla y produce. Comprende una serie de combinaciones de caracteres, que aumentan la probabilidad de un organismo para sobrevivir y reproducirse en un ambiente específico. Todos los cambios adaptivos heredables son cambios evolutivos, en el sentido que modifican irreversiblemente la estructura y función de una especie. Esta se debe distinguir de la adaptación fenotípica no heredable o aclimatación, que es resultado de la respuesta del individuo al ambiente, sin ser acompañado de un cambio en el genotipo; la capacidad de aclimatación en mayor o menor grado y tiempo es gobernada genéticamente (Sevilla y Holle 2008).

Cuando un grupo de genotipos es evaluado en distintas condiciones ambientales, (años, localidades, y/o épocas de siembra), puede presentar dos tipos de adaptación, general o específica. Un cultivar tiene adaptación general cuando muestra un mejor comportamiento relativo en la mayoría de los ambientes en los que es evaluado. Por el contrario, un cultivar presenta adaptación específica cuando muestra un mejor comportamiento en determinado ambiente en donde fue evaluado. Por otro lado, la adaptación se define como es el comportamiento relativo diferencial de un cultivar en distintos ambientes de evaluación está dado por la presencia de IGA



(Fox *et al.* 1997), que es la respuesta diferencial de un genotipo en cada uno de los ambientes a los cuales es sometido (Vargas *et al.* 1999).

La caracterización de la IGA es necesaria para comprender la adaptación de los cultivos debido a que desde el punto de vista biológico, el estudio de adaptación trata de comprender el fenómeno por el cual la expresión de fenotipos superiores resulta de la continua IGA a través del tiempo. Cuando el cultivo de papa es llevado a cabo en muchos climas del mundo a excepción de las zonas bajas de la franja tropical; en zonas tropicales y subtropicales los rendimientos son más bajos y menos estables que en zonas templadas (16 a 22 °C). En consecuencia el cultivo de papa se adapta desde 0 a 4000 msnm; presentando en un mejor rendimiento entre 2000 a 3800 msnm, con temperatura que fluctúan entre 10 a 20 °C, temperatura por debajo o encima del rango dificulta al rendimiento; requiere de suelos con buena estructura, aireación, materia orgánica y permeabilidad, con una humedad de 60 a 80 % (Egusquiza y Lopez 1980).

Se puede hablar de "adaptación" en el contexto de variación espacial de la expresión de un genotipo, y de "estabilidad" para la variación en un lugar dado, a través de años o bajo distintas prácticas de cultivo. En cualquier caso, podemos referirnos a las dos dimensiones, espacial y temporal, de forma conjunta por ser expresiones del mismo fenómeno (Romagosa y Fox 1993, Borém *et al.* 2008, Quemé *et al.* 2010).

### 2.2.10. Modelo de Eberhart y Russell (MER)

Es un modelo de regresión lineal para el estudio de la estabilidad fenotípica de cultivares, ampliamente utilizado, en todo el mundo, en el estudio de genotipos en ensayos multiambiente. En este modelo, además de la media general y del coeficiente de regresión lineal de cada genotipo, es también considerada como parámetro de estabilidad, la varianza de las desviaciones de la regresión de cada genotipo (Eberhart y Russell 1966). Este tipo de análisis es clasificado como de estabilidad en el sentido agronómico (Becker 1981, Abbott y Pistorale 2011).

El efecto del ambiente puede ser descompuesto en dos componentes, uno lineal y el otro no lineal. El coeficiente de regresión está asociado con el componente lineal, indicando la adaptabilidad del genotipo, o bien, su capacidad de respuesta entre los distintos ambientes. El desvío de la regresión está asociado al componente no lineal e indica estabilidad genotípica. De acuerdo con este modelo, un genotipo es estable cuando presenta una media superior a la media general, un coeficiente de regresión igual a uno y desviaciones de la regresión lineal tan pequeñas como sea posible (Abbott y Pistorale 2011).

Los parámetros para el estudio de la estabilidad son definidos por el modelo de Eberhart y Russell (1966):

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \gamma_{ij} + \xi_{ij}$$

**Dónde:**  $Y_{ij}$  = media del genotipo  $i$  en el ambiente  $j$ ;  $\mu_i$  = media del genotipo  $i$  en todos los ambientes;  $\beta_i$  = coeficiente de regresión que mide la respuesta del genotipo  $i$  a la variación ambiental;  $I_j$  = índice

ambiental;  $\bar{y}_{ij}$  = desvío de la regresión del genotipo  $i$  en el ambiente  $j$ ;  $E_{jJ}$  = desviación de la regresión del genotipo y el ambiente. El índice ambiental, en, cada ambiente, es calculado por el desvío del promedio de todos los genotipos en ese ambiente, en relación con el promedio general:  $I_j = Y_{.j} - Y_{..}$ ,

De acuerdo con esta metodología, la adaptabilidad corresponde a la capacidad de los genotipos de aprovechar ventajosamente los estímulos del ambiente. Un genotipo estable es aquel para el cual se obtiene un coeficiente de regresión igual a la unidad ( $b_i = 1$ ) y una mínima desviación de la línea de regresión  $S_{L} = U$ . Valores del coeficiente  $b_i$  mayores que la unidad, indican adaptabilidad específica a ambientes favorables, pero su comportamiento es pobre en ambientes desfavorables. Por el contrario, si el valor de  $b_i$  es menor que la unidad, indica adaptabilidad específica a ambientes desfavorables. En la Tabla 2, se presenta el significado de estos parámetros para diferentes situaciones (Eberhart & Russell 1966).

Tabla 2

Significado de los parámetros de estabilidad obtenidos por la metodología de Eberhart y Russell (1966).

Coefficiente de regresión {b;}	Cuadrado medio de la desviación de la	Significado
	=fl	Variedad estable y predecible
=1	> 0	Buena respuesta en todos los ambientes, pero poco Predecible
<1	= 0	Mejor respuesta en ambientes desfavorables y Predecible
<1	> 0	Mejor respuesta en ambientes desfavorables, pero poco predecible
>1	= 0	Mejor respuesta en ambientes favorables y predecible
>1	> 0	Mejor respuesta en ambientes favorables, pero no Predecible

Los parámetros  $b_i$  y  $(S^2d_1)$ . Por lo tanto, pueden servir para caracterizar la adaptabilidad de las variedades aún con las limitantes que hemos mencionado.

El coeficiente de regresión de la  $\frac{\sum Y_{ij} \cdot I_j}{\sum I_j^2}$  variedad  $i$  se estima como:  $b_i = Y$

El segundo parámetro de estabilidad que tiene que ver con las desviaciones se estima de la siguiente manera:

$$S^2d_1 = \frac{S_{IJ}^2}{N-2} * \frac{S_e^2}{r}$$

$S_{ij}$  = desviación de la  $i$  variedad en el  $j$  ambiente de regresión y es dado como:  $S_{ij} = Y_{ij} - Y_{ij}$  donde;  $Y_{ij}$  = Valor esperado de  $i$  variedad en el  $j$ .

El método de Eberhart y Russel, así como todos los métodos que utilizan la regresión para determinar la estabilidad en el rendimiento de los genotipos, poseen limitaciones, tales como, el análisis de regresión lineal no es informativo si la linealidad falla, es altamente dependiente del grupo de genotipos y ambientes incluidos y tiende a simplificar modelos de respuesta, explicando la variación debida a la interacción en una sola dimensión, cuando en la realidad ella puede ser bastante compleja (Crossa 1990).

La interpretación de la interacción genotipo por ambiente basada en la técnica de regresión lineal de Eberhart & Russell (1966) fue criticada por varios autores debido a que: (1) los índices ambientales no son independientes de las variedades probadas (el índice ambiental es obtenido a partir de los propios datos) y esto significa una dependencia entre el índice ambiental y la productividad media de cada genotipo cuya estabilidad se quiere determinar, violando así uno de los principios del análisis de regresión que es la independencia entre las variables X e Y. Alternativamente, se ha propuesto utilizar un juego independiente de genotipos que sirva al único propósito de medir la calidad ambiental relativa; (2) la estabilidad de un determinado genotipo depende del comportamiento del grupo de genotipos con que esté comparado; y (3) no es capaz de predecir la respuesta no lineal de los genotipos a los ambientes (Lin et al. 1986, Zobel et al. 1988, Crossa 1990, Annicchiarco 1997, Cubero y Flores 2003).

El objeto de la investigación fue la determinación de la estabilidad de genotipos de un nuevo grupo de población de papa,

generado por el Centro Internacional de la Papa. Estos genotipos constituyen potenciales y futuras variedades. Mediante el modelo de análisis de estabilidad de Eberhart y Russell (1966) y de la Interacción Genotipo Ambiente (IGA), se identificaron los cultivares (genotipos) de papa de amplia y específica adaptación, así como los mejores ambientes. Los ensayos multi-ambiente nos informan la magnitud y el tipo de esta interacción, la misma que después de ser analizada, nos proporcionó información esencial para la selección y recomendaciones de los genotipos estudiados.

Los genotipos de amplia adaptación son los cultivares que interesan al fitomejorador y al genetista, ya que les permite seleccionar y recomendar a genotipos con estabilidad fenotípica a través de una zona amplia, mientras que los genotipos de adaptación específica (adaptabilidad) son los que interesan al agricultor, que están ávidos de conocer que cultivar es el mejor en su área.

A los agrónomos y agricultores les interesa conocer, que ambientes de los estudiados, tienen mejores condiciones para el cultivo de papa y en cuáles tiene los rendimientos de tubérculos más bajos. A los fitomejoradores les interesa conocer, además de que ambientes son mejores para el ensayo multi - ambiente, cuál de los ambientes estudiados discrimina mejor a los genotipos.

El presente trabajo constituyó una investigación, en la cual se aplicó el método científico experimental, que comprende un conjunto de conceptos normativos, epistemológicos, como son la objetividad por los métodos y técnicas a considerar para probar la hipótesis, verificar

los resultados y lograr la verdad fáctica, con sistematicidad del tratamiento estadístico matemático de los valores de la variable de estudio, coherencia entre los valores calculados con los modelos matemáticos y los valores experimentales. Por todo ello, ha sido una investigación, cuantitativa, explicativa, inductiva y experimental.

El principio de causalidad fue evidente, puesto que se logró identificar, los mejores genotipos, los mejores ambientes, los genotipos con adaptación amplia y específica y los mega-ambientes para el cultivo de papa, que permiten extender este cultivo en más áreas y con mayor producción y productividad, al tratar la principal variable dependiente (rendimiento de tubérculos) y la variable independiente (genotipos) en base a la aplicación de un diseño en bloques completos randomizados en un ensayo multi ambiente y a los métodos de análisis de variancia a través de localidades y el análisis de estabilidad por el método de Eberhart y Russell (1966) .

### **2.3. Definición de términos básicos**

**Fenotipo:** Apariencia o aspecto externo de un individuo. Las cualidades físicas observables de un organismo, incluyendo su morfología, fisiología y conducta en todos los niveles de descripción, es decir lo que se puede ver en el individuo, lo que se puede medir o evaluar (Yan y Kang 2003).

El fenotipo de un individuo de diferentes caracteres cuantitativos está determinado por tres componentes básicos: el genotipo o constitución genética del individuo (G), el ambiente específico en el cual el individuo se desarrolla (A) y por la Ingeracción Genotipo Ambiente - IGA (Borém et al. 2008). El modelo básico que incluye la IGA es:  $F=G+A+GA$  (Yan y Kang 2003). El fenotipo

se observa, cuantifica y analiza, mientras que el genotipo no es observable, pero es deducible a partir del fenotipo por diferentes métodos de análisis genético. Como reacción al ambiente un genotipo es capaz de producir varios fenotipos como resultado de la IGA. En otras palabras, individuos con el mismo genotipo pueden mostrar distintos fenotipos dependiendo del ambiente (Puertas 1992, Balzarini et al. 2005).

**Genotipo:** Es la constitución hereditaria completa (expresada o latente) de un organismo. Es la constitución hereditaria completa (expresada o latente) de un organismo. Comprende todos los genes localizados en los cromosomas y los factores de herencia citoplasmática (Vallejo-Cabrera y Estrada-Salazar 2002).

**Variedad:** Agrupación de plantas dentro de un taxón botánico único del rango más bajo conocido, que se define por la expresión reproducible de sus características distintivas y otras de carácter genético”. Variedad y cultivar se consideran términos equivalentes (FAO 2002).

**Cultivares mejorados:** Denominados también «modernos» o «avanzados» son producidos con métodos científicos y sistemáticos de mejoramiento genético. Una variedad mejorada debe ser distinta a las otras existentes (Sevilla y Holle 2008).

**Ambiente:** Es el conjunto de todos los factores externos, de origen no genético, que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas, tales como las condiciones edafoclimáticas, asociadas a prácticas culturales, ocurrencia de patógenos e insectos y otras variables (Vallejo-Cabrera y Estrada-Salazar 2002, Borém et al. 2008).

**IGA:** Es el comportamiento relativo diferencial que muestran los genotipos cuando se los siembra en diferentes ambientes. En otras palabras, es la



incapacidad de un genotipo para responder similarmente cuando se le siembra en varios ambientes. La IGA reduce la asociación entre los valores genotípicos y fenotípicos y obliga a los fitomejoradores considerar la estabilidad o adaptabilidad de los materiales (Vallejo Cabrera Y Estrada-Salazar 2002, Borém et al. 2008).

**Estabilidad:** Habilidad del genotipo para evitar fluctuaciones sustanciales en el rasgo al ser evaluado sobre un rango de diferentes condiciones ambientales (Heinrich et al. 1983, Cubero y Flores 2003).

**Adaptación:** Es un conjunto de cambios heredables que se producen en una población de una especie, en respuesta a modificaciones de ambiente donde se desarrolla y produce. Es un estado de adecuación a un ambiente dado (Sevilla y Holle 1995).

**Mega-ambientes:** Son los sitios que son similares en términos de respuesta genotípica suelen ser agrupados por diferentes métodos, y cada grupo puede identificar un área de cultivo que es relativamente uniforme porque los efectos de la IGA son limitados o despreciables. Tales áreas (posibilidad del objeto de mejoramiento específico) (Yan y Hunt 2002, Balzarini et al. 2005).

**Parámetros de estabilidad:** Descripción del comportamiento de una variedad en una serie de medios ambientes en función a sus características agronómicas como: altura de planta, diámetro de tallo principal, número de tubérculos por planta, peso comercial y no comercial de tubérculos, resistencia a enfermedades y plagas (Yates y Cochran 1938).

**Correlación:** Relación o estrechez positiva o negativa entre dos variables, no tiene unidades y sus valores oscilan de -1 a +1 (Vásquez 2013).

**Coefficiente de regresión (b):** Medida numérica en la variación de la variable dependiente con relación a la variable independiente. Está determinado por la

letra “b” el cual indica que cuando la variable independiente (X) aumenta en una unidad, la variable dependiente (y) aumenta o disminuye en “b”. Entonces regresión es la asociación positiva o negativa entre dos o más variables; dicho de otra manera, regresión es el incremento o disminución del rendimiento (variable dependiente) por cada cambio único de la (s) variable (s) independiente (s) (Vásquez 2013)

**Rendimiento:** Expresión fenotípica resultante de los procesos fisiológicos que se reflejan en la morfología y fisiología de la planta (Seminario 1993).

**Crecimiento:** Implica los cambios cuantitativos, mensurables en la planta, como son, incremento de materia seca o fresca, altura de planta, grosor de tallos, número de tallos, hojas, frutos, etc.; cantidad de ciertas sustancias específicas como proteínas, carbohidratos, grasas, etc (Seminario 1993).

### **Taxonomía de la papa**

Familia: Solanaceae

Género: Solanum

Subgénero: Potatoe

Sección: Petota

Serie: Tuberosa (o serie IX) (Huamán 1986).

### **Características y Morfología de la papa**

Es una planta dicotiledónea herbácea suculenta, herbácea y anual por su parte aérea y perenne por sus tubérculos (tallos subterráneos) que se desarrollan al final de los rizomas que nacen del tallo principal. Los rizomas que son tallos laterales que se forman en los nudos que crecen de bajo del suelo, con crecimiento diageotrópico, entrenudos largos y cuya punta termina

en un gancho cuando se desarrolla los tubérculos, lo hacen desde la región sub pical del rizoma y a veces de varios tallos, según el número de yemas que hayan brotado del tubérculo. Los tallos son de sección angular y en las axilas de las hojas con los tallos se forman ramificaciones secundarias. Las hojas son alternas las primeras tienen aspecto simple vienen después de las hojas compuestas imparipinadas con tres pares de hojuelas laterales y una hojuela terminal entre las hojuelas laterales hay hojuelas en segundo orden (Muñoz 1984 y Egúsquiza 1980).

### **La flor**

La papa es una planta autógama cuyas flores se encuentran situadas en la extremidad del tallo y sostenidas por un escapo floral, poseen colores blancos, rosados, morados o mezcla de dos colores (Cuesta 2002).

Las flores son hermafroditas, tetracíclicas, pentámeras; el cáliz es gamosépalo lobulado; la corola de color blanco a púrpura con cinco estambres, anteras de color amarillo fuerte o anaranjado que por supuesto producen polen. Las raíces se desarrollan principalmente en el verticilo en los nudos del tallo principal su crecimiento es primero vertical dentro de la capa de suelo arable, luego horizontal de 25 a 50 cm, papa posee un sistema radicular fibroso ramificado (Moenne 2008).

### **El fruto**

El fruto es una baya pequeña y carnosa, de forma redonda u ovalada, de color verde amarillento o castaño rojizo, de 0.01 a 0.03 m, el cual contiene las semillas sexuales en un número de 200 a 300. Los cultivos comerciales de papa pueden ser obtenidos a partir de híbridos provenientes de semilla sexual,

pero la semilla sexual se usa generalmente con propósitos de mejoramiento (Cuesta 2002).

### **Los tubérculos**

Los tubérculos son tallos carnosos y constituyen el órgano comestible, formado por tejido parenquimático con reservas de almidón. Los tubérculos se originan en el extremo del estolón y tienen yemas de crecimiento conocidas como ojos. Tres a cinco semanas después de la emergencia de las plantas se produce la tuberización, este proceso se desarrolla según el cultivo, clima y edad fisiológica del tubérculo; llegando a extenderse aun después de que el follaje empieza a amarillar y alcanzando su máxima expresión cuando el 50% del follaje se encuentra seco (Cuesta 2002).

Al expresar que “los tubérculos pueden presentar una forma alargada, redondeada u oblonga; su color, en tanto, puede ser blanco, amarillo, violeta o rojizo”, se manifiesta la gran diseminación de formas y colores que pueden presentar los tubérculos y esto dependerá del lugar y la especie varietal (Sánchez 2007).

Composición química del tubérculo. El tubérculo es en su mayoría agua 80 % aproximadamente, y 20 % sólidos. De los 20 gramos de sólidos 18 son hidratos de carbono (almidón, celulosa, glucosa, sacarosa y pectinas) y los 2 gramos restantes son compuestos nitrogenados (proteínas, aminoácidos y enzimas), vitaminas y minerales (André et al. 2007). De todos los compuestos anteriores el almidón constituye el 60 al 80 % del peso seco del tubérculo y la variación de este atribuye principalmente a factores genéticos y a condiciones climáticas los azúcares ocupan una fracción baja (3 %) sobre el contenido total de la materia seca (Zambrano et al. 2010).

Aparte de vitaminas y minerales, los tubérculos contienen otros fitonutrientes dentro de los que se incluyen los polifenoles, flavonoides, antocianinas, ácidos fenólicos, carotenoides, polimininas y tocoferoles, entre otros. Las composiciones de los tubérculos se encuentran íntimamente relacionadas con diversos factores como son: clima, los sistemas de manejo, el periodo de siembra, la zona de procedencia, la fisiología, el almacenamiento y el estado de post-cosecha (Bonierbale et al. 2004).

### **Influencia de los factores externos.**

Todos los factores ambientales o estímulos externos (frío, calor, luz, humedad, etc.) que gobiernan en el desarrollo vegetal interactúan de modo complejo, convirtiéndose en estímulos químicos (hormonal, enzimático, etc.) con lo cual la relación ecológica queda transformada en efectos metabólicos o fisiológicos (Rojas 1979).

### **Fertilidad del suelo**

Los suelos naturalmente fértiles, que ofrecen menos resistencia al crecimiento de los tubérculos, son los más convenientes, y los suelos arcillosos o de arena con arcilla y abundante materia orgánica, con buen drenaje y ventilación, son los mejores. Se considera un pH de 5.2 a 6.4 en el suelo (FAO 2008).

El suelo debe tener nutrientes disponibles en la cantidad necesaria y en el tiempo oportuno, de acuerdo a los requerimientos para cada una de las fases de su desarrollo del cultivo. De no ser así, el crecimiento y desarrollo serán deficientes. El cultivo de papa tiene una mayor necesidad de nutrientes al inicio de la tuberización hasta finalizar la floración (Montalvo 1984).

El crecimiento de una especie en suelos de alta fertilidad puede estar limitado por la capacidad de absorción del sistema radicular, mientras que, en condiciones de baja fertilidad, el crecimiento puede ser atribuido a la eficiencia de la utilización de los nutrientes, lo que da como resultado el comportamiento diferenciado de los genotipos (Borém et al. 2008).

### **Temperatura**

Tiene efectos morfogenéticos en el crecimiento y desarrollo de la planta; la temperatura influye en la formación del tubérculo, ya que existe una interacción entre esta variable ambiental y la longitud del día denominada termofotoperiodo. Los efectos de temperatura y fotoperiodo son cruciales al inicio del crecimiento temprano del tubérculo y la subsecuente participación de la materia seca (Lujan 1996).

La papa es uno de los cultivos más susceptibles a cambios de temperatura, el frío excesivo no permite el desarrollo de los tubérculos y temperaturas elevadas favorecen la proliferación de plagas y enfermedades; su óptimo oscila entre los 13 a 18 °C, con temperaturas nocturnas frescas para evitar las populares heladas. Generalmente en las madrugadas despejadas (4-5°C), la temperatura llega a bajar considerablemente, alcanzando en ocasiones los 0 °C o menos, motivo por el cual se produce una cristalización o congelación de los haces vasculares conductores. La temperatura afecta el metabolismo porque casi todas las actividades fisiológicas descansan en reacciones termoquímicas. Cada proceso o función requiere una temperatura diferente. Así la respiración es óptima en papa varía entre 16 y 25 °C; pero la materia seca se produce rápidamente a 20 °C en la cual la tasa fotosintética es alta, en cambio la respiración es baja (Sánchez 2007).

## **Fotoperiodo**

Influye considerablemente en el ámbito de crecimiento de la papa; generalmente es considerado como uno de los principales factores que regulan la tuberización. El fotoperiodo influye sobre la síntesis de proteínas y almidón del tubérculo. Las hojas de papa tienen un componente crítico en la planta, para inducir respuestas fotomorfogénicas como crecimiento vegetativo corto, tuberización y floración. En general, las exposiciones de follaje a días cortos inducen la tuberización; las plantas muestran una formación temprana del tubérculo; los estolones son cortos. En exposiciones a días largos, las plantas inducen floración y formación de ramas laterales y la restricción en la tuberización o la producción de tubérculos es mucho más tarde. En realidad, las variedades de *spp. Andigena*, procedentes de los andes de América del sur, absolutamente requieren de días cortos para la tuberización, comparado con variedades de *spp. Tuberosum*, las cuales requieren días largos (Lujan 1996).

En cuanto a los requerimientos de luz, mientras mayor sea la intensidad de la luz, mayor es la fotosíntesis. La relación entre el desarrollo del follaje y el crecimiento de los tubérculos se ve favorecido por estímulos con nitrógeno, días largos, temperatura elevadas y alta humedad (Vásquez 1998).

## **Humedad**

Un cultivo de papa localizado a 3000 msnm necesita entre 600 y 700 mm de precipitación distribuida en forma más o menos uniforme a lo largo del ciclo vegetativo. Dentro de las etapas fisiológicas de la planta, la más crítica, durante la cual no debe faltar agua, corresponde al periodo de tuberización – floración. Aunque siempre hay que tomar en cuenta que, al

igual que la temperatura, los excesos de humedad favorecen la diseminación de bacterias y hongos (Muñoz 1984 y Egúsqüiza 1980).

La fotosíntesis y la respiración dependen del estado hídrico de la planta, en consecuencia su crecimiento y desarrollo. De esta dependen todos los procesos metabólicos, desde simples cambios en las reacciones enzimáticas hasta marchites permanente y muerte de la planta. La necesidad de precipitación es mayor al inicio de la tuberización hasta aproximadamente 20 días antes de la cosecha; sin embargo en nuestra región la precipitación anual oscila entre 700 a 800 mm (Rojas 1979)

### **Interacción de factores ambientales**

Todos los factores ambientales o estímulos externos (frío, calor, luz, humedad, etc.) que gobiernan el desarrollo vegetal interactúan de modo complejo, convirtiéndose en estímulos químicos (hormonal, enzimático, etc.) con lo cual la relación ecológica queda transformada en efectos metabólicos o fisiológicos (Rojas 1979).

### **Índice ambiental.**

Es una estimación del potencial de rendimiento de cada localidad. Es la diferencia entre el rendimiento promedio de las  $v$  variedades en la localidad  $j$  y el promedio de las  $v$  variedades en todas las  $j$  localidades en las que se realizó la valoración (se obtiene como la diferencia entre la media de todos los genotipos en el  $j$ -ésimo ambiente menos la media general o media general de todos los experimentos) (Vásquez 1990).



**Efecto Ambiental:**

El amplio rango de ambientes climáticos y edáficos en los que se cultiva, puede provocar respuestas diferenciales del comportamiento de los genotipos en los diferentes ambientes (Vásquez 1990).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación geográfica de la investigación

El estudio fue instalado en las Regiones Cajamarca y La Libertad (Figs.1 y 2, respectivamente). Dentro de la primera Región se consideraron las localidades Sta. Clotilde (L1) y Sta. Margarita (L2), ubicadas en el Distrito de Baños del Inca; y, Chucmar (L3), Marcobamba (L4) y La Púcara (L5) del Distrito de Tacabamba. En la Región La Libertad, se consideró la Localidad de San Juan del distrito de Chugay (L6). Las localidades antes citadas están circunscritas dentro de las coordenadas 90295 (18 M) y 770587 (17 M) de longitud y 9135709 (18 M) a 9290594 (17 M) de latitud (Tabla 4), con altitudes que van desde 2 900 msnm a 3 600 msnm, temperaturas promedias anuales de 8 a 21.6°C y precipitación promedio anual de 244.3 mm. Los principales índices meteorológicos que se presentaron durante la conducción del experimento (campañas 2016 y 2017), fueron tomados de la estación meteorológica la Encañada, Chota y Chugay(Tabla 3).

Tabla 3

*Localidades del ensayo multi ambiente, claves, época de siembra y cosecha, localización geográfica y altitud.*

Clave	Localidades	Época		Coordenadas Geográficas		
		Siembra	Cosecha	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)
				<b>17 M</b>	<b>UTM</b>	
L1	Santa Clotilde	09/12/16	23/05/17	792487	9211089	2900
L2	Santa Margarita	12/12/16	24/05/17	796210	9211162	2950
L3	Marcobamba	12/12/16	19/05/17	785795	9207676	3036
L4	Chucmar	16/12/16	22/05/17	770587	9290594	3200
L5	La Pucara	14/12/16	26/05/17	778486	9288781	3600
				<b>18 M</b>	<b>UTM</b>	
L6	San Juan	18/12/16	29/05/17	190295	9135709	3578

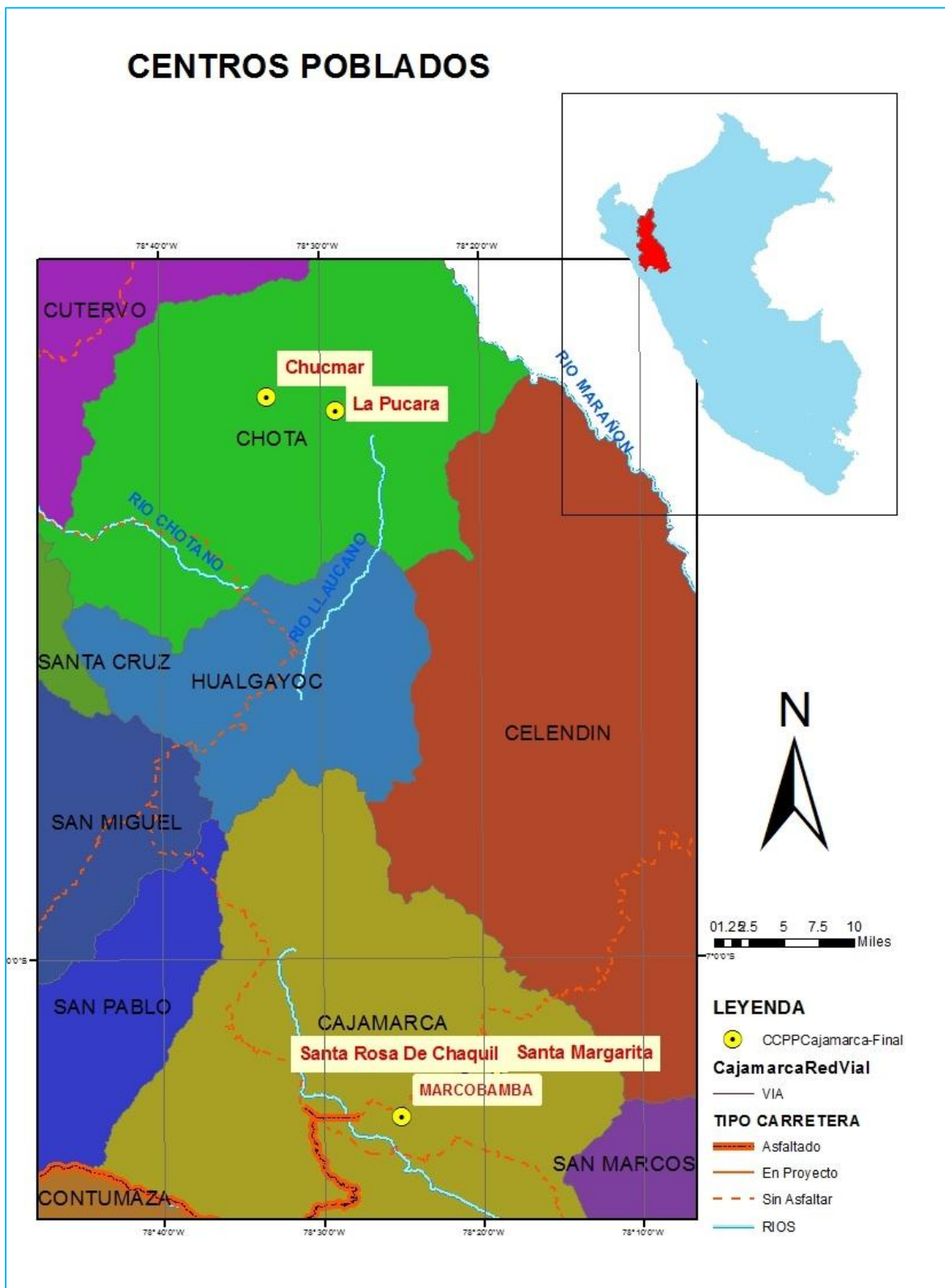


Figura 1. Ubicación geográfica de las localidades experimentales dentro de la Región Cajamarca.

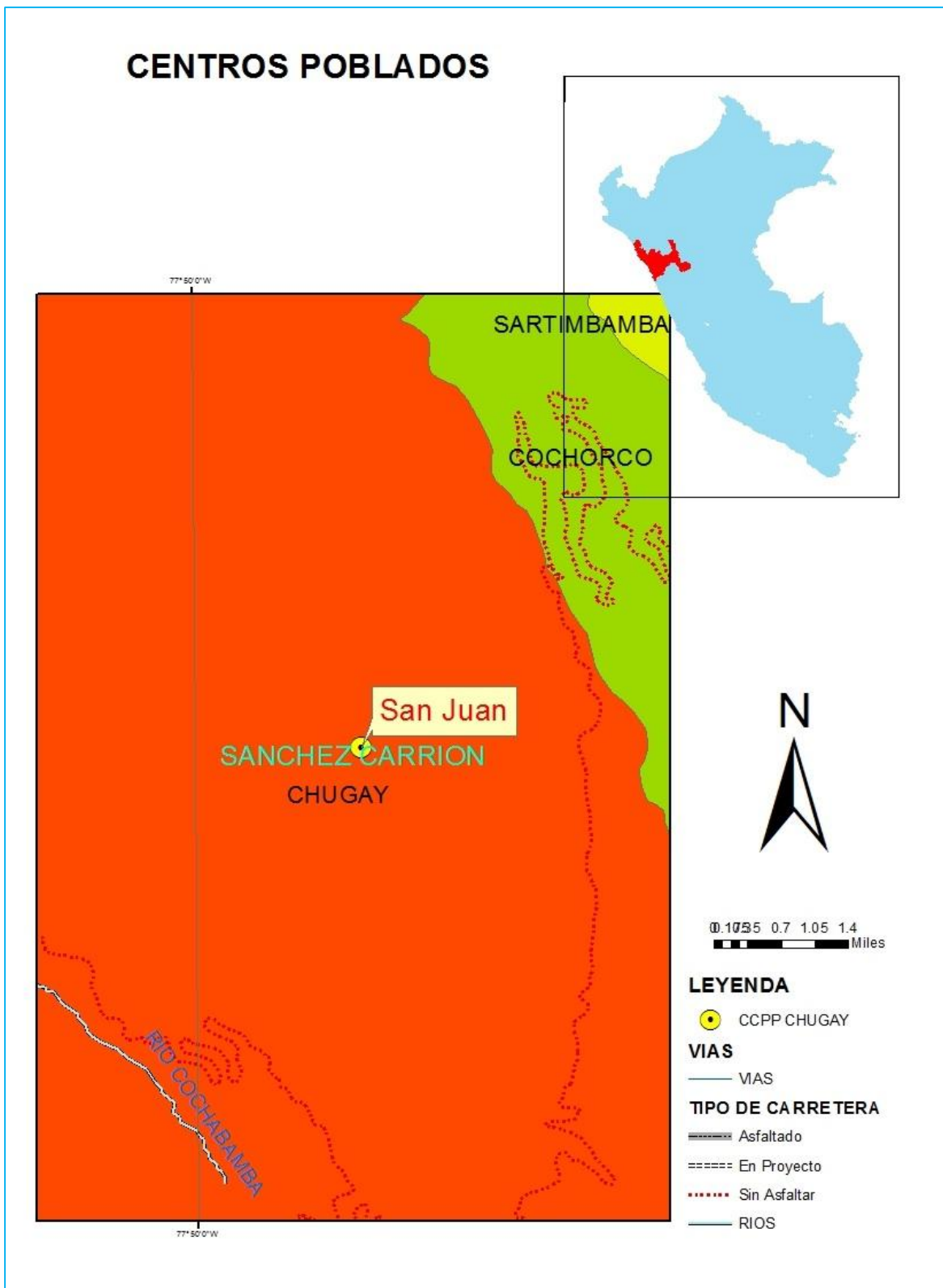


Figura 2. Ubicación geográfica de las localidades experimentales dentro de la Región La Libertad

Tabla 4  
*Principales condiciones climáticas presentadas durante el desarrollo del cultivo  
 (periodo octubre, 2016-abril, 2017).*

<b>Estación Meteorológica Chota</b>				
Meses	Temperatura Max (°C)	Temperatura Min (°C)	Precipitación (mm)	Velocidad del viento 13h (m/s)
Octubre (2016)	22.5	11.5	19	
Noviembre	22.1	12.1	2.4	2.4
Diciembre	21.4	10.6	0.4	3.9
Enero (2017)	20.3	11.5	1.4	2.3
Febrero	21	11.7	6.5	1.4
Marzo	21.6	10.2	2.1	2.3
Abril	20.6	11.4	0.7	2.1
<b>Estación Meteorológica La Encañada</b>				
Octubre (2016)	22.3	3.4	0.2	4.5
Noviembre	19.3	7.9	4.6	5.2
Diciembre	18.9	8.2	2.7	5.1
Enero (2017)	19.4	7.8	2.6	6.1
Febrero	18.6	8.5	6.8	3.7
Marzo	19.2	8.1	1.8	4.6
Abril	19	6.6	2.1	4.2
<b>Estación Meteorológica La Chugay</b>				
Octubre (2016)	19.0	-2.7	19	22.81
Noviembre	19.9	-3.5	2.4	1.8
Diciembre	15.3	1.4	0.4	6.2
Enero (2017)	16.9	5.4	1.4	1.8
Febrero	14.4	4.9	6.5	3.2
Marzo	14.4	4.9	2.1	3.2
Abril	10.0	0.1	0.7	0.024

Fuente: SENAMHI (2017).

### 3.2. Análisis físico-químico del suelo

Cuarenta y cinco días antes de la instalación del experimento, los campos experimentales de las seis localidades consideradas para el desarrollo de la presente investigación, fueron convenientemente muestreados y las muestras de suelo fueron sometidas a un análisis físico químico en el laboratorio de análisis de suelos de la Estación Experimental Baños del Inca- Cajamarca (Tabla 5).

Tabla 5  
Análisis físico químico del suelo de las diferentes localidades.

Detalle	Localidades		Método				
	Santa Clotilde	Santa Margarita	Marcobamba	Chucmar	La Pucara	San Juan	
Fósforo (ppm)	66.3	40.55	35.60	11.45	58.67	51.99	Olsen
Potasio (ppm)	250	150	215	320	150	170	Fotómetro de llama
Ph	5.0	3.4	4.3	6.8	3.4	3.8	Potenciómetro
M.O (%)	2.8	3.81	2.74	2.91	5.18	8.01	Walkey-Black
N (%)	0.13	0.17	0.12	0.13	0.23	0.36	Kjeldahl modificado

Fuente: Laboratorio de suelos de la EE Baños del Inca - Cajamarca, Perú.

La Tabla 5, indica que el suelo de las localidades en estudio, presenta un pH cuyo valor no satisface las exigencias del cultivo. Con excepción del suelo de Chucmar, todas las demás localidades presentan suelos ácidos. Sin embargo, tienen un nivel alto de materia orgánica, bajo en la localidad de Santa Clotilde, de medio a alto de Nitrógeno en las otras localidades para como del fósforo y medio en potasio. Según Christiansen (1967), el cultivo de papa puede adaptarse a varias texturas físicas y químicas del suelo, pero prefiere suelos francos arcillosos, suelos descansados, profundos o húmferos con el pH de 5,5 a 6,5; pero puede superar rangos de 4,5 a 8,5 aunque estos márgenes son excesivos para los rendimientos.

### 3.3. Equipos y Materiales

**Equipos:** GPS – Altímetro (GHARMIN, modelo montana 680), cámara fotográfica (SONY, modelo Cyber-Shot DSC – HX 400 V), balanza (TECNI PESA, modelo tipo Reloj y capacidad de 40 libras).

**Insumos:** Urea (45 % de N), superfosfato triple de calcio (46 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y cloruro de potasio (62 % de K), abono orgánico (Gallinaza: 1.8% de N, 2.3% de P, 35.78% de M.O y 8.4 de pH), pesticidas (Ridomil MZ, Antracol, Furadan 5G, 4F y Adherente).

**Otros:** Zapapico, estacas, cal, cordeles, Bolsas de papel, wincha, etiquetas, lápices, sacos, y rafias.

### 3.4. Materiales y equipo de gabinete

Literatura especializada, calculadora, computadora, Software (SAS).

### 3.5. Material biológico

Tubérculos semilla de ocho genotipos promisorios de papa (Tabla 6), provenientes de la Estación Experimental Agropecuaria Baños del Inca – Cajamarca (INIA). Los genotipos utilizados fueron identificados a través de un número (clave), representan lo más avanzado del material desarrollado por el Centro Internacional de la Papa y tienen el potencial de convertirse en variedades resistentes a *Phytophthora infestans* (Mont de Bary). Esta selección empezó con la cruce de *S. andígena* x *S. andígena* y la población resultante fue mejorada buscando resistencia a *P. infestans*, precocidad, adaptación, apariencia, y altos rendimientos de tubérculos, manteniendo la diversidad de colores de piel, pulpa, alto contenido de materia seca, así como su calidad para el consumo en fresco. La mayor parte de este grupo avanzado es el resultado de 5 ciclos de selección recurrente, en la primera campaña se identificaron 30 genotipos, de *S. andígena* con resistencia parcial horizontal a *P. infestans* que fueron entrecruzados. Luego, la progenie se sometió a un tamizado en zonas endémicas de esta enfermedad y se seleccionaron los



menos susceptibles que nuevamente fueron entrecruzados; y así sucesivamente por 5 ciclos. Cada ciclo demoró un promedio de 4 años. El primer ciclo fue denominado B1C1, el último y quinto ciclo son las B1C5.

Tabla 6  
*Genotipos en Estudio.*

N°	Genotipo y/o variedad	Pedigri	Grupo
1	393077.54	(387348.20 x 389746.2)	B3C1
2	393371.159	(387170.16 x 389746.2)	B3C1
3	396012.266	(391004.10 x 393280.58)	B3C2
4	399076.12	(395266.2 (B1C4046.2) x 395235.8 (B1C4015.8))	B1C5
5	399062.115	(395285.5 x 395282.3)	B1C5
6	399058.12	(395274.1 x 395319.2)	B1C5
7	399062.108	(395285.5 x 395282.3)	B1C5
8	399075.26	(395266.2 (B1C4046.2) x 395282.3 (B1C4062.3))	B1C5

Fuente: INIA, Estación Experimental Baños del Inca (2016).

#### **Atributos y grupos de la Población “B” de los genotipos en estudio.**

Altos niveles de resistencia a la racha y rendimiento de tubérculos, buenos atributos agronómicos (color de piel, pulpa, forma, ojos), tolerancia al calor y sequía, extrema resistencia a PVX, PVY, buena calidad para fritura en algunos genotipos, precocidad de 90 a 120, precocidad en el inicio de tuberización y llenado, bajos niveles de glicoalcaloides, adaptación a diversos ambientes (Landeo, et al. 2000).

### **Población del Grupo: B3C1**

En este grupo se está explotando el efecto de heterosis al cruzar dos subespecies diferentes (*tuberosum* x *andigena*). Se espera encontrar heterosis y/o heterobeltiosis para la resistencia y el rendimiento. En la población B2C2 todavía hay probabilidades altas de obtener ganancia de selección y poder seguir incrementando la frecuencia de genes y genotipos favorables para la resistencia a la racha y rendimiento. También se espera un significativo aporte de la heterosis y/o heterobeltiosis muy asociado con la habilidad combinatoria general (Landeo et al 2000)

### **Población del Grupo B3C2**

Es un grupo derivado de los mejores genotipos de la población A que no tenían genes mayores para la resistencia a la racha, provenientes de *S. tuberosum*, *S. demissum*, *S. bulbocastanum*, *S. acaule*, *S. phureja*, *S. indigena*. Para obtenerlo se realizaron pruebas en laboratorio, tanto en el CIP Lima como en Holanda. En este grupo, la heredabilidad, variancia genética aditiva y la variabilidad es baja, por lo que ya no se tendría ganancia de selección si vamos al B3C4. Sin embargo, se está tratando de importar nuevas fuentes de genes de resistencia para incorporarlos y nuevamente ampliar la variabilidad, las variancias aditivas y heredabilidad (Landeo et al 2000).

### **Población del Grupo: B1C5**

Derivada exclusivamente de cruces de variedades nativas de *Solanum tuberosum* spp *indigena*, para obtener genotipos muy parecidos a estas variedades en su contenido de materia seca y calidad, pero con altos niveles de resistencia a la racha y buen rendimiento. Sin embargo, se

espera continuar con otro ciclo más de recombinación y selección en el futuro. (Landeo et al. 2000).

### **3.6. Metodología**

Se empleó el método científico experimental con análisis cuantitativo. El método consistió en aplicar un arreglo de 8 genotipos experimentales en 24 parcelas (unidades experimentales) por localidad, en un diseño en Bloques Completos Randomizados en cada una de las seis localidades. El método de análisis utilizado para conocer la magnitud y tipo de la IGA, fue el análisis de la variancia a través de ambientes para la variable *rendimiento total tubérculos*, expresado tanto en peso (toneladas por hectárea) como en número de tubérculos por parcela. Comprobada la existencia de una IGA significativa y de tipo cruzada, se realizó el análisis de la IGA, a través del método uni variado de Eberhart y Russell (1966).

#### **Prueba de hipótesis.**

Los términos estabilidad y adaptabilidad se usan como sinónimos. El análisis de la IGA, incluye las metodologías de análisis de la variancia a través de ambientes, utilizando como variable dependiente al rendimiento de tubérculos y como variables independientes a genotipos y a los ambientes.

### **3.7. Técnicas e instrumentos**

Las técnicas empleadas son el experimento y la observación.

#### **Evaluaciones**

Todas las evaluaciones, sean cuantitativas o cualitativas, se realizaron en las plantas de los dos surcos centrales de cada tratamiento. Estas fueron:

**Emergencia.** Se determinó el número de plantas emergidas a los 25 días después de la siembra, contando las plantas que estuvieron sobre la superficie del suelo. Posteriormente se evaluó el vigor de planta, intensidad de floración y madurez del follaje.

**Altura de planta.** Se determinó a los 90 días después de la siembra, utilizando una regla graduada de 100 cm, tomando la distancia entre el *cuello* y el ápice de la planta.

**Durante la cosecha** se evaluó: (1) el número de plantas cosechadas, (2) el número de tubérculos por unidad experimental de cada tratamiento, (3) el número de tubérculos comerciales (libre de enfermedades y plagas); y, (4) el peso de tubérculos comerciales por tratamiento.

**En pos cosecha** se evaluó el número de días de dormancia del brote. Para tal efecto, los tubérculos fueron tratados y colocados en jabas en el almacén a luz difusa, a 10 °C de temperatura y 85 a 90% de humedad relativa.

### **3.8. Análisis estadístico de la Interacción Genotipo Ambiente**

Comprendió el análisis de variancia de los ocho genotipos experimentales a través de localidades para el rendimiento de tubérculos, en toneladas por hectárea (t.há<sup>-1</sup>).

#### **Análisis estadístico.**

Bloques Completos al Azar con 3 repeticiones. La unidad experimental consistió de 4 surcos de 3 m de largo, separados a 1 m. Se sembraron 10 tubérculo semilla de cada genotipo en cada surco y cuando las plantas alcanzaron 35 cm de altura se realizó el deshierbo y se aplicó la

segunda dosis de nitrógeno. A los 45 días de la siembra se realizó el aporque.

Se cosecharon los dos surcos centrales de cada parcela. El rendimiento por parcela se obtuvo en base al peso total de tubérculos (PT), y número total de tubérculos (TT). Cada variable en estudio estuvo sujeta a un Análisis de Varianza, según el modelo estadístico lineal:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, t \\ j = 1, 2, \dots, b \end{cases} \quad (\text{Vásquez, 2014}) \text{ (tabla 7)}$$

**Donde:**

$Y_{ij}$  = Unidad experimental que recibe el tratamiento  $i$  y está en el bloque  $j$ .

$\mu$  = El verdadero efecto medio

$\beta_j$  = El verdadero efecto del  $j$ -ésimo bloque

$\tau_i$  = El verdadero efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

Tabla 7  
*Análisis de varianza literal para cada ambiente.*

<b>Fuente de variabilidad</b>	<b>G.L.</b>	<b>C.H.</b>	<b>C.M.E.</b>	<b>F.C.</b>
<b>Bloques</b>	r-1	CMB	$\sigma^2 + \frac{t\Sigma B^2}{r-1}$	$\frac{\text{CM bloque}}{\text{CMerror}}$
<b>Cultivares</b>	c-1	CMC	$\sigma^2 + \frac{t\Sigma B^2}{c-1}$	$\frac{\text{CM cultivar}}{\text{CMerror}}$
<b>Error</b>	(r-1)(c-1)	CME	$\sigma^2$	

### 3.8.1. Análisis combinado

Se realizó con la finalidad de evaluar la información generada en las diferentes localidades simultáneamente. Se presenta el modelo, la fuente de variación ambiental y sus respectivas interacciones (Vásquez,

2013). Los datos fueron balanceados en todas las localidades:

$$Y_{ijk} = \mu + l_i + r_{j(i)} + \tau_i + (l\tau)_{ik} + e_{ijk}$$

Dónde:

$l_i$ ,  $\tau_k$ , representan los efectos de localidad y de tratamientos.

$(l\tau)_{ik}$ , la interacción de tratamientos por localidad.

Los Análisis de Varianza individuales y el análisis combinado a través de los ambientes, se realizaron usando el software 9.4 (SAS Institute 2013). Los genotipos fueron considerados como efectos fijos y los ambientes y las repeticiones como efectos aleatorios. Las significancias de los cuadrados medios de las fuentes de variación fueron estimadas con la prueba de “F” (Vásquez 2014) (Tabla 8).

Tabla 8  
*Análisis de varianza literal combinado para el Diseño Bloques Completos al Azar*

<b>Fuente de variabilidad</b>	<b>G.L.</b>	<b>C.M.</b>	<b>C.M.E.</b>
Ambiente (a)	a-1	M <sub>1</sub>	$\sigma^2 + c_a^2(r/a) + rc\sigma_a^2$
Bloques/ambiente	a(r-1)	M <sub>2</sub>	$\sigma^2 + c_a^2\sigma^2(r/a)$
Cultivar(c)	c-1	M <sub>3</sub>	$\sigma^2 + r\sigma_{ca}^2 + \frac{ra\Sigma T_a^2}{c-1}$
C x A	a(c-1)(a-1)	M <sub>4</sub>	$\sigma^2 + r\sigma_{ca}^2$
Error	a(c-1)(r-1)	M <sub>5</sub>	$\sigma^2$
<b>Total</b>	<b>acr-1</b>		

### 3.8.2. Método de Eberhart y Russell (1966)

Es un modelo para medir la estabilidad genética de los vegetales. Está basado en la técnica estadística de regresión lineal, para lo cual consideraron dos parámetros empíricos: la pendiente de la recta de regresión lineal ( $\beta_{li}$ ) y la varianza de las desviaciones de la recta de

regresión ( $S_{di}^2$ ). Entonces, supongamos que disponemos de “g” genotipos y “e” localidades, la disposición de datos se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9  
Disposición de los datos en filas (genotipos) y columnas (ambientes).

Genotipos	Ambientes (localidades)				e	Medias
	1	2	3	...		
1	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{13}$	...	$Y_{1e}$	$\bar{Y}_{1.}$
2	$Y_{21}$	$Y_{22}$	$Y_{23}$	...	$Y_{2e}$	$\bar{Y}_{2.}$
3	$Y_{31}$	$Y_{32}$	$Y_{33}$	...	$Y_{3e}$	$\bar{Y}_{3.}$
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
g	$Y_{g1}$	$Y_{g2}$	$Y_{g3}$	...	$Y_{ge}$	$\bar{Y}_{g.}$
Medias	$\bar{Y}_{.1}$	$\bar{Y}_{.2}$	$\bar{Y}_{.3}$	...	$\bar{Y}_{.e}$	$\bar{Y}_{..}$

El modelo propuesto por Eberhart y Russell es el siguiente:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_i I_j + \delta_{ij}$$

**Donde:**

$Y_{ij}$  = Es la media del i-ésimo genotipo en el ambiente j.

$\beta_0 = \mu_i$  = Es la media del i-ésimo genotipo sobre todos los ambientes  
( $i=1,2,\dots,g$ )

$\beta_i$  = Es el coeficiente de regresión que mide la respuesta del genotipo **i** al variar los ambientes.

$I_j$  = Índice ambiental del ambiente j-ésimo, tal que  $\sum_j I_j = 0$  para  $j=1,2,\dots,e$ ; que se calcula como la desviación del promedio de los genotipos en un ambiente dado a partir del promedio general.

$\delta_{ij}$  = Es la desviación de la regresión del  $i$ -ésimo genotipo en el  $j$ -ésimo ambiente.

Las estimaciones de los parámetros  $\beta_0 = \mu_i$  y  $\beta_1$  son estimados a través del método de mínimos cuadrados y es obtenido por:

$$\hat{\beta} = (X' X)^{-1} X' Y$$

**Donde:**

$$Y = \begin{bmatrix} Y_{i1} \\ Y_{i2} \\ M \\ Y_{ie} \end{bmatrix} \quad y \quad X = \begin{bmatrix} 1 & I_1 \\ 1 & I_2 \\ M & M \\ 1 & I_e \end{bmatrix}$$

Por lo tanto, las estimaciones de los parámetros de regresión están dados por:

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{0i} \\ \hat{\beta}_{1i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_i \\ \frac{\sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_j I_j^2} \end{bmatrix}$$

La medida de la estabilidad  $S_{di}^2$  es dada por:

$$S_{d_i}^2 = \left[ \frac{\sum_j (Y_{ij} - \bar{Y}_{ij})^2 - \hat{\beta}_{1i}^2 \sum_j I_j^2}{g - 1} \right]$$



La Tabla 10, resume la interpretación de los parámetros de estabilidad del método de Eberhart y Russell.

Tabla 10

*Interpretación de los parámetros de estabilidad del método de Eberhart y Russell (1966).*

<b>Parámetro</b>	<b>Interpretación</b>
$\hat{\beta}_{1j} = 1$	Estabilidad media. Si tiene un promedio alto: adaptabilidad general; promedio bajo: pobre adaptabilidad
$\hat{\beta}_{1j} > 1$	Genotipos sensibles. Adaptación a ambientes favorables
$\hat{\beta}_{1j} < 1$	Resistencia a cambios ambientales. Adaptación a malos ambientes.
$\hat{\beta}_{1j} = 0$	Estabilidad absoluta. Si tiene un promedio alto: genotipo ideal
$S_{d_i}^2 = 0$	Buena estabilidad
$S_{d_i}^2 > 0$	Mala estabilidad

### 3.9. Conducción del ensayo

Las siembras, deshierbos, aporques, controles fitosanitarios y cosecha, se hicieron en forma similar a la tecnología requerida para estos fines y tomando como referencia lo utilizado por los agricultores de cada zona de estudio.

#### 3.9.1. Diseño experimental

En las seis localidades, los ensayos se establecieron en un diseño experimental de Bloques Completos al Azar, con tres repeticiones. Para el presente trabajo se realizó el análisis de varianza individual, análisis combinado (ambientes, genotipos y la interacción genotipo x localidad y análisis de parámetros de estabilidad como una forma de medir los efectos del medio ambiente. En la figura 3, se muestran las características del diseño experimental.

### 3.9.2. Características y dimensiones del campo experimental

Número total de plantas	: 720
Número de unidades experimentales	: 27
Número de plantas por unidad experimental	: 40
Número de Tratamientos	: 8
Numero de repeticiones	: 3

#### **Bloques:**

Número	3
Ancho	4 m
Largo	36 m
Área	144 m <sup>2</sup>

#### **Parcela:**

Numero de parcelas por bloque	9
Surcos por parcela	4
Largo de parcela	3 m
Ancho de parcela	4 m
Numero de golpes por parcela	40
Distanciamiento entre golpes	0,30 m
Distanciamiento entre surcos	1,00 m
Área de parcela	12 m <sup>2</sup>
Numero de surcos a evaluar	2
Área neta del experimento por parcela	6,00 m <sup>2</sup>

#### **Calles:**

Número de calles	2
Ancho de calle	1,00 m

Largo de calle	32,00 m
Distanciamiento del bloque al borde	0,50 m
Área total del experimento	288,00 m <sup>2</sup>
Área total	507,00 m <sup>2</sup>

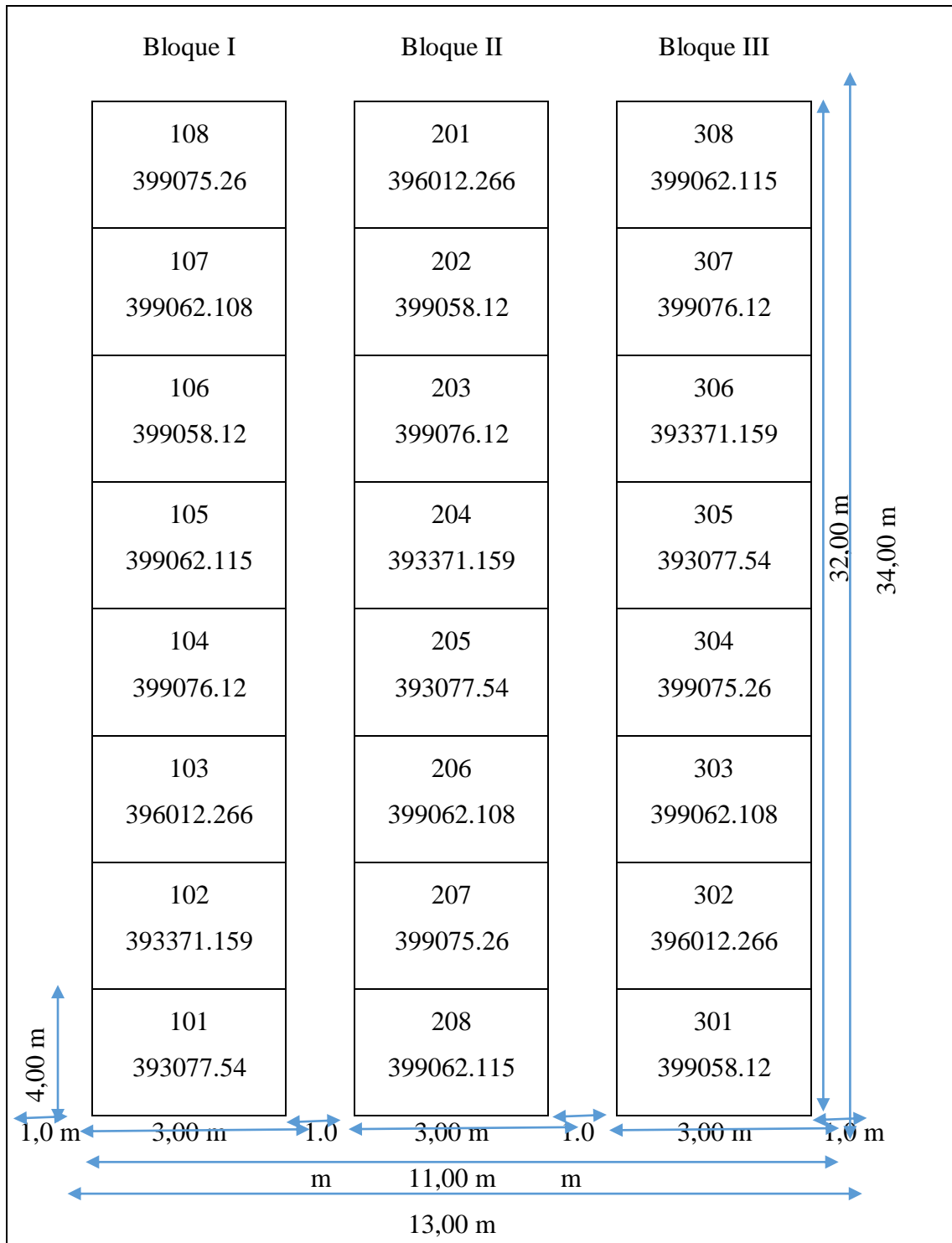


Figura 3. Croquis y distribución de tratamientos en el campo experimental

### 3.9.3. Instalación del cultivo.

**Preparación de tubérculos semillas:** En el almacén de la EEA Baños del Inca, se seleccionó y contó el número de tubérculos a emplear en cada localidad (con brotamiento múltiple) de los 8 genotipos, los que fueron colocados en jabas de madera debidamente identificadas, para luego ser transportados a los campos de cultivo de cada localidad.

**Preparación del terreno:** Se realizó con yunta, 30 días antes de la siembra. Comprendió el arado, dos cruza y surcado del suelo.

**Siembra:** Fue realizada en el mes de diciembre del 2016 en cada localidad, de forma manual y sembrando un tubérculo por golpe, a una distancia de 1,00 m entre surco y 0,30 m entre plantas. La densidad de siembra fue de 40 tubérculos por parcela.

**Fertilización:** En base a los resultados del análisis de suelos, al momento de la siembra, se aplicó una mezcla de fertilizantes compuesta de úrea (46% N), superfosfato triple de calcio (46 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y cloruro de potasio (62% K<sub>2</sub>O), como fuentes de NPK. Al momento de la siembra, se incorporó el 50% del nitrógeno más toda la dosis de fósforo y Potasio. Adicionalmente, se incorporó 2 kg de gallinaza/m<sup>2</sup>. El otro 50 % de nitrógeno se aplicó al momento del deshierbo.

**Deshierbo:** A los 25 días después de la siembra, se practicó un deshierbo manual. Utilizando herramientas manuales (lampas) se removió el suelo ubicado alrededor de las plantas, momento en el cual se aplicó la segunda dosis de fertilizante nitrogenado.

**Aporque:** Fue una labor manual practicada a los 20 días después del deshierbo. Consistió en amontonar tierra en la base de las plantas, no sólo con el propósito de darle a las plantas una mayor estabilidad sino también para crear un ambiente favorable para la tuberización. **Prevención y/o control fitosanitario:** Tuvo la finalidad de evitar/erradicar en el cultivo la presencia de insectos plaga y principales hongos causantes de enfermedades. Al momento de la siembra se aplicó Furadan 5G (30 kg/ha) y, después de la emergencia del cultivo, vía foliar, se aplicó Antracol PM (0.2 %) para prevenir/controlar *Phytophthora infestans*, Furadan 4F (0.17%) para el control de *Epitrix* sp. Ambos productos fueron aplicados conjuntamente con un coadyuvante agrícola (Citowett<sup>®</sup> bio al 0.025%), a los 40 y 60 días después de la siembra.

**Cosecha:** En cada localidad y días antes a esta actividad, se muestrearon los tubérculos por cada bloque para determinar el grado de madurez, en función a la firmeza del peridermo, y fijar la fecha de cosecha.

#### 3.9.4. Sistematización de datos

Una vez ordenados, los datos de campo fueron transcritos a una base de datos (Excel) para calcular algunos estadígrafos y generar Tablas y Figuras para cada carácter evaluado. Los datos referidos a rendimiento, características agronómicas y fenológicas (transformados), fueron analizados con el software SAS versión 9,1, obteniéndose finalmente los ANVAS, y pruebas del rango múltiple de Duncan.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Emergencia, vigor, floración, madurez de follaje y altura de planta.

El promedio de las evaluaciones practicadas a las plantas de los ocho genotipos en las seis localidades en estudio muestra que, el máximo (99%) y mínimo (96.5%) porcentaje de emergencia del cultivo (Tabla 11), fue registrado por los genotipos 399062.108; y ,393371.159 y 399062.108, respectivamente. Los demás genotipos alcanzaron valores intermedios de porcentaje de emergencia. Se deduce entonces, que las fallas en la emergencia variaron entre 1 y 3.5%, lo que probablemente fue debido a los daños físicos que han sufrido los brotes durante la manipulación de los tubérculos semilla durante su traslado o siembra. Al respecto, Calderón (1977), afirma que tubérculos semilla manifiestan cierta debilidad en los brotes, lo que genera la no emergencia de las plantas después de la siembra.

Cuarenta y cinco días después de la siembra, el vigor de planta de los distintos tratamientos evaluados se ubicó dentro de los grados 7 y 9 de la Escala de vigor propuesta por el CIP; es decir, el experimento estuvo compuesto por plantas vigorosas y muy vigorosas, respectivamente. Se espera que este carácter varíe en función al avance del ciclo de vida de las plantas o al efecto del manejo agronómico del cultivo, pues conforme lo señala Resstman (1980), desde la emergencia, las plantas no solo varían en vigor, sino también en tamaño, área foliar, ritmo de crecimiento y por último en producción.

Entre los 80 y 90 días después de la siembra, la intensidad de floración registró un grado promedio de 3 a 5, acorde a la escala del CIP; esto es, de escasa a abundante floración y follaje con madurez de intermedio a maduro, según la misma escala.

A noventa días de la siembra, los genotipos en estudio alcanzaron una altura promedio de planta de 56.9 cm, dimensión que se encuentra comprendida dentro del parámetro señalado por el PEDIGREE de cada genotipo.

Diecinueve a veinte plantas de cada tratamiento alcanzaron madurez fisiológica y por tanto fueron adecuadamente cosechadas, esto equivale al 95 y 100 % de plantas. La diferencia (5% o menos) no fueron cosechadas simplemente por no haber emergido (3.5%) o por haber muerto por causas diversas.

Tabla 11  
*Evaluaciones cuantitativas y cualitativas de ocho genotipos de papa expresados en promedio por localidad.*

Nro.	GENOTIP OS	Evaluación Cuantitativa		Evaluación Cualitativa			Evaluación Cuantitativa		
		TUBERCULO - SEMILLA	EMERGENC IA (%)	VIGOR DE PLANT A	INTENSID AD FLORACIO N	MADUR ES DEL FOLLAJE	ALTUR A DE PLANT A (cm)	PLANTAS COSECHADAS POR TRATAMIENTO	
		Kg/12m 2	N°/12m 2						
1	393371.159	26.6	241.7	96.5	7	2	7	52.3	19
2	399062.115	21.3	223.9	97.7	9	3	5	64.3	20
3	399076.12	21.7	219.9	96.6	7	3	5	57.0	19
4	396012.266	21.6	375.9	98.3	7	2	5	52.6	20
5	393077.54	27.2	241.9	99.0	9	2	5	46.7	20
6	399058.12	20.7	287.4	96.6	7	3	5	52.3	19
7	399075.26	18.6	192.8	97.7	7	3	5	63.2	19
8	399062.108	19.6	277.7	96.5	7	3	5	67.5	19
	PROMEDIO	22.16	257.65	97.36	7	3	5	56.9 8	19



#### 4.2. Susceptibilidad del cultivo a *Phytophthora infestans* medida a través del Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC)

Las lecturas semanales del porcentaje de infección de la hoja por *Phytophthora infestans*, a partir de los 30 días de la siembra y durante todo el periodo vegetativo de los genotipos en estudio y la variedad control (Canchán) (Tablas 1-20 del Anexo 1), en la localidad de Oxapampa, arrojan valores comprendidos entre 120 (Genotipo 393371.159) y 378 (Genotipo 399076.12) y valores intermedios para los demás genotipos. En general, los valores registrados son inferiores al registrado por la Var. Canchan (AUDPC = 2472), considerada como susceptible a racha.

De modo semejante, en la localidad de Comas, los valores de la AUDPC se encontraron entre 636 (Genotipo 396012.266) y 1234 (Genotipo 393371.159), los que, a su vez, resultaron ser menores que los registrados por la Var. Canchán (AUDPC = 2815). La variación de los valores de la AUDPC entre localidades, estaría indicando que, en ellos existen diferentes razas fisiológicas de *Phytophthora infestans*, cuyo grado de patogenicidad resulta estimulado por las condiciones climáticas del lugar; que, el grado de resistencia de los genotipos en estudio tuvo una expresión variable en función a las condiciones climáticas de cada localidad; o simplemente que, a lo largo del ciclo de vida de los genotipos, se presentaron varias generaciones de *Phytophthora infestans*, cada una de ellas con diferente índice de intensidad de ataque. Sobre el particular, Fry (1978) afirma que, el “tizón tardío”, al constituir una enfermedad policíclica, con varios ciclos de infección y de producción de inóculo durante la campaña de cultivo, se espera que su infección se incremente proporcionalmente, tanto en el inóculo inicial como

en el inóculo nuevo producido, el cual depende del huésped, el patógeno, el medio ambiente y las condiciones de manejo del cultivo. Es por ello que el AUDPC es ampliamente recomendado para medir la resistencia del cultivo frente al patógeno. En tal sentido, cuanto más alto es el valor AUDPC, más susceptible es el genotipo o variedad, y viceversa.

En general, el mayor valor del AUDPC obtenido en la presente investigación (1234), resultó ser 2.3 veces menor que el correspondiente a la variedad Canchán (2815), declarada como susceptible a *Phytophthora infestans*, hecho que nos permite calificar a los genotipos en estudio como resistentes a este patógeno, en las localidades y condiciones de experimentación. Al respecto, Oyarzún (2002), afirma que el uso de variedades y ó genotipos resistentes, constituye una de las principales y efectivas prácticas que el mejoramiento genético está introduciendo con gran éxito para disminuir el daño del hongo sobre los cultivos.

Tabla 12  
Valores del Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC),  
*Phytophthora infestans* frente a la variedad Canchán en dos localidades.

Población	Genotipos	2016												
		OXAPAMPA						COMAS						
		LB1	LB2	LB3	LB4	LB5	LB6	AUDPC	LB1	LB2	LB3	LB4	LB5	AUDPC
B3C2	CIP393077.54	0	0	0	4	13	40	285	0	1	8	25	65	919
B3C1	CIP393371.159	0	0	0	0	5	21	120	0	1	8	39	83	1234
B3C2	CIP396012.266	0	0	0	3	10	15	155	0	3	5	15	48	636
B1C5	CIP399058.12	0	0	0	5	13	59	373	5	5	18	30	56	1123
B1C5	CIP399062.108	0	0	0	6	24	63	479	4	6	21	25	33	945
B1C5	CIP399062.115	0	0	0	5	16	58	394	4	5	20	28	35	968
B1C5	CIP399075.26	0	0	0	4	15	40	303	0	3	10	23	26	660
B1C5	CIP399076.12	0	0	0	6	20	44	378	4	5	16	31	65	1179
	Canchan							2472						2815

LB . *Phytophthora infestans*, lecturas de incidencia de la enfermedad evaluados cada ocho días acorde a escala de CIP

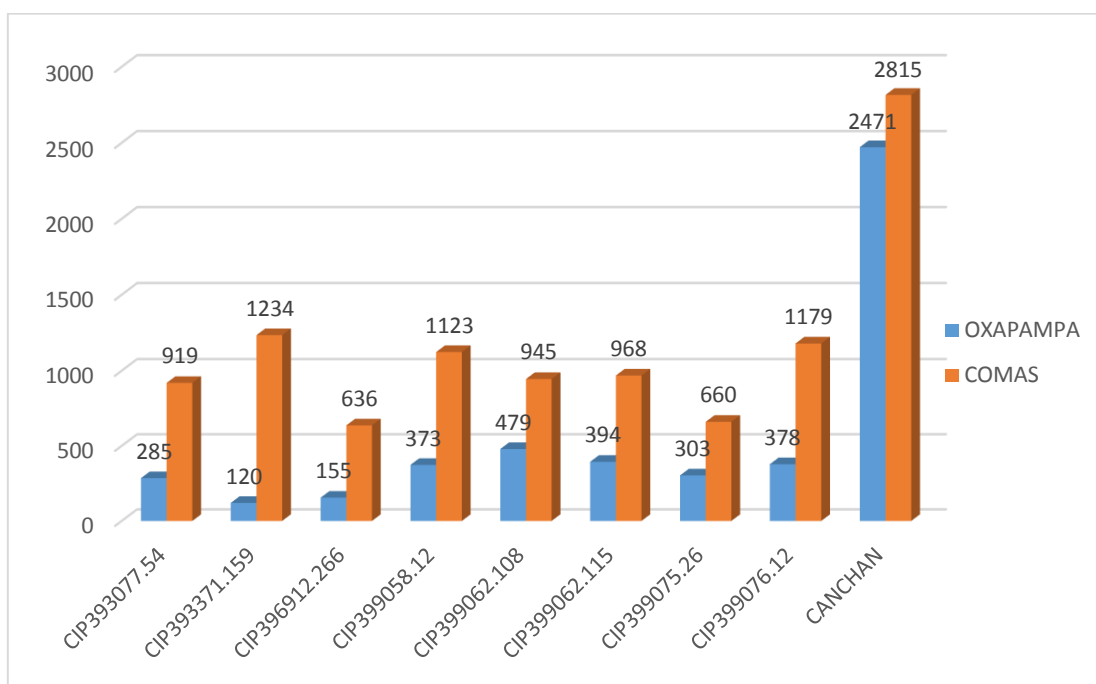


Figura 4. Valores del Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC) *Phytophthora infestans*, frente a la variedad Canchán en dos localidades.

A continuación, se muestran los resultados de las evaluaciones de rendimiento realizados de los seis genotipos realizados en la campaña 2016-2017 (Anexo 4 tabla 21)., se encuentra significación al 1 % de probabilidad, lo cual indica que hay diferencia entre los promedios de los genotipos en estudio.

#### 4.3. Rendimiento de genotipos de papa

En la tabla 13 se presenta el análisis de varianza individual (cuadrados medios) para el rendimiento total de tubérculos de los ocho genotipos de papa, en las seis localidades de experimentación. Se encontró significación estadística al 5 % de probabilidades para la fuente de variación genotipos en cinco localidades, lo cual indica la existencia de diferencias reales entre los

promedios del rendimiento de los genotipos evaluados. El valor de los coeficientes de variabilidad osciló entre 6,59 y 20.13%, lo cual respalda la confiabilidad de los datos y grado de precisión de los ensayos (Vásquez 2013).

Tabla 13

*Cuadrados medios de los análisis individuales de varianza de peso total de ocho genotipos de papa (Solanum tuberosum) por localidad.*

Fuente de variación	G.L	Cuadrado medio					
		Localidades					
		Santa Clotilde	Santa Margarita	Chucmar	Marcobamba	Pucara	San Juan de Chugay
Bloques	2	2,4666	9,7703	2,0400	3,9071	9,7721	5,7932
Genotipos	7	50,7523**	69,7125**	48,3058**	3,8447*	10,4779	17,5949**
Error	14	<b>11,9532</b>	<b>12,1686</b>	<b>5,1391</b>	<b>1,3434</b>	<b>6,4234</b>	<b>4,8211</b>
Total	23						
CV		15,69%	20,13%	12,96%	6,59%	11,82%	13,59%

La prueba de comparación múltiple Duncan al 5% de probabilidad, para los ocho genotipos en cinco localidades (Tabla 14), evidencia que, en la localidad de Santa Clotilde, destacan los genotipos 399075.26, 399058.12 y 399062.115, con rendimientos de 28,471  $\text{tha}^{-1}$ , 24,027  $\text{tha}^{-1}$  y 24,388  $\text{tha}^{-1}$ , respectivamente, superando a los cinco genotipos restantes. En las localidades Santa Margarita, Chucmar, Marcobamba y San Juan de Chugay, sobresalieron los genotipos 393077.54 y 393377.159 con rendimientos que fluctuaron de 26,2049  $\text{tha}^{-1}$  a 16,9  $\text{t ha}^{-1}$  superando a los genotipos restantes; y, en la localidad de la Púcara, el primer lugar en rendimiento, fue ocupado por el genotipo 399075.26, con 23,360  $\text{t ha}^{-1}$ . Este rendimiento está constituido por; N° de plantas/ha; N° de tubérculos de plantas y medidas o peso del tubérculo, que está influenciado por la duración del periodo vegetativo y del crecimiento del tubérculo por día, como lo señala Moorby, J. Y Milthorpe P (1983).

Tabla 14

Prueba de comparación múltiple de las medias Duncan ( $\alpha=0,05$ ) para el rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ). los genotipos en estudio por localidad.

Clave	Genotipos	Localidades					
		Santa Clotilde (Loc-1)	Santa Margarita (Loc-2)	Chucmar (Loc-3)	Marcobamba (Loc-4)	Pucara (Loc-5)	San Juan de Chugay (Loc-6)
1	399075.26	28,471 a <sup>1</sup>	13,499 b	14,069 cd	16,555 b	23,360	14,666 b
3	399062.115	24,388 b	15,555 b	12,277 bc	17,194 b	22,499	18,166a b
2	399058.12	24,027 ab	14,388 b	15,916 bcd	16,805 b	21,055	14,055 b
4	393077.54	23,832 ab	26,249 a	19,305 b	20,055 a	22,388	20,694 a
5	393377.159	22,944 ab	23,110 a	25,749 a	17,360 b	23,820	16,916 ab
6	399076.12	18,527 bc	16,360 b	17,805 bc	18,333 ab	19,305	14,083 b
7	396012.266	17,833 bc	16,805 b	17,472 bc	17,333 b	18,083	14,027 b
8	399062.108	16,249 c	12,638 b	12,305 d	16,972 b	21,694	16,777 ab
Promedio		22,034	17,326	17,487	17,576	21,433	16,173

<sup>1</sup> cifras con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan,  $\alpha = 0,05$ ).

La validez de los resultados de los análisis de varianza queda supeditada a que se cumplan los supuestos del modelo, destacando entre ellos la homoscedasticidad de la varianza (**homogeneidad de varianzas**). En consecuencia, la prueba de Bartlett (1937), cuya secuencia de cálculos se muestran a continuación, muestra que las varianzas son homogéneas, requisito indispensable para determinar la normalidad de errores.

Hipótesis

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_6^2 = 0$$

$$H_A : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \dots \neq \sigma_6^2 \neq 0$$

$$\bar{S}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_r^2 \quad M = k \left( \log_e \bar{S}^2 - \sum_{i=1}^n \log_e S_r^2 \right) \quad X^2 = \frac{M}{c}$$

$S_1^2, \dots, S_n^2$  cuadrados medios

$k_1, \dots, k_n$  grados de libertad

$$\text{Factor de corrección (c)} = 1 + \frac{n+1}{3nk}$$

$$\bar{S}^2 = \frac{41.8488}{6} = 6.9748$$

$$n \log_e \bar{S}^2 = 6 \log_e 6.9748 = 6(1.9423) = 11.6538$$

$$\sum \log_e \bar{S}^2 = \log_e 11.9532 + \dots + \log_e 4.8211$$

=

$$2.480999 + 2.498858 + 1.636878 + 0.295204 + 1.859947 + 1.57300$$

$$= 10.344886$$

$$M = 14(11.6538 - 10.344886) = 14(1.308914) = 18.324796$$

$$c = 1 + \frac{6+1}{3 \times 6 \times 14} = 1 + \frac{7}{252} = 1 + 0.027777 = 1.027777$$

$$X^2 = \frac{M}{c} = \frac{18.324796}{1.027777} = 17.829544$$

$$X_{0.01, 14, gl}^2 = 29.1$$

$$X_c^2 = 17.829544 < X_{0.01, 14, gl}^2 = 29.1$$

La prueba de Shapiro-Wilk (Tabla 15) aplicada a las localidades de experimentación indica que la variable respuesta dispone de una distribución normal (**normalidad de errores**), pues, el valor  $W_c$  de cada localidad es menor que el  $W_{\text{tabular}} = 0.984$ .

Tabla 15  
Prueba de Shapiro-Wilk

Localidad	Estadístico (Wc)						W <sub>atbular</sub>
	Loc-1	Loc-2	Loc-3	Loc-4	Loc-5	Loc-6	W <sub>0,95(24)</sub>
Prueba de							
Sahapiro-Wilk	0,9486	0,9184	0,7729	0,9276	0,9817	0,9060	0,9840

Debido a que se cumple con los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad de errores, se procede a realizar el **análisis combinado de varianza**.

Dada la existencia de una homogeneidad de varianzas, el cuadrado del error combinado se obtendrá mediante la ponderación de los cuadrados medios de los errores (Vásquez 2014):

$$CM_{e\text{ comb}} = \frac{\sum r_i \sigma_i^2}{\sum r_i}$$

$$= \frac{3(11.9532 + 12.1686 + \dots + 4.8211)}{(3 + \dots + 3)} = \frac{3(41.8488)}{18} = 6.9740$$

La Tabla 16, resume el análisis de varianza combinado y muestra una alta significación estadística para el efecto de las Localidades (L), genotipos (G) e interacción genotipo x ambiente (IGA) en el rendimiento total de tubérculos. Ello significa que el rendimiento promedio de tubérculos, es estadísticamente distinto en las seis localidades de experimentación, sino también, entre los ocho genotipos en estudio. Además, la significación estadística de la IGA indica que el rendimiento total de tubérculos es dependiente del efecto combinado de las características ambientales de cada localidad y las correspondientes a cada genotipo de papa estudiado. Estos

resultados son concordantes con los de Colunche (2013) quien evaluó adaptación y rendimiento de seis genotipos en ocho ambientes y los de Pérez, et. al (2007), quienes probaron diez variedades de papa en diferentes ambientes, pues ambos encontraron significación estadística al 1% de probabilidades para variedades y para la IGA.

En nuestro caso, la heterogeneidad entre ambientes estuvo principalmente relacionada con las diferencias en altitud, tipo de suelo, temperaturas y precipitación (Tablas 5 y 6). Notamos que, el cociente de los cuadrados medios de genotipos y los cuadrados medios de la IGA es igual a 3,53 lo cual indica que, en la interacción genotipo x ambiente, el efecto del genotipo es 3,53 veces más importante que el efecto del ambiente (Tabla 16). A su vez, esto demuestra la existencia de variabilidad genética que justifica y permite la selección de genotipos superiores (Vásquez. (1988), Molina (1999).

En efecto, en la Figura 5 se observa que el medio ambiente determina el 25.63% de la variación del rendimiento total de tubérculos, el genotipo con el 21%, y la interacción  $G \times A$  con el 29.71% de la variación, lo que indica la necesidad de probar los genotipos en múltiples ambientes y durante años.

Al analizar la contribución relativa de la suma de cuadrados, se determinó que la interacción  $G \times A$  tuvo la mayor contribución, seguida por el ambiente y los genotipos. Estos resultados difieren con lo mencionado por Yan y Hunt (2002), quienes afirman que en ensayos multiambientes normales, el ambiente contribuye con aproximadamente el 80% de la variación y que los genotipos y la interacción, cada uno lo hace aproximadamente con 10% de la variabilidad total.



Tabla 16  
Análisis de varianza combinado de genotipos por localidades

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F <sub>c</sub>	F <sub>tab</sub> 0,05 0,01	Pr >F
Localidad	5	710,148684	142,029737	20,36**	3,11 5,06	<.0001
Rep/Loc	12	69,482722	5,790226	0,83	1,88 2,41	0,6193
Genotipos	7	581,499761	83,071394	11,9**	2,28 3,18	<.0001
Loc x Gen	35	823,319776	23,523422	3,37**	1,54 1,84	<.0001
Error	84	585,887299	6,974849			
Total	143	2770,338243				
<b>R<sup>2</sup> = 0,7885</b>		<b>CV = 14,14%</b>		$\bar{y}_{...} = 18.67 t ha^{-1}$		

\*\* Altamente significativo (0.01), R<sup>2</sup>=Coeficiente de determinación CV=coeficiente de variación

Las mejores localidades para la evaluación de los genotipos fueron Santa Clotilde y La Pucara, donde se registraron rendimientos promedio de tubérculos de 22,0338 y 21,4332 t. ha<sup>-1</sup> respectivamente, no existiendo diferencias estadísticas entre ellas. En contraste, las localidades con menor productividad fueron Marcobamba, Chucmar, Santa Margarita y San Juan de Chugay, con rendimiento de que oscilaron entre 17,5757 y 16,1730 tha<sup>-1</sup>, no encontrándose diferencias estadísticas significativas entre dichos ambientes.

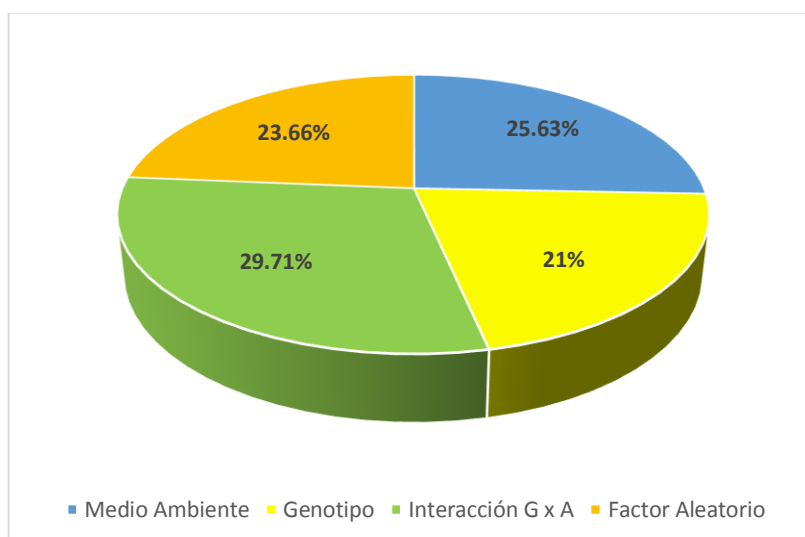


Figura 5. Contribución porcentual de los factores de variación al rendimiento promedio en el ensayo multi ambiente.

Tabla 17

Prueba de comparación múltiple de las medias Duncan ( $\alpha=0,05$ ) para el rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ). los genotipos en estudio por localidad sobre el índice ambiental.

Clave	Localidad	Rendimiento medio ( $tha^{-1}$ )	Significación (5%)	Índice ambiental (Ij)
1	Santa Clotilde	22,0338 a	A	4,03
5	La Púcara	21,4332 a	A	3,31
4	Marcobamba	17,5757 b	B	-1,32
3	Chucmar	17,4871 b	B	-1,42
2	Santa Margarita	17,3257 b	B	-1,60
6	San Juan de Chugay	16,1730 b	B	-3,0

El modelo de parámetros de estabilidad (Tabla 17), comprobó los resultados antes descritos, pues identificó como los mejores ambientes para rendimiento a la localidad de Santa Clotilde y La Púcara por los valores positivos de sus índices ambientales (Ij); es decir, superiores a la media general ( $18,67\ tha^{-1}$ ). En cambio, los ambientes con mal comportamiento fueron Marcobamba, Chucmar, Santa Margarita y San Juan de Chugay, por tener índices ambientales negativos; es decir, menores a la media general.

#### 4.4. Análisis de estabilidad según el Método de Hebehart y Russell (1966)

Tabla 18

*Rendimiento Promedios en (tha<sup>-1</sup>) de ocho genotipos en las seis localidades.*

N°	Genotipos	Localidades					
		Santa Clotilde (Loc-1)	Santa Margarita (Loc-2)	Chucmar (Loc-3)	Marcobamba (Loc-4)	La Púcara (Loc-5)	San Juan de Chugay (Loc-6)
1	399075.26	34,17	16,20	16,88	19,87	28,03	17,60
2	399076.12	22,23	19,63	21,37	22,00	23,17	16,90
3	396012.266	21,40	20,17	20,97	20,80	21,70	16,83
4	399062.115	29,27	18,67	20,73	20,63	27,00	21,80
5	393377.159	27,53	27,73	30,90	20,83	27,70	20,30
6	399058.12	28,83	17,27	19,10	20,17	25,27	16,87
7	393077.54	28,60	31,50	23,17	24,07	26,87	24,83
8	399062.108	19,50	15,27	14,77	20,37	26,03	20,13
	Suma	211,53	166,44	167,89	168,74	205,77	155,26
	Promedio	26,44	20,81	20,99	21,09	25,72	19,41
	I <sub>j</sub>	4,03	-1,60	-1,42	-1,32	3,31	-3,30

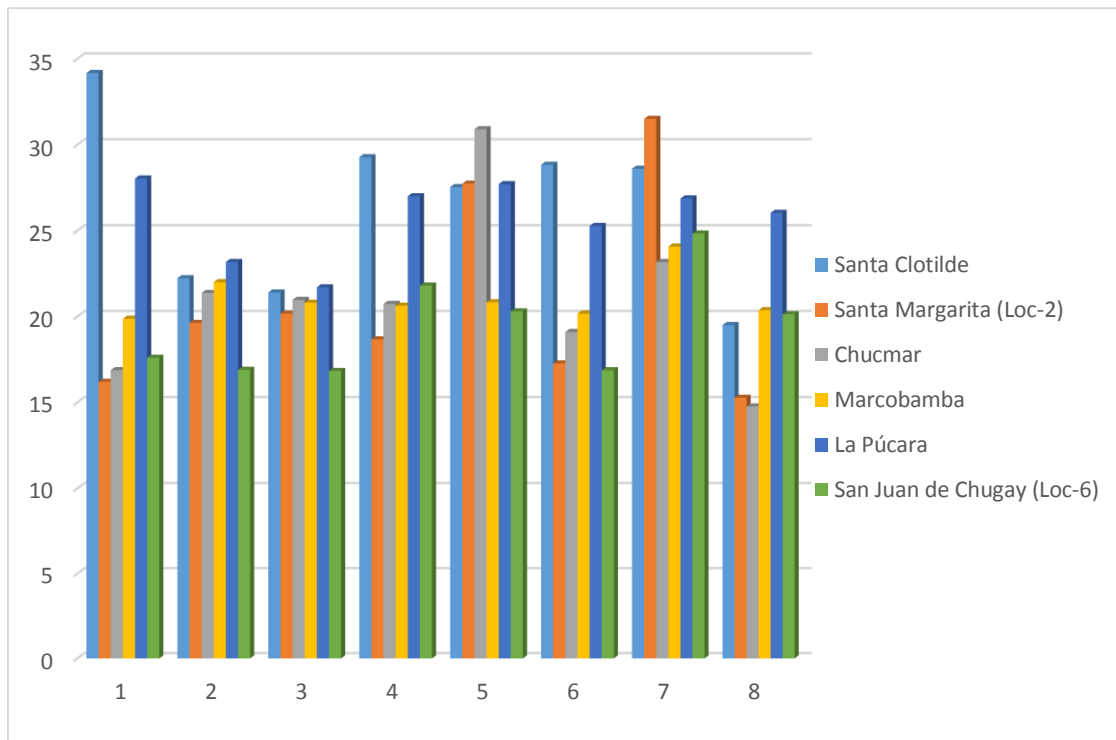


Figura 6. Rendimiento Promedios en ( $tha^{-1}$ ) de ocho genotipos en las seis localidades.

Se encontró significación al 1% de probabilidades para genotipos e interacción G x A (Lineal) (Tabla 19) pero no para la desviación conjunta de los ocho genotipos.

Una vez evidenciada la presencia de interacción G x A se calculó la estabilidad por el método de Eberhart & Russell (1966), del rendimiento (Tabla 19), en el cual se aprecia significación estadística entre genotipos. Esto indica que su comportamiento promedio en todos los ambientes fue muy variado. El comportamiento desigual de los genotipos justifica la utilización de los parámetros de estabilidad. La interacción genotipo x ambiente, al ser significativa indica que los genotipos tienden a comportarse de manera desigual en las diferentes localidades.

Generalmente, lo que el fitomejorador busca son cultivares que manifiesten buen rendimiento en condiciones ambientales favorables y no que se comporten mejor en condiciones adversas. Por lo que resulta razonable el criterio de que el coeficiente de regresión sea igual a la unidad o de que el parámetro de la desviación desde la regresión sea igual a cero para que un genotipo o cultivar sea seleccionado de acuerdo a estos parámetros.

Tabla 19

*Análisis de la varianza para la estabilidad según Eberhart y Russell (1966) de ocho genotipos de papa evaluados en seis localidades.*

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Total	47	1013,702448			
Genotipos	7	278,456497	39,77949 M <sub>3</sub>	5,19 **	
Amb + (G x Amb)	40	789,391800	19,73479		
Amb (Lineal)	1	340,553985	340,553985		
G x Amb (Lineal)	7	770,312495	110,046421 M <sub>2</sub>	14,38 **	
Desviación conjunta	32	244,88099	7,65253 M <sub>1</sub>		
399075.26	4	25,42954	6,35738	0,91147	NS
399058.12	4	11,50670	2,87667	0,41243	NS
399062.115	4	8,24282	2,06071	0,29545	NS
393077.54	4	14,09877	3,52469	0,50534	NS
393377.159	4	75,44103	18,86026	2,70403	NS
399076.12	4	6,15567	1,53892	0,22064	NS
396012.266	4	44,0644	11,07661	1,58807	NS
399062.108	4	59,70002	14,92500	2,13983	NS
Error combinado	84	796,295208	6,974849		

$$F_{(0.05;4,32)} = 2.32 \quad F_{(0.01;7,32)} = 3.25 \quad F_{(0.05;4,84)} = 2.49 \quad F_{(0.01;4,84)} = 3.58$$

$$F_{Genotipo} = \frac{M_3}{M_1} = \frac{39.779499}{7.65253} = 5.19$$

$$F_{G \times Amb(Lineal)} = \frac{M_2}{M_1} = \frac{110.046421}{7.65253} = 14.38$$

En la Tabla 20, se aprecia la clasificación de los genotipos de papa evaluados, según los criterios de Eberhart y Russell (1966), quienes emplearon el comportamiento promedio del genotipo a través de ambientes, su coeficiente de regresión y la desviación de la regresión. Se encontró que los coeficientes de regresión no fueron significativamente diferentes de 1, lo

cual concuerda con los resultados de Colunche (2013) y Pérez et. al (2007).

De otro lado, las desviaciones ( $S_{d_i}^2$ ) de regresión para los genotipos 399075.26; 399076.12; 396012.266; y, 399058.12 no presentaron diferencias significativas entre sí y se consideró que sus valores fueron iguales a cero, considerandolos como genotipos estables.

Los genotipos 399075.26; 399062.115; y, 399058.12, con coeficientes de regresión bi mayores que la unidad y altos rendimientos, se incluyen dentro de la categoría Adaptación general específica a ambientes de altos rendimientos (Tablas 18 y 21). Contrariamente, los genotipos 399076.12; 396012.266; 393377.159; 393077.54; y, 399062.108, con altos rendimientos, pero con coeficientes de regresión por debajo de la unidad, se incluyeron en la categoría Adaptación específica a ambientes de bajos rendimientos.

También se encontró que las varianzas de las desviaciones de regresión  $S_{d_i}^2$ , en la mayoría de los casos, fueron diferentes de cero, en razón a lo cual, los genotipos estudiados fueron considerados como genotipos con buena respuesta en ambientes pobres y de baja estabilidad. Debemos destacar que los genotipos 399076.12; 396012.266; y, 399058.12, tuvieron los valores más bajos de  $S_{d_i}^2$ , lo que indica que son genotipos estables y con la mejor respuesta en ambientes favorables.

Tabla 20

*Rendimiento expresado en peso de tubérculos por parcela y por hectárea de ocho Genotipos de papa y parámetros de estabilidad.*

N°	Genotipos	Rendimiento de peso total (kg/parc.) t ha <sup>-1</sup>		Coefficiente de regresión ( $b_i$ )	Desviaciones de regresión ( $S_{d_i}^2$ )	$s_b$	$t_{cal}$
1	399075.26	21,01	17,51	2,388 **	-2,0898	0,274	5,06 *
2	399076.12	21,25	17,71	0,583	- 0,3271		
3	396012.266	23,02	19,18	0,425	- 0,8937		
4	399062.115	26,51	22,09	1,302 **	0,1228	0,093	3,26 *
5	393377.159	25,83	21,52	0,610	10,7717	0,608	-0,642 NS
6	399058.12	20,25	16,87	1,595 **	- 1,2561		
7	393077.54	20,31	16,92	0,344	5,3668	0,431	-1,522 NS
8	399062.108	19,35	16,12	0,754	8,0391	0,526	-0,467 NS

$$t_{(0,05,6)} = 2.447$$

$$\bar{y}_{...} = 18.71 t ha^{-1}$$

La figura 7 presenta la línea de regresión de cada uno de los ocho genotipos evaluados, según el modelo propuesto por Eberhart y Russell (1966) sobre los valores del índice ambiental. Se observa que los genotipos 399075.26, 199062.115 y 399058.12 muestran adaptación específica a los seis ambientes evaluados y rendimientos promedio de tubérculos superiores al rendimiento promedio de la zona (18.67 tha<sup>-1</sup>).

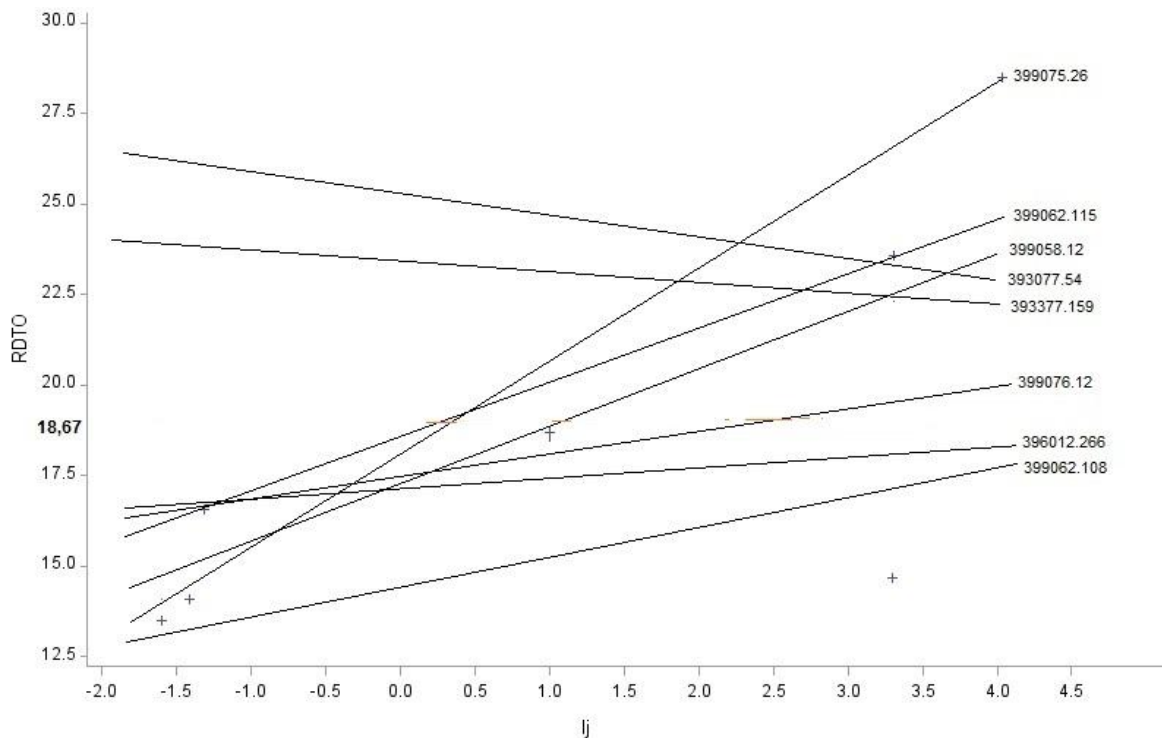


Figura 7. Comportamiento de ocho genotipos de papa en base al rendimiento promedio sobre el índice ambiental (Ij) evaluados en seis localidades.

El análisis combinado de la varianza para el rendimiento expresado como número total de tubérculos (Tabla 21), mostró diferencias significativas ( $p \leq 0,001$ ) entre los genotipos, ambientes e interacción  $G \times A$ . Esto indicó que los genotipos respondieron diferencialmente a los cambios en los entornos de prueba o que los entornos de prueba fueron diferencialmente discriminados por los genotipos estudiados, cuyos rendimientos fueron positivamente influenciados por una uniforme, temprana y elevada emergencia (97.36%) y buen vigor de planta (grado 7 en la escala CIP), factores que, según Egúsqiza (1980), contribuyen a formar una mayor área foliar, la cual se traduce en un mayor valor de índice de área foliar, que finalmente conduce a la producción de un mayor número de tubérculos.



También se determinó que el medio ambiente representó el 47.5% de la variación del número total de tubérculos, el genotipo 10.12%, y la interacción  $G \times A$ , el 26,56%. Entonces, queda demostrada la necesidad de probar los genotipos en múltiples ambientes y durante años.

Tabla 21  
*Análisis de varianza combinado para el número total de Tubérculos*

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	$F_c$	$F_{tab}$ 0,05 0,01	Pr >F
Localidad	5	918,745331	183,749066**	52,78	3,11 5,06	<.0001
Rep/Loc	12	13,274124	1,106177	0,32	1,88 2,41	0,9844
Genotipos	7	195,872081	27,981735**	8,04	2,28 3,18	<.0001
Loc x Gen	35	513,820970	14,680599**	4,22	1,54 1,84	<.0001
Error	84	292,447903	3,481523			
Total	143	1934,160412				
<b><math>R^2 = 0,8488</math></b>		<b>CV = 12,01%</b>		<b><math>\bar{y}_{...} = 15.53</math></b>		

\*\* Altamente significativo (0.01),  $R^2$ =Coeficiente de determinación CV=coeficiente de variación

La prueba de diferencia mínima significativa de Duncan ( $p < 0.05$ ) para las localidades (Tabla 22), mostró que en Santa Margarita se obtuvo el mayor número total de tubérculos (19,0694), superando estadísticamente a las cinco localidades restantes. Es posible que, en esta localidad, los genotipos encontraron condiciones adecuadas de suelo y ambiente para su crecimiento y desarrollo. Se ubicaron en un segundo y tercer lugar las localidades de Santa Clotilde y Marcobamba, con 17,3575 y 17,0406 tubérculos, respectivamente; no existiendo diferencias estadísticas entre estas dos localidades. El valor más bajo del número total de tubérculos se obtuvo en la localidad de San Juan de Chugay.

Brown (2007), considera que los factores meteorológicos que influyen en el proceso de tuberización de la papa, en un determinado lugar, son básicamente las temperaturas del aire y del suelo, la radiación solar, el fotoperiodo, la humedad del suelo y el uso del agua para el cultivo. Entonces, si los genotipos difieren en su habilidad para producir un número variable de tubérculos, es porque muestran diferente sensibilidad a las condiciones medioambientales que caracterizan a las localidades de experimentación.

Según el modelo de Eberhart y Russell (1966) las localidades en las cuales se han producido los mayores incrementos del rendimiento en términos, número de tubérculos totales de los genotipos en estudio, fueron Santa Margarita, Santa Clotilde y Marcobamba (con 19,0694, 17,3575 y 17,0406 TT) por tener índices ambientales (I<sub>j</sub>) con valores positivos. Lo reverso fue observado en las localidades de Chucmar, La Púcara y San Juan de Chugay, en las cuales se obtuvieron Índices ambientales con valores negativos (Tabla 22).

Tabla 22

*Prueba de comparación múltiple de las medias Duncan ( $\alpha=0,05$ ) para el total de tubérculos de los genotipos en estudio por localidad sobre el índice ambiental.*

Clave	Localidad	Total Tubérculos	Significación (5%)	Índice ambiental (Ij)
2	Santa Margarita	19,0694	A	118,35
1	Santa Clotilde	17,3575	B	51,89
4	Marcobamba	17,0406	B	39,94
3	Chugmar	12,2917	C	-35,15
5	La Púcara	13,8965	C	-57,81
6	San Juan de Chugay	11,5388	D	-117,19

La prueba de comparación múltiple de Duncan al 5% (Tabla 23), revela que, independientemente de la localidad, el rendimiento, expresado como número total de tubérculos del genotipo 396012.266, es estadísticamente superior al de los demás.

Así mismo, el rendimiento de los genotipos: 399058.12, 399062.108 y 393077.54 son estadísticamente semejantes al haber alcanzado valores promedios que oscilan entre 17,984 a 15,316 tubérculos, respectivamente. De modo semejante, no hubo diferencias estadísticas entre los rendimientos alcanzados por los genotipos 399062.115, 399076.12, 393377.159 y 399075.26, los cuales oscilaron entre 14,408 y 14,743 tubérculos totales.

Tabla 23

*Prueba de comparación de medias (Duncan 5%) para la producción de Tubérculos Totales.*

Clave	Genotipos	Promedio	Sign.
7	396012.266	17,984	a
2	399058.12	16,572	ab
8	399062.108	15,989	a b
4	393077.54	15,316	a b
3	399062.115	14,743	b
6	399076.12	14,643	b
5	393377.159	14,606	b
1	399075.26	14,408	b

El Análisis de varianza para la estabilidad del rendimiento en términos de número total de tubérculos (Tabla 24), según la metodología propuesta por Eberhart y Russell (1966), mostró diferencias significativas ( $P \leq 0,01$ ) entre las medias de los genotipos (G) y la interacción G x A (Lineal). Las diferencias entre genotipos permiten detectar aquellos con mejor potencial genético, mientras que las diferencias de la interacción GxA, revelan que existe una respuesta diferencial cambiante de los genotipos a través de ambientes para la variable respuesta número total de tubérculos, lo cual justifica el análisis de regresión.

Según Carballo y Márquez (1970), Eberhart y Russell (1966) al utilizar el concepto de estabilidad, señalan que un valor de  $b_i = 1$  o cercano a este, indicará ausencia de la interacción G x A; por lo tanto, bajo esta definición, el rendimiento, en número total de tubérculos, de los genotipos 399075.26, 399062.115, 399058.12 y 399062.108 puede ser calificado como una buena respuesta a ambientes favorables y consecuentemente es considerado como estable, ya que los  $b_i$  no fueron significativamente diferentes de 1. Asimismo,

los genotipos 399076.12, 396012.266, 393377.159 y 393077.54 se comportaron como genotipos con buena respuesta en ambientes desfavorables pero inconsistentes (Tabla 24).

Tabla 24  
Análisis de la varianza para la estabilidad según Eberhart y Russell (1966) de ocho genotipos de papa evaluados en seis localidades para Tubérculos Totales.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	Ft
Total	47	552672,3256			
Genotipos	7	68648,66967	M <sub>3</sub>	5,19 **	
Amb + (G x Amb)	40	292856,1543			
Amb (Lineal)	1	292961,2362			
G x Amb (Lineal)	7	32778,7638	M <sub>2</sub>	14,38 **	
Desviación conjunta	32	158346,6371	4948,3324	M <sub>1</sub>	
399075.26	4	13767,5971	3441,8992		
399058.12	4	5178,4293	1294,6073		
399062.115	4	63542,0233	15885,5058		
393077.54	4	3546,5363	886,6341		
393377.159	4	37027,856	9256,964		
399076.12	4	6825,9686	1706,4922		
396012.266	4	5395,8212	1348,9553		
399062.108	4	22998,4615	5749.1537		
Error combinado	84		3,481523		

$$F_{(0.05;4,32)} = 2.32 \quad F_{(0.01;7,32)} = 3.25 \quad F_{(0.05;4,84)} = 2.49 \quad F_{(0.01;4,84)} = 3.58$$

Las varianzas de las desviaciones de regresión  $S_{d_i}^2$  (Tabla 25), cuyos valores son diferentes de cero y carecen de diferencias estadísticas significativas entre sí, califican al rendimiento, en número total de tubérculos, como una buena respuesta de los genotipos a ambientes pobres y de baja estabilidad.

Tabla 25

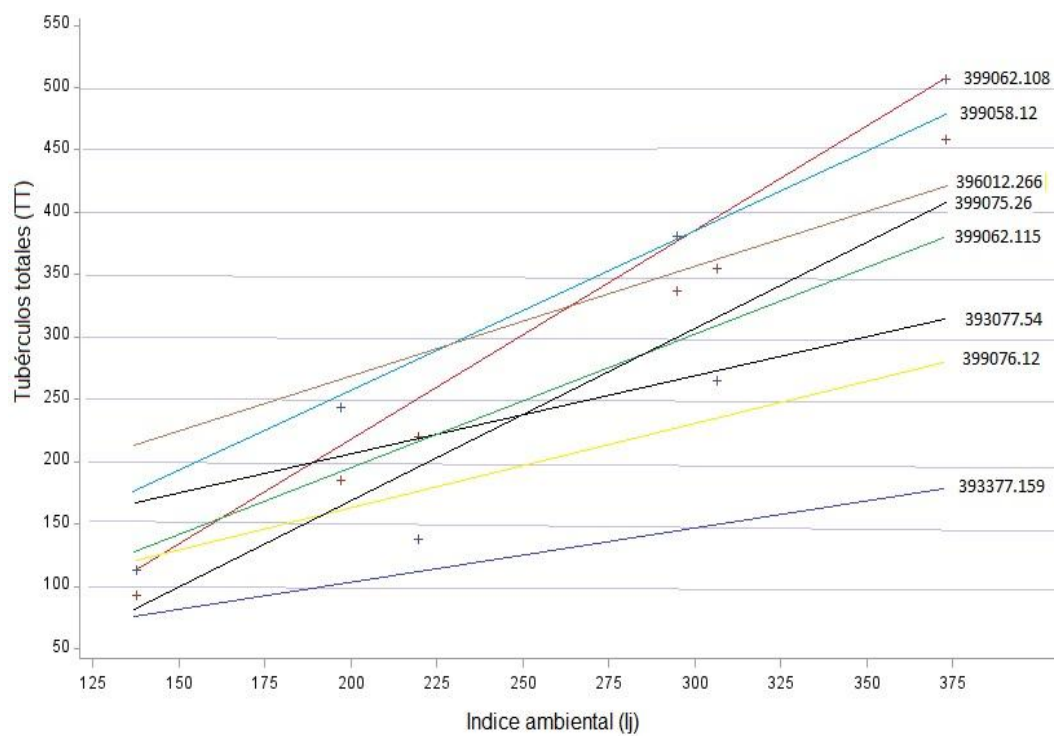
*Rendimiento de la producción de Tubérculos Totales de ocho genotipos de papa y parámetros de estabilidad.*

N°	Genotipos	(TT/parc.)	Coeficiente de	Desviaciones de		$t_{cal}$
			regresión	regresión	$s_b$	
			$(b_i)$	$(S_{d_i}^2)$		
1	399075.26	14,408	1,291754	3440,7367	0,274	5,06 *
2	399076.12	14,643	0,717480	1293,4468		
3	396012.266	17,984	0,605692	15884,3453		
4	399062.115	14,743	1,141232	885,4736	0,093	3,26 *
5	393377.159	14,606	0,599499	9255,8035	0,608	-0,642 NS
6	399058.12	16,572	1,254641	1705,3317		
7	393077.54	15,316	0,839733	1347,7948	0,431	-1,522 NS
8	399062.108	15,989	1,551500	5745,9933	0,526	-0,467 NS

$$t_{(0,05,6)} = 2.447$$

$$\bar{y}_{...} = 15,52$$

En base al modelo de Eberhart y Russell (1966) y los valores de índice ambiental, la Figura 8, presenta las líneas de regresión ajustadas de cada uno de los ocho genotipos evaluados. Se observa que los genotipos de mejor rendimiento son el 399062.108, 399058.12, 396012.266 399075.26 y 399062.115, pues han superado el promedio del número total de tubérculos (15,52) de los genotipos en estudio.



*Figura 8.* Comportamiento de ocho genotipos de papa en base al número de tubérculos totales (TT) promedio sobre el índice ambiental (Ij) evaluados en seis localidades.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

- Las diferencias altamente significativas que se observaron entre genotipos, entre localidades y en su interacción (IGA) sugieren que hay suficiente variabilidad genética para seleccionar genotipos sobresalientes, que los ambientes de la región Cajamarca son heterogéneos y que la IGA significativa dificulta la identificación de genotipos estables.
- Los mejores índices ambientales, peso de tubérculos y tubérculos totales fueron en las localidades de: Santa Clotilde, La Púcara, Marcobamba y Santa Margarita, ubicados en Cajamarca y Chota.
- De acuerdo al modelo de Ebarhart y Russell identificó a los genotipos: 396012.266 (3) y 393377.159 (5) con rendimientos de  $19,18 \text{ tha}^{-1}$  y  $21,52 \text{ tha}^{-1}$ , superiores al promedio y con  $b_i < 1$ ,  $s^2_{di} = 0$ , que respondieron mejor a condiciones desfavorable y consistentes.
- También se identificó al genotipo 399062.115 (4) con un coeficiente de regresión  $b_i > 1$  y desviación de regresión  $s^2_{di} = 0$ , considerado como el genotipo estable y consistente y con alto potencial de rendimiento ( $22,09 \text{ tha}^{-1}$ ).
- El genotipo 399062.115 para número de tubérculos totales presentó un coeficiente de regresión  $b_i = 1$  y una desviación de regresión  $s^2_{di} > 0$  considerado estable e inconsistente.



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con la investigación, teniendo especial interés en la instalación y evaluación de estos genotipos en ambientes contrastantes, y por varias campañas.
- Instalar parcelas de validación económica del genotipo 399062.115 que manifestó ser estable y con un buen rendimiento, para determinar su rentabilidad, análisis de riesgo y sensibilidad frente a las variedades más difundidas.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, L. & Pistorale, s., 2011. Análisis de la estabilidad y adaptabilidad de caracteres de interés agronómico en genotipos selectos de cebadilla criolla (*Bromus catharticus*). *Agriscienta. Universidad Nacional de Luján. Buenos Aires, Argentina*,28(2).
- Allard, R; Bradshaw; Borém, et al.,2008. 1964. Implications of genotype-environment interactions in applied plant breeding. *Crop Sci.* 4:503-507.
- Annicchiarco, P., 1997. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis of genotype-location interaction in variety trials repeated over years. *Theoretical and Applied Genetic*, 94(8), pp. 1072-1077.
- Bänzinger, M., Edmeades, G. O., Beck, D. & Bellon, M., 2000. *Breeding for Drought Nitrogen Stress Tolerance in Maize: From theory to practice.*, México: CIMMYT, México, D.F. pp. 68.
- Bänzinger, M., Setimela, P.S., Hodson, D. & Vivek, B., 2006. Breeding for improved abiotic stress tolerance in maize adapted to southern Africa. *Agricultural Water Managment*, Volumen 80, pp. 212-224.
- Balzarini, M., Bruno, C. & Arroyo, A., 2005. Análisis de Ensayos Agrícolas Multiambientales. Ejemplos en Info-Gen. *Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Estadística y Biometría. Primera. Ed.*, p. 141.
- Baker, R. J., 1990. Crossover genotype-environmental interaction in spring wheat. In: Kang, M.S. (ed). *Genotype-by- Environment Interaction.* Baker, R. J. 1990. *Crossover genotype-environmental interaction Louisiana State University Agricultural Center Baton Rouge, LA.*, pp.42-51.
- Baker, R. J., 1988. Test for crossover genotype-environmental interactions. *Canadian Journal of Plant Science*, Volumen 68, pp.405-410.
- Becker, H. C. & León, J., 1988. Stability analysis in plan breeding. *Plant Breeding Review*, Volumen 101, pp.1-23.
- Becker, H. C., 1981. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica*, Volumen 30, pp. 835-840.

- Bernardo, R. (1999). Best linear unbiased predictor analysis. En: The genetics and explication of heterosis in Crops. *American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America*, 269–276.
- Bonierbale, M; Amoros, W; Espinoza, J; Mihovilovich, E; Roca, W; Gómez, R. 2004. Recursos genéticos de la papa: don del pasado, legado para el futuro. *Rev. Latinoam. Papa, Supl. 1*:13-13.
- Borém, A., Condori, M. & Miranda, G. V., 2008. *Mejoramiento de Plantas*. Primera ed. Viosa (MG, Brasil): Editora UFV.
- Cabrera, H. (2017). Resumen de 62 años de investigación cinética en diferentes variedades y para todas las zonas ecológicas del país. *AGRO NOTICIAS*, 16–20.
- Castillo, J y Dania Vargas, Investigadores Agregados; Ana Estévez y María M. Hernández, Investigadoras Titulares; J. L. Salomón, Investigador Auxiliar y Aymara Pérez, (2010), Especialista del departamento de Genética y Mejoramiento Vegetal, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, La Habana, O. Borrás-Hidalgo y López, Investigadores del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB), y A. D. Arencibia, Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), La Habana, Cuba.
- Colunche, A. (2014). *Parámetros de Estabilidad del rendimiento de seis genotipos de papa (Solanum tuberosum L) en cuatro localidades*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Cotes, J, Elena Paola Gonzalez Jaimes, Alejandro Cotes Torres (2012), selección de genotipos con alta respuesta y estabilidad fenotípica en pruebas regionales: Universidad Militar Nueva Granada.
- Ceccarelli, S. 1989. Wide adaptation: How Wide? *Euphytica*, Volumen 40, pp. 197-205.
- Cooper, M. & Byth, D. E., 1996. Understanding plant adaptation to achieve systematic applied crop improvement: A fundamental challenge, In: M. Cooper and G.L Hammer (Eds.). *Plant adaptation and Crop Improvement*. CAB International and IRRI, UK., pp. 5-23.
- Cubero, J. I. & Flores, F., 2003. *Métodos Estadísticos para el Estudio de la Estabilidad Varietal en Ensayos Agrícolas*. 2da ed. Sevilla: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca.

- Cuesta, X. Andrade, H.; Bastidas, O.; Quevedo, R.; Sherwood, S. 2002. Botánica y Mejoramiento genético. In Pumisacho, M.; Sherwood, S. El cultivo de la papa en Ecuador. Quito, EC. INIAP. p. 33-50
- Crossa, J., 1990. Statistical analysis of multilocation trials. *Advances in Agronomy*, Volumen 44, pp. 55-85.
- Duarte, J; Vencovsky, R. 1999. Interacao genotipos x ambientes: una introducao ‘a analise “AMMI”. Ribeirao Preto:Sociedade rasileira de Genetica. 60p.
- Chaves, L., 2001. Intercão de genótipos con ambientes. Em: Recursos genéticos e melhoramento-plantas. (Eds) Lourenço Nass, Afonso Celso Candelaria Valois, Itamar Soares de Melo, María Clérica Valadares Rondonópolis: Fundação MT. *María Clérica Valadares Rondonópolis: Fundação MT.*, pp. 673-713.
- Eberhart, S. A. & Russell, W. A., (1966). Stability Parameters for Comparing Varieties. *Crop Science*, Volumen 6, pp 36-40. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>
- Evenson, R. 1978. Risk and uncertainly as factors in crop improvement research papers The International Rice Research Institute. Manila Philippines. (Series No. 15).
- Egüsquiza, R y López, C. 1980. Cultivo de papa. Centro nacional de Capacitación e innovación para la Reforma Agraria (CENCIRA). Lima, Perú. 197p.
- Ferreira, V., Paccapelo, H., Grassi, E., Ferreira, A., di Santo, H., & Castillo, E. (2014). Interacción genotipo ambiente y estabilidad de tritíceas híbridas. In *V CONGRESO DE LA ASOCIACION URUGUAYA DE PRODUCCION ANIMAL (AUPA)*. Montevideo: UN de Río Cuarto.
- Finlay, K.W. & Wilkinson, G. N., 1963 The analysis of adaption in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, Volumen 14, pp. 742-754
- Gabriel, J., Vallejos, J., Coca, C., Vera, R., & Torres, O. (2014). Understanding and applying the methodology of the System for Information and Agricultural Knowledge of the potato ( AKIS-potato ): Case of Morochata and Pocona Entendiendo y aplicando la metodología del Sistema de Información y Conocimiento Agrícola de , (January 2009).
- Gabriel, J. 2008. Entendiendo y aplicando la metodología del sistema de información y conocimiento agrícola de la papa (SICA- papa): Caso de Morochata y Pocona en Cochabamba, Bolivia. *Revista de Agricultura* 42 (60): 9-14p.

- Gauch, H. G. & Zobel, R.W., 1996. AMMI analysis of yield trials. En: M.S. Kang y H.G. Gauch, (eds). Genotype-by- Environment interaction. *CRC Press*, pp. 85-122.
- Gómez, R. 2006. Guía para las caracterizaciones morfológicas básicas en colecciones de papas nativas. Centro Internacional de la papa, Departamento de mejoramiento y Recursos Genéticos Lima, Perú. 26-50 p.
- González–García, M. R., 2001. *Interacción genotipo x ambiente en guisante proteaginoso (Pisum sativum L)*, Valladolid, Palencia. España. 302 pp:s.n.
- González, María E.; Estévez, Ana; Castillo, J. G.; Salomón, J. L.; Varela, M.; Ortiz, Ursula; Ortiz, E. ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD GENOTÍPICA EN EL CULTIVO DE LA PAPA (*Solanum tuberosum L.*) MEDIANTE LAS REPRESENTACIONES BIPLOTS. *Cultivos Tropicales*, vol. 24, núm. 1, 2003, pp. 81-84 Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas La Habana, Cuba.
- Guzmán, T., Gallegos, L., Ramón, J., Esparza, J., Vásquez, C., Gonzales, U., & Luna, J. (2017). Stability parameters in sun ower hybrids with high oleic content. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(April), 1–9. <https://doi.org/10.19136/era.a4n11.990>.
- Hallauder, A. R., Rusell, W. A. & Lamkey, K. R., 1988.Corn breeding. In; G.F.Sprague and J.W. Dudley (eds.). Corn and corn improvement. 3<sup>rd</sup> ed. *Agronomy Monograph No.18. ASA, CSSA, and SSS, PP.463-564*.
- Hanson, W., 1970. Genotypic stability. *Theoretical and Applied Genetics*, volumen 40,pp 226-23.
- Haydar, A; Islam, M; Ara, T; Khokan, E; Hossain, M. 2009. Stability analysis for tuber yield components in potato. *Int. J. Sustain. Crop. Prod.* 4(4):01-04.
- Heinrich, G., Francis, C. & Eastin, J.,1983. Stability of grain sorghum yield genotype environment interaction in durum wheat, *Theoretical and Applied Genetics*., 83(5), pp 597-601.
- Huamán, Z. y Spooner, D. (2002). Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum sect. Petota*). *American Journal de Botánica*, 89, 947-965.
- INEI, P. (2016). *Perú : Panorama Económico Departamental*.
- Jalata. Z., 2011. *GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials of barley (Hordeum vulgare. L.) genotypes in Southeastem Ethipia highlands*. *International Journal Of Plant Breeding and Genetics*, 5 (1), pp. 59-75.

- Kang, M. S., 2002. Genotype-environment interaction: progress and prospects. In Kang, M. S. ed. *Quantitative Genetics, Genomics and Plant Breeding*. CABI Publishing, pp 221-243.
- Kang, M. S. & Gorman, D. P., 1989. Genotype x environment interaction en maize. *Agronomy Journal*, Volumen 81, pp. 662-664.
- Laing, D. 1978. *Adaptabilidad y estabilidad en el comportamiento de plantas de frijol común*. s.l., Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali. CO 23p.
- Landeo J., Gastelo M. 1995. Screening for Horizontal resistance to late blight in population B. (Working papers). Specialized Technology document. International Potato Center (CIP). Lima. Peru. 15 pp.
- Landeo, et al. 2000. Quantifying genetic variance for horizontal resistance to late blight in potato breeding population B3C1
- León, H. 2003, "Estimación de Parámetros de Estabilidad de nueve Líneas promisorias y una variedad de Trigo Harinero *Triticum aestivum* L. Universidad Nacional de Cajamarca 118p.
- Lin, C. S. & Binns, M. R. 1988. A superiority measure of Cultivar Performance for Cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Sciences* Volumen 68, pp. 193-198. <https://doi.org/10.4141/cjps88-018>
- Lopez-Hernandez, D., Hernandez- Hernandez, R. M. & Brossard, M., 2005. Historia del uso reciente de tierras de las sabanas de América del Sur. Estudios de casos en sabanas del Orinoco. *Interciencia- INCI*, 30(10), pp. 623-632.
- Lujan, L. 1996. La ecología de la papa pag, 16 revista papa nro. 12. Octubre.
- Magari, R; Kang, M. 1993. Genotype selection via a new yield stability statistic in maize trials. *Euphytica* 70:105-111.
- Márquez, F. 1991. *Genotecnia Vegetal; Métodos teoría y resultados*. Tomo III. Ed. AGT. México D. F. 408p.
- Márquez SF. 1994. La interacción genética-ambiental en genotecnia Vegetal. In: *Memorias del simposio de Interacción Genético-Ambiental en Geotecnia Vegetal*. 26-27 de marzo. Sociedad Mexicana de Fitogenetica. Guadalajara, Jalisco. PP: 127p.

- Marín, C., 1995. *Estimación y comparación de parámetros de estabilidad del rendimiento en cultivares de maíz (Zea mays L.) con fines de selección y recomendación en función de los ensayos regionales del FONAIAP, año 1992*, Maracay, Venezuela., 125 p:s.n.
- Montalvo, A. 1984. Cultivo y mejoramiento de la papa. Instituto Interamericano de Investigación y cooperación para la agricultura. San José, Cota Rica, 706p.
- Moorby, J. Y Milthorpe, P. (1983), Fisiología de la papa. E. fisiología de los cultivos. Edit. Hemisferio sur S.A. Buenos –aires – Argentina. 245 – 280 pp.
- Muñoz f. 1984. “Manual de cultivo de papa”. Manual no 5. enero 1984. Quito ecuador pág. 45.
- Nizan, Kathleen G. Haynes & Jeff S. Miller y Dennis A. Johnson & Tom F. Cummings y Dallas L. y Batchelor Chris Olsen y Charles R. (2010) Estabilidad genética en el germoplasma de patata por resistencia a la producción de agallas causada por el patógeno *Spongospora* subterránea.
- Ochoa, D. 1999. Las papas de Sudamérica Perú, Centro Internacional del Papa. Primera edición. Allen press. Kansas, EE UU. 1036 p.
- Okoye, M. N., Okwuagwu, C.O. & Uguru, M. I., 2008. Genotype and genotype by environment (GGE) biplot analysis of fresh fruit bunch yield and yield components of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Journal of Applied – Biosciences*, 8(1), pp.288-303.
- Osorio, G. (2000). Glosario de Estadística y Diseños Experimentales. UNCP.
- Oyarzun, P. (2002). Biodiversidad de recursos genéticos. Una panorámica del desarrollo actual. Colider PNRT – PAPA (fecha de consulta 15 de diciembre de 2016). Disponible en: <http://www.sica.gov.ec/cadenas/papa/docs/PANOR%C3%81MICA%20ACTUAL.htm>
- Pandey, S. & Vargas, J. E, 1985. *La interacción fenotipo-medio ambiente y su importancia en el mejoramiento intrapoblacional en las plantas cultivadas*. Bogotá, Colombia, pp 38: Acta VII. I Congreso Latino Americano de Genética.
- Pérez, L; Vásquez, G. Y Sahagun, J. 2007. Estabilidad del rendimiento de genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.). Rev. Fitotec. Mex. 30, N° 003: 279-284p.
- Puertas, M., 1992. *Genética fundamentos y perspectivas*. Primera ed. España. pp. 741: Interamericana- McGraw Hill.

- Pulido, M., Contera, G., & Perea, J. (2013). Estudio de los componentes del rendimiento: Tamaño de tubérculos y número de tubérculos por planta en cuatro variedades de papa andina (*Solanum tuberosum* ssp. andigena). *Biología En Agronomía*, 4(1), 7–16.
- Quemé, J.L., Orozco, H. & Melgar, M., 2010. GGE biplot analysis used to evaluate cane yield of sugarcane (*Saccharum* spp) cultivars across sisters and crop cycles. *Proceedings Intenational svcoietty of sugar Cane Technologists*, volumen 27, pp. 1-7.
- Reestman, A. 1980. Incidencia de la Infección en los cultivos comerciales y pérdidas por virosis- Edit. I.P.O. Wageningen Holanda- 303 pp.
- Romagosa, I., Voltas, J., Malosetti, M. & van Eeuwijk, F.A., 2009. Interacción Genotipo por Ambiente. *Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca*, pp107-135.
- Romagosa, I. & Fox. P. N., 1993. Genotype x Environment interaction and adaptation. *In: M.D. Hayward, N. O. Basemark and I. Ramagosa (Eds.). Plant breeding: Principles and prospects*, pp.373-390.
- Rojas, G. 1979. Fisiología aplicada de la papa. UNA-La Molina. Lima, Perú. 58p.
- Samonte, S.O., Wilson, L. T., McClung, A.M. & Medley, J.C., 2005. Target in cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. *Crop Science*, Volumen 45, pp. 2414-2424.
- Sánchez, J. 2007. Fertilidad del suelo y nutrición mineral de las plantas. Conceptos básicos. Consultado el 01 Abr del 2017 Disponible en: <http://academic.uprm.edu/dpesante/docs-apicultura/fertilidad%20del%20suelo>.
- Salas, E; Juárez, H; Giraldo, D; Amorós, W; Simon, R. Y Bonierbale, M. 2009. Modelos de análisis de estabilidad y definición de ambientes basados en Gis. Centro Internacional de la papa (CIP).
- SAS Institute Inc. 1998. SAS/STAT Users Guide, Version 6, Fourth Edition, Vol. 2, SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- Seminario, J. 1993. Terminología usada en Recursos Fitogenéticos. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú. Ed. Asociación “Obispo Martínez Compañón”. 64 p.



- Stelling, D., Ebmeyer, E. & Link, W., 1994. Yield stability in Faba bean, *Vicia faba* L. 2. Effects of heterozygosity and heterogeneity. *Plant Breeding*. Volumen 112, pp. 30-39.
- Spooner, D.M. Y A. Salas. 2006. Structure, biosystematics, and genetic resources. pp. 1-39. En: Gopal, J. y S.M.P. Khurana (eds.).
- Syed, A., Rehana, A. & Ghulam, M., 2007. Yields stability analysis conferring adaptation of wheat to pre-and-post-anthesis drought conditions. *Pakistan Journal of Botany* 39 (5), pp. 1623-1637.
- Vargas, M. y otros, 1999. Ussing AMMI, factorial regression, partial least squares regression models for interpreting genotypes x environment interaction. *Crop Science*, volume 39, pp. 955-967.
- Vásquez, A. 2014. Diseños experimentales con SAS. 1a. Ed., Ed. CONCYTEC FONDECYT, Lima, Perú.
- Vásquez, V. 1988. Mejoramiento genético de la papa. Primera edición. Amaru editores – CONCYTEC. Lima. 245p.
- Vega, P., 1988. Introducción a la teoría de la genética cuantitativa con especial referencia al mejoramiento de plantas. *Universidad Central de Venezuela. Caracas. Biblioteca, p. 398pp.*
- Vallejo- Cabrera, F.A & Estrada – Salazar, E.I., 2002. Mejoramiento Genético de Plantas Primera Ed. Palmira (Palmira): Universidad Nacional Colombia.
- Yan, W. & Tinker, N. A., 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Planta Science*, 86(3), pp. 623-645.
- Yan, W. & Kang, M. S., 2003. *GGE biplot analysis: A graphical tood for breeders geneticists and agronomists*. s.l.: CRC Press, Boca Ratón, Florida. USA. pp272.
- Yan, W. & Hunt, L.A., 2002. Biplot analysis of multi-environment trial data. In: Kang, MS. Ed. Quantitative Genetics, genomics and plant Breening. *CABI Publishing*, pp. 289-303.
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q.& Szlavnic, Z., 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE biplot.. *Crop Science*, Volumen 40, pp. 597-605.

Yates, F. & Cochran, W. G 1938. The analysis of groups of experiments. *Journal Agricultural Science*. Volumen 28, pp. 556-580.

Zambrano, J. 2010. Evaluación de clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el estado Trujillo. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 27(2), 399-417.

Zarghami, R, Mostaffa Pirseyedi, shabnam Hasrak y Babak Pakdaman Sardrood. (2008), Evaluación de la estabilidad genética en criopreservados *Solanum tuberosum*.

Zobel, R. W., Weigh, M. J. & Jr, H. G., 1988. Statistical analysis of yield trial. *Agronomy Journal*, Volumen 80, pp. 388-393.

# **ANEXOS**

## **Anexo A.**

### **Programas Utilizados**

- A.1. Programa SAS para el Análisis de Variancia para rendimiento
- A.2. Programa SAS para el Análisis de Variancia combinado
- A.3. Programa SAS para el Análisis de Variancia por localidades
- A.4. Programa SAS para el Análisis de los Parámetros de Estabilidad por el método de EBERHART Y RUSELL (1966).

## Anexo B.

**Evaluación de ocho genotipos de papa en seis localidades por campaña pertenecientes al Distrito de la Encañada, provincia de Cajamarca, Distrito de Tacabamba, provincia de Chota, Departamento de Cajamarca y Distrito de Chugay, provincia de Sánchez Carrión Departamento de la Libertad.**

PESO Total (kg/parc)

Tabla 1. *Peso de tubérculo (kg/parc) en la localidad de Santa Clotilde (Loc-1)*

Clave	Genotipos	Bloques			Total	Promedio
		I	II	III		
1	399075.26	32.8	34.7	35.0	102.5	34.17
2	399076.12	23.6	18.4	24.7	66.7	22.30
3	396012.266	27.6	21.6	15.0	64.2	21.40
4	399062.115	28.9	26.6	32.3	87.8	29.27
5	393377.159	26.5	24.5	31.6	82.6	27.53
6	399058.12	24.0	31.5	31.0	85.5	28.83
7	393077.54	31.4	31.0	23.4	85.8	28.60
8	399062.108	23.7	17.9	16.9	58.5	19.5

Tabla 2. *Evaluaciones a nivel de campo Localidad Santa Clotilde*

Par	Trat	Rep	EMERGENCIA	%	VIGOR	Intensidad Floración	Madurez Follaje	Plantas Cosechadas
101	399075.26	1	39	98	7	2	5	19
102	399076.12	1	38	95	9	3	5	19
103	396012.266	1	40	100	9	2	5	20
104	399062.115	1	37	93	7	2	5	18
105	393377.159	1	36	90	7	2	7	18
106	399058.12	1	38	95	7	3	5	18
107	393077.54	1	39	98	9	2	5	19
108	399062.108	1	40	100	7	3	5	20
201	399062.115	2	39	98	7	3	5	19
202	396012.266	2	39	98	9	2	5	19
203	399075.26	2	40	100	7	3	5	20
204	399076.12	2	37	93	7	3	5	18
205	399062.108	2	37	93	7	3	5	19
206	393077.54	2	39	98	9	2	5	19
207	393377.159	2	36	90	7	2	7	18
208	399058.12	2	37	93	7	3	5	19
301	393077.54	3	38	95	7	2	5	19
302	399076.12	3	36	90	9	3	5	18
303	399062.108	3	39	98	7	3	5	19
304	393377.159	3	35	88	7	2	7	18
305	396012.266	3	38	95	9	2	5	19
306	399058.12	3	37	93	7	3	5	19
307	399062.115	3	38	95	7	3	5	19
308	399075.26	3	39	98	9	3	5	20

**Intensidad de Floración:**

1= Escasa

2= Regular

3= Abundante

**Vigor de Planta:**

1= Muy Malo

3= Malo

5= Intermedio

7= Vigoroso

9= Muy Vigoroso

Tabla 3. *Peso de tubérculo (kg/parc) en la localidad de Santa Margarita (Loc-2)*

Clave	Genotipos	Bloques			Total	Promedio
		I	II	III		
1	399075.26	17.0	19.0	12.6	48.6	16.20
2	399076.12	21.5	13.4	24.0	58.9	19.63
3	396012.266	21.0	24.0	15.5	60.5	20.17
4	399062.115	20.0	15.0	21.0	56	18.67
5	393377.159	28.5	34.0	20.7	83.2	27.73
6	399058.12	16.0	20.5	15.3	51.8	17.27
7	393077.54	31.5	32.0	31.0	94.5	31.50
8	399062.108	19.5	12.0	14.3	45.8	15.27

Tabla 4. *Evaluaciones a nivel de campo Localidad Santa Margarita.*

Par	Trat	Rep	EMERGENCIA	%	VIGOR	intensidad Floración	Madurez Follaje	plantas cosechadas PROMEDIO
101	396012.266	1	39	98	7	2	5	19
102	399076.12	1	40	100	9	3	5	20
103	399062.115	1	39	98	9	3	5	20
104	393377.159	1	38	95	7	2	7	19
105	399058.12	1	39	98	7	3	5	20
106	393377.54	1	40	100	9	2	5	20
107	399062.108	1	39	98	7	3	5	20
108	399072.26	1	40	100	7	3	5	20
201	399076.12	2	39	98	7	3	5	29
202	399062.115	2	39	98	9	3	5	20
203	399062.108	2	39	98	7	3	5	20
204	399072.26	2	40	100	7	3	5	20
205	393371.159	2	38	95	7	2	7	19
206	396012.266	2	38	95	9	2	5	19
207	303977.54	2	40	100	9	2	5	20
208	399058.12	2	39	98	7	3	5	19
301	399062.108	3	30	75	7	3	5	20
302	399062.115	3	38	95	7	3	5	19
303	399076.12	3	39	98	7	3	5	20
304	393077.54	3	40	100	9	2	5	20
305	399058.12	3	39	98	7	3	5	20
306	393371.159	3	37	93	7	2	7	19
307	399072.26	3	39	98	7	3	5	20
308	396012.266	3	39	98	9	2	5	20

**Intensidad de Floración:**

1= Escasa  
 2= Regular  
 3= Abundante

**Vigor de Planta:**

1= Muy Malo  
 3= Malo  
 5= Intermedio  
 7= Vigoroso  
 9= Muy Vigoroso



Tabla 5. *Peso de tubérculo (kg/parc) en la localidad de Marcobamba (Loc- 3)*

Clave	Genotipos	Bloques			Total	Media
		I	II	III		
1	399075.26	20.5	14.6	15.6	50.65	16.88
2	399076.12	23.4	19.9	20.8	64.1	21.37
3	396012.266	21.7	21.8	19.4	62.9	20.97
4	399062.115	17.2	26.3	18.7	62.2	20.73
5	393377.159	30.4	30.5	31.8	92.7	30.90
6	399058.12	20.1	16.4	20.8	57.3	19.10
7	393077.54	26.4	21.2	21.9	69.5	23.17
8	399062.108	13.5	16.2	14.6	44.3	14.77

Tabla 6. *Evaluaciones a nivel de campo Localidad Marcobamba.*

Par	Trat	Rep	EMERGENCIA	%	VIGOR	Intensidad Floración	Madurez Follaje	Plantas Cosechadas
101	399075.26	1	40	100	7	3	5	20
102	393077.54	1	40	100	9	2	5	20
103	399076.12	1	39	98	7	3	5	20
104	396012.266	1	40	100	7	2	5	20
105	399058.12	1	39	98	7	3	5	19
106	399062.108	1	40	100	7	3	5	20
107	393371.159	1	40	100	9	2	7	20
108	399062.115	1	38	95	7	3	5	19
201	399075.26	2	40	100	7	3	5	20
202	393077.54	2	40	100	9	2	5	20
203	399076.12	2	39	98	7	3	5	19
204	396012.266	2	40	100	9	2	5	20
205	399058.12	2	39	97.5	7	3	5	20
206	399062.108	2	40	100	7	3	5	20
207	393371.159	2	40	100	7	2	7	20
208	399062.115	2	39	98	7	3	5	20
301	399075.26	3	39	98	7	3	5	20
302	393077.54	3	39	98	9	2	5	20
303	399076.12	3	38	95	7	3	5	19
304	396012.266	3	40	100	7	2	5	19
305	399058.12	3	40	100	7	3	5	20
306	399062.108	3	39	98	7	3	5	20
307	393371.159	3	40	100	7	2	7	19
308	399062.115	3	39	98	7	3	5	20

**Intensidad de Floración:**

1= Escasa  
 2= Regular  
 3= Abundante

**Vigor de Planta:**

1= Muy Malo      7= Vigoroso  
 3= Malo          9= Muy Vigoroso  
 5= Intermedio

Tabla 7. *Peso de tubérculo (kg/parc) en la localidad de Chucmar (Loc-4).*

<b>Boques</b>						
<b>Clave</b>	<b>Genotipos</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>Total</b>	<b>Media</b>
1	399075.26	20.8	21.0	17.8	59.6	19.87
2	399076.12	21.4	25.1	19.5	66	22.00
3	396012.266	21.8	20.6	20.0	62.4	20.80
4	399062.115	19.6	21.8	20.5	61.9	20.63
5	393377.159	21.5	20.5	20.5	62.5	20.83
6	399058.12	20.2	20.8	19.5	60.5	20.17
7	393077.54	25.1	22.9	24.2	72.2	24.07
8	399062.108	22.6	19.5	19.0	61.1	20.37

Tabla 8. *Evaluaciones a nivel de campo Localidad Chucmar.*

Obs	Par	Trat	Rep	EMERGENCIA	%	VIGOR	Intensidad Floración	Madurez Follaje	Plantas Cosechadas
1	101	399062.108	1	40	100	7	3	5	20
2	102	399075.26	1	39	98	7	3	5	20
3	103	393371.159	1	40	100	9	2	7	20
4	104	396012.266	1	39	98	7	2	5	19
5	105	399076.12	1	40	100	7	3	5	20
6	106	399062.115	1	40	100	9	3	5	20
7	107	393077.54	1	40	100	7	2	5	20
8	108	399058.12	1	39	98	7	3	5	20
9	201	393371.159	2	40	100	9	2	7	20
10	202	399062.108	2	40	100	7	3	5	20
11	203	399075.26	2	38	95	7	3	5	19
12	204	399058.12	2	39	98	5	3	5	19
13	205	393077.54	2	39	98	7	2	5	19
14	206	399062.115	2	40	100	7	3	5	20
15	207	399076.12	2	40	100	7	3	5	20
16	208	396012.266	2	39	98	7	2	5	20
17	301	393077.54	3	40	100	9	2	5	19
18	302	396012.266	3	39	98	7	2	5	19
19	303	399058.12	3	38	95	7	3	5	19
20	304	399062.108	3	39	98	5	3	5	19
21	305	393371.159	3	40	100	7	2	7	20
22	306	399062.115	3	39	98	9	3	5	20
23	307	399076.12	3	39	98	7	3	5	19
24	308	399075.26	3	19	98	7	3	5	20

**Intensidad de Floración:**

1= Escasa  
2= Regular  
3= Abundante

**Vigor de Planta:**

1= Muy Malo  
3= Malo  
5= Intermedio

7= Vigoroso  
9= Muy Vigoroso

Tabla 9. *Peso de tubérculo (kg/parc) en la localidad La Pucara (Loc-5).*

Clave	Genotipos	Bloques			total	Media
		I	II	III		
1	399075.26	26.6	28.3	29.2	84.1	28.03
2	399076.12	19.2	27.2	23.1	69.5	23.17
3	396012.266	24.6	20.4	20.1	65.1	21.70
4	399062.115	29.1	25.2	26.7	81.0	27.00
5	393377.159	33.2	23.1	26.8	83.1	27.70
6	399058.12	25.6	25.5	24.7	75.8	25.27
7	393077.54	29.1	23	28.5	80.6	26.87
8	399062.108	30.2	24.4	23.5	78.1	26.03

Tabla 10. *Evaluaciones a nivel de campo Localidad La Púcara.*

Obs	Par	Trat	Rep	EMERGENCIA	%	VIGOR	Intensidad Floración	Madurez Follaje	Plantas Cosechadas
1	101	393077.54	1	40	100	7	2	5	20
2	102	393377.159	1	39	98	7	2	7	19
3	103	396012.266	1	40	100	9	2	5	20
4	104	399058.12	1	37	93	7	3	5	19
5	105	399075.26	1	40	100	9	3	5	20
6	106	399076.12	1	37	93	5	3	5	18
7	107	399062.115	1	39	98	9	3	5	20
8	108	399062.108	1	38	95	7	3	5	19
9	201	396012.266	2	39	98	7	2	5	19
10	202	396012.108	2	38	95	7	3	5	19
11	203	399075.26	2	39	98	9	3	5	20
12	204	399076.12	2	37	93	7	3	5	19
13	205	393077.54	2	39	98	7	2	5	20
14	206	393371.159	2	38	95	7	2	7	19
15	207	399062.115	2	40	100	9	3	5	20
16	208	399058.12	2	38	95	7	3	5	19
17	301	399075.26	3	39	98	9	3	5	19
18	302	399076.12	3	39	98	7	3	5	20
19	303	399062.108	3	38	95	7	3	5	19
20	304	399062.115	3	39	98	7	3	5	19
21	305	399058.12	3	39	98	7	3	5	20
22	306	396012.266	3	38	95	7	2	5	19
23	307	393371.159	3	38	95	7	2	7	19
24	308	393077.54	3	40	100	9	2	5	20

**Intensidad de Floración:**

- 1= Escasa
- 2= Regular
- 3= Abundante

**Vigor de Planta:**

- 1= Muy Malo
- 3= Malo
- 5= Intermedio
- 7= Vigoroso
- 9= Muy Vigoroso

Tabla 11. *Peso de tubérculo (kg/parc) en la localidad de a San Juan – Chugay (Loc-6).*

<b>Bloques</b>						
<b>Clave</b>	<b>Genotipos</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>Total</b>	<b>Media</b>
1	399075.26	19.0	14.8	19.0	52.8	17.60
2	399076.12	14.5	22.6	13.6	50.7	16.90
3	396012.266	18.5	15.0	17.0	50.5	16.83
4	399062.115	21.2	23.0	21.2	65.4	21.80
5	393377.159	18.5	21.2	21.2	60.9	20.30
6	399058.12	17.4	19.6	13.6	50.6	16.87
7	393077.54	21.5	28.0	25.0	74.5	24.83
8	399062.108	20.0	20.5	19.9	60.4	20.13

Tabla 12. *Evaluaciones a nivel de campo Localidad La Pucara* .

Observ.	Par	Trat.	Trat.	EMERGENCIA	%	VIGOR	Intensidad Floración	Madurez Follaje	Plantas Cosechadas
1	101	393371.159	1	39	98	7	2	7	20
2	102	399062.115	1	39	98	9	3	5	20
3	103	399076.12	1	37	93	5	3	5	19
4	104	396012.266	1	39	98	9	2	5	20
5	105	393077.54	1	40	100	9	2	5	20
6	106	399058.12	1	39	98	7	3	5	20
7	107	399075.26	1	38	95	5	3	5	19
8	108	399062.108	1	40	100	7	3	5	20
9	201	396012.266	2	39	98	7	2	5	20
10	202	393371.159	2	39	98	7	2	7	19
11	203	399076.12	2	40	100	7	3	5	20
12	204	399062.115	2	40	100	7	3	5	20
13	205	399062.108	2	40	100	7	3	5	20
14	206	399058.12	2	38	95	7	3	5	19
15	207	399075.26	2	38	90	7	3	5	19
16	208	393077.54	2	40	100	9	2	5	20
17	301	399062.115	3	39	98	7	3	5	19
18	302	393077.54	3	39	98	7	2	5	20
19	303	399075.26	3	37	93	7	3	5	19
20	304	399076.12	3	40	100	7	3	5	20
21	305	396012.266	3	40	100	7	2	5	20
22	306	399062.108	3	40	100	9	3	5	20
23	307	393371.159	3	40	100	7	2	7	20
24	308	399058.12	3	40	100	7	3	5	20

**Intensidad de Floración:**

1= Escasa  
 2= Regular  
 3= Abundante

**Vigor de Planta:**

1= Muy Malo      7= Vigoroso  
 3= Malo          9= Muy Vigoroso  
 5= Intermedio



## Anexo C.

### Apéndice sobre: Tubérculos Totales

Tabla 13. *Total de tubérculo Nro/parc) en la localidad de Santa Clotilde (Loc-I).*

Clave	Genotipos	Bloques			Total	Media
		I	II	III		
1	399075.26	204	287	397	888	296.00
2	399076.12	208	336	248	792	264.00
3	396012.266	518	238	232	988	329.33
4	399062.115	340	236	247	823	274.33
5	393377.159	244	307	414	965	321.67
6	399058.12	365	268	467	1100	366.67
7	393077.54	356	302	350	1008	336.00
8	399062.108	312	301	181	794	264.67

Tabla 14. *Total de tubérculo (Nro/parc) en la localidad de Santa Margarita (Loc-2).*

Clave	Genotipos	Bloques			Total	Promedio
		I	II	III		
1	399075.26	378	431	428	1237	412.33
2	399076.12	290	343	217	850	283.33
3	396012.266	426	443	446	1315	438.33
4	399062.115	343	377	407	1127	375.67
5	393377.159	137	185	213	535	178.33
6	399058.12	544	435	421	1400	466.67
7	393077.54	430	256	283	969	323.00
8	399062.108	477	458	585	1520	506.67

Tabla 15. *Total, de tubérculo (Nro/parc) en la localidad de Marcobamba (Loc-3).*

Clave	Genotipos	Bloques			Total	Promedio
		I	II	III		
1	399075.26	113	115	95	323	107.67
2	399076.12	152	93	207	452	150.67
3	396012.266	495	642	447	1584	528.00
4	399062.115	189	127	188	504	168.00
5	393377.159	297	213	331	841	280.33
6	399058.12	183	207	207	597	199.00
7	393077.54	230	170	153	553	184.33
8	399062.108	130	121	164	415	138.33

Tabla 16. *Total, de tubérculo Nro/parc) en la localidad de Chucmar (Loc-4).*

Clave	Genotipos	Bloques			Total	Promedio
		I	II	III		
1	399075.26	247	232	196	675	225.00
2	399076.12	286	314	287	887	295.67
3	396012.266	276	220	299	795	265.00
4	399062.115	191	247	448	886	295.33
5	393377.159	429	367	203	999	333.00
6	399058.12	292	290	287	869	289.67
7	393077.54	290	278	248	816	272.00
8	399062.108	445	299	400	1144	381.33

Tabla 17. *Total de tubérculo Nro/parc) en la localidad la Pucara (Loc-5).*

Clave	Genotipos	Bloques			Total	Promedio
		I	II	III		
1	399075.26	225	216	216	657	219.00
2	399076.12	117	256	232	605	201.67
3	396012.266	257	264	192	713	237.67
4	399062.115	125	119	145	389	129.67
5	393377.159	269	138	116	523	174.33
6	399058.12	243	183	197	623	207.67
7	393077.54	175	148	162	485	161.67
8	399062.108	305	220	205	730	243.33

Tabla 18. Total de tubérculo Nro/parc) localidad de – Chugay (Loc-6).

Clave	Genotipos	Bloques			Total	Promedio
		I	II	III		
1	399075.26	75	91	75	241	80.33
2	399076.12	140	115	150	405	135.00
3	396012.266	206	218	218	642	214.00
4	399062.115	125	158	109	392	130.67
5	393377.159	65	69	102	236	78.67
6	399058.12	190	195	150	535	178.33
7	393077.54	200	135	176	511	170.33
8	399062.108	91	142	105	338	112.67

GEN	LOC-1	LOC-2	LOC-3	LOC-4	LOC-5	LOC-6	
1	399075.26	296.00	412.33	107.67	225.00	219.00	80.33
2	399076.12	264.00	283.33	150.67	295.67	201.67	135.00
3	396012.266	329.33	438.33	528.00	265.00	237.67	214.00
4	399062.115	274.33	375.67	168.00	295.33	129.67	130.67
5	393377.159	321.67	178.33	280.33	333.00	174.33	78.67
6	399058.12	366.67	466.67	199.00	289.67	207.67	178.33
7	393077.54	336.00	323.00	184.33	272.00	161.67	170.33
8	399062.108	264.67	506.67	138.33	381.33	243.33	112.67
SUMA		2452.67	2984.33	1756.33	2357.00	1575.01	1100.00
$\bar{Y}_J$							
$I_J$		306.5838	373.0413	219.5413	294.6250	196.8763	137.500
		51.8892	118.3467	-35.1533	39.9304	-57.8183	-117.1946

Tabla 19. *Análisis de varianza individuales de ocho genotipos de papa en seis ambientes para tubérculos totales.*

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio					
		Localidades					
Bloques	2	Santa Clotilde	Santa Margarita	Chugmar	Marcobamba	Pucara	San Juan de Chugay
Genotipos	7	1.643415	0.090469	1.777513	0.889196	2.118787	0.117680
Error	14	3.352368	27.005954**	46.769857**	5.177685	6.244906	16.833949**
Total	23	7.173190	2.572071	2.524065	4.560141	3.024773	1.034895
CV		15.43%	8.40%	11.15%	12.53%	12.51*	8.81%

Tabla 20. Prueba de comparación múltiple de las medias Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para los genotipos en estudio (tubérculos totales).

Clave	Genotipos	Localidades					
		Santa Clotilde (Loc-1)	Santa Margarita (Loc-2)	Chugmar (Loc-3)	Marcobamba (Loc-4)	Pucara (Loc-5)	San Juan de Chugay (Loc-6)
2	399058.12	19.029	21.566ab	14.101bc	17.019	14.384	13.332ab
4	393077.54	18.318	17.853 cd	13.524 c	16.484	12.707	13.009abc
5	393377.159	17.830	13.300c	16.674 bc	18.039	12.973	8.823c
7	396012.266	17.806	20.935ab	22.910 a	16.246	15.379	14.827 a
1	399075.26	17.050	20.297 abc	10.367d	14.983	14.798	8.953 c
3	399062.115	16.506	19.370bcd	12.909 cd	16.901	11.377	11.397cd
6	399076.12	16.167	16.760 d	12.120cd	17.191	14.016	11.601bcd
8	399062.108	16.155	22.476a	11.736c d	19.462	15.538	10.568de
	Promedio	17.357	19.069	14.293	17.041	13.897	11.5387

## Anexo D.

### Prueba de Homogeneidad de varianzas.

La validez de los resultados obtenidos en cualquier análisis de varianza queda supeditada a que se cumplan los supuestos del modelo. Destacando entre ellos la homoscedasticidad de la varianza. Para esto se ha realizado la Bartlett (1937).

Hipótesis

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_6^2 = 0$$

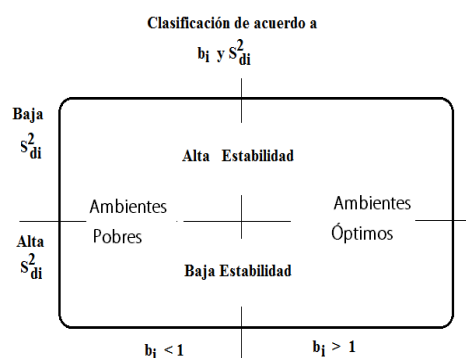
$$H_A : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \dots \neq \sigma_6^2 \neq 0$$

$$X_C^2 = 13.42 < X_{0.05,14}^2 = 29.1$$

Hay homogeneidad de varianzas, por lo que se ha procedido a realizar el análisis de varianza combinado.

En la tabla 20 se aprecia la clasificación de los genotipos de papa evaluados, considerando primeramente los criterios utilizados por Eberhart y Russell (1966) en donde se emplearon el comportamiento promedio del genotipo a través de ambientes, su coeficiente de regresión y la desviación de la regresión.

Parámetro	Interpretación
$\hat{\beta}_{ij} = 1$	Estabilidad media. Si tiene un promedio alto: adaptabilidad general; promedio bajo: pobre adaptabilidad
$\hat{\beta}_{ij} > 1$	Genotipos sensibles. Adaptación a ambientes favorables
$\hat{\beta}_{ij} < 1$	Resistencia a cambios ambientales. Adaptación a malos ambientes.
$\hat{\beta}_{ij} = 0$	Estabilidad absoluta. Si tiene un promedio alto: genotipo ideal
$S_{d_i}^2 = 0$	Buena estabilidad
$S_{d_i}^2 > 0$	Mala estabilidad



**Anexo E.**

**Área Bajo la curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC).**

Tabla 21. Variación del valor del Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC), producida por *Phytophthora infestans* en los genotipos de papa, en función a las dos localidades

Población	Genotipos	2016												
		OXAPAMPA						COMAS						
		LB1	LB2	LB3	LB4	LB5	LB6	AUDPC	LB1	LB2	LB3	LB4	LB5	AUDPC
B3C2	CIP393077.54	0	0	0	4	13	40	285	0	1	8	25	65	919
B3C1	CIP393371.159	0	0	0	0	5	21	120	0	1	8	39	83	1234
B3C2	CIP396012.266	0	0	0	3	10	15	155	0	3	5	15	48	636
B1C5	CIP399058.12	0	0	0	5	13	59	373	5	5	18	30	56	1123
B1C5	CIP399062.108	0	0	0	6	24	63	479	4	6	21	25	33	945
B1C5	CIP399062.115	0	0	0	5	16	58	394	4	5	20	28	35	968
B1C5	CIP399075.26	0	0	0	4	15	40	303	0	3	10	23	26	660
B1C5	CIP399076.12	0	0	0	6	20	44	378	4	5	16	31	65	1179
	<b>Canchan</b>							<b>2472</b>						<b>2815</b>

Tabla 22. Escala para evaluar el Índice de ataque de *Phytophthora infestans*, en plantas de papa.

Grado	Porcentaje de infestación	Descripción
1	1-20%	Planta aparentemente sana, con síntomas visibles al microscopio
2	21-40%	Planta con inicio de necrosis foliar
3	41-60%	Necrosis total de hojas
4	61-80%	Necrosis de las ramas
5	81-100%	Necrosis total de la planta

Fuente: CIP 1990



## Anexo F.

### Información metrológica.

Tabla 23. Información Meteorológica de tres Estaciones

<b>ESTACION METEREOLÓGICA CHOTA (OCT 2016- JUNIO2017)</b>							
Temperatura Max (°C)	promedio, max y min	Temperatura Min (°C)	promedio, max y min	Precipitación (mm)		promedio, max y min	Velocidad del viento 13h (m/s)
				7	19		
22.5	21.48	11.5	11.27	1.6	2.4	1.77	2.4
22.1	22.5	12.1	12.1	0.5	0.4	2.25	3.9
21.4	20.3	10.6	10.2	1	1.4		2.3
20.3		11.5		5.1	6.5		1.4
21		11.7		1.6	2.1		2.3
21.6		10.2		0.8	0.7		2.1
<b>ESTACION METEREOLÓGICA LA ENCAÑADA (OCT 2016- JUNIO2017)</b>							
22.3	19.53	3.4	7.21	0.1	0.2	1.13	4.5
19.3	22.3	7.9	8.5	2.1	4.6	2.97	5.2
18.9	18.6	8.2	3.4	0.8	2.7		5.1
19.4		7.8		1	2.6		6.1
18.6		8.5		2.1	6.8		3.7
19.2		8.1		1.3	1.8		4.6
19		6.6		0.5	2.1		4.2
<b>ESTACION METEREOLÓGICA LA CHUGAY (OCT 2016- JUNIO2017)</b>							
19.0	15.7	-2.7	1.5	22.81	0	5.58	
19.9	19.9	-3.5	5.4	1.8	0	0.00	
15.3	10.0	1.4	-3.5	6.2	0		
16.9		5.4		1.8	0		
14.4		4.9		3.2	0		
14.4		4.9		3.2	0		
10.0		0.1		0.024	0		

**Fuente: SENAMHI (2017)**

## Anexo G.

### Actividades realizadas durante la investigación.



*Figura 01: Delimitación del área experimental.*



*Figura 02: Delimitación de bosques*





*Figura 03:* Distribución de material genético



*Figura 04:* Bloqueado y delimitación





*Figura 05: Aplicación de fertilizantes*



*Figura N° 06: Aplicación de Abono Orgánico*





*Figura 07: Siembra*



*Figura 08: Siembra*





*Figura 09: Siembra*



*Figura 10: Proteccion Sanitaria*





*Figura 11: Vista Panorámica del experimento*



*Figura 12: Evaluación Vigor - Floración*





*Figura 13:* Evaluación de vigor de Planta



*Figura 14:* Evaluación de altura de planta





*Figura 15:* Selección de tubérculos



*Figura 16:* Conteo de tuberculos comerciales





*Figura 17: Conteo de tuberculos no comerciales*



*Figura 18: Peso de tuberculos comerciales*





*Figura 19: Apariencia general de tubérculos*