

República Bolivariana de Venezuela  
Universidad del Zulia  
Facultad de Agronomía  
División de Estudios para Graduados  
Programa: Doctorado en Ciencias Agrarias



**PRODUCTIVIDAD Y ESTABILIDAD AMBIENTAL DE CLONES DE CAFÉ ROBUSTA  
EN DISTINTAS LOCALIDADES CAFETALERAS DEL ECUADOR**

**Tesis Doctoral en Ciencias Agrarias**

Doctorando: Ing. Agr. Mg. Sc. Luis Alberto Duicela Guambi

Tutor: Dr. Rey Gastón Loor Solórzano

Maracaibo, abril 2021



República Bolivariana de Venezuela  
Universidad del Zulia  
Facultad de Agronomía  
División de Estudios para Graduados  
Programa: Doctorado en Ciencias Agrarias



**PRODUCTIVIDAD Y ESTABILIDAD AMBIENTAL DE CLONES DE  
CAFÉ ROBUSTA EN DISTINTAS LOCALIDADES CAFETALERAS DEL  
ECUADOR**

**Tesis Doctoral en Ciencias Agrarias**

**Doctorando: Ing. Agr. Luis Alberto Duicela Guambi**

Tutor: Dr. Rey Gastón Loor Solórzano

Maracaibo, abril 2021

**PRODUCTIVIDAD Y ESTABILIDAD AMBIENTAL DE CLONES DE  
CAFÉ ROBUSTA EN DISTINTAS LOCALIDADES CAFETALERAS DEL  
ECUADOR**



---

**Luis Alberto Duicela Guambi**

**CI: 060099411-5**

Dirección: Campus Politécnico “El Limón” Carrera Ingeniería  
Agrícola de la  
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí MFL  
Calceta, Manabí, Ecuador

Teléfono móvil: +593 98 3345824

Correo electrónico: [luis.duicela@espam.edu.ec](mailto:luis.duicela@espam.edu.ec)



---

**Tutor: Rey Gastón Loor Solórzano**

**CI: 130698407-9**

Dirección: km 5. Vía Quevedo-El Empalme  
Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP  
Quevedo, Los Ríos, Ecuador Teléfono móvil: +593 99 8858965  
Correo electrónico: [rey.loor@iniap.gob.ec](mailto:rey.loor@iniap.gob.ec)



## VEREDICTO

Nosotros, Profesores Jorge Vilchez, Rey Gastón Loor y Gisela Rivero, como Jurado Evaluador del Examen de la Tesis Doctoral para optar al grado de **DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS** intitulado **“Productividad y estabilidad ambiental de clones de café robusta en distintas localidades cafetaleras del Ecuador”** del Ingeniero Agrónomo **LUIS ALBERTO DUICELA GAMBI, Pasaporte No. A6516826**, para obtener el Título Académico de **DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS**, de acuerdo al artículo 51, aparte 51.6, página 12, del Reglamento de Estudios para Graduados de La Universidad del Zulia, nos hemos reunido para efectuar dicho examen y después del interrogatorio correspondiente, damos nuestra aprobación, otorgándole por unanimidad **MENCIÓN DE HONOR**, en fe de lo cual firmamos en Maracaibo a los a los 05 días del mes de marzo del año dos mil veintiuno.

**Jorge Vilchez**  
**Coordinador**  
**C.I. 10.917.803**



**Rey Gastón Loor (Tutor)**  
**Miembro Principal**  
**C.I. E.- 1306984079**

**Gisela Rivero**  
**Miembro Principal**  
**C.I. 9.702.844**



## VEREDICTO

Nosotros, Profesores Jorge Vilchez, Rey Gastón Loor y Gisela Rivero, como Jurado Evaluador del Examen de la Tesis Doctoral para optar al grado de **DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS** intitulado **"Productividad y estabilidad ambiental de clones de café robusta en distintas localidades cafetaleras del Ecuador"** del Ingeniero Agrónomo **LUIS ALBERTO DUICELA GAMBI, Pasaporte No. A6516826**, para obtener el Título Académico de **DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS**, de acuerdo al artículo 51, aparte 51.6, página 12, del Reglamento de Estudios para Graduados de La Universidad del Zulia, nos hemos reunido para efectuar dicho examen y después del interrogatorio correspondiente, damos nuestra aprobación, otorgándole por unanimidad **MENCIÓN DE HONOR**. Se tomó ésta decisión en virtud del valioso aporte de la investigación a la caficultura ecuatoriana, con miras a su reactivación y promoción no solo en la zona de estudio, sino a nuevas áreas en el continente, donde las condiciones sean las aptas para el cultivo. Asimismo, por el rescate de los recursos fitogenéticos autóctonos, que pueden constituirse en rubros de interés económico, social y cultural en la región suramericana. Y finalmente, por representar una contribución inédita que abarcó estrategias tecnológicas de primer nivel para el logro de los objetivos planteados, en fe de lo cual firmamos en Maracaibo a los a los 05 días del mes de marzo del año dos mil veintiuno.

**Jorge Vilchez**  
Coordinador  
C.I. 10.917.803



**Gisela Rivero**  
Miembro Principal  
C.I. 9.702.844

**Rey Gastón Loor (Tutor)**  
Miembro Principal  
C.I. E.- 1306984079

## **DEDICATORIA**

A Diana Sofía  
A mis hijos e hijas  
A mis nietos

## **AGRADECIMIENTO**

A los miembros del Comité Asesor, Doctores: Rey Gastón Loor Solórzano, Elvis Alfonso Portillo Páez y Charles Lambott.

A las autoridades y profesores de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Zulia, especialmente a los Doctores Rosa Razz, Emma Segovia, Jorge Vílchez, Gisella Rivero, Moisés Martínez, Eugenio Mendoza, Fátima Urdaneta y Belkys Bracho.

A los docentes y amigos de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, de manera especial a la Dra. Myriam Félix López, al Dr. Ángel Guzmán y a los Ings. Leonardo Vera, Galo Cedeño, Gonzalo Constante, Javier Mendoza, Paúl Cedeño y Sofía Velázquez.

Al equipo de investigadores en café del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INAP), liderados por el Dr. Rey Gastón Loor; Ingenieros Luis Fernando Plaza, Hilton Ecuador Guerrero, Fabián Fernández, Geover Peña, Cristian Subía, Darío Calderón, Juan Carlos Jiménez, Jimmy Pico y Teresa Casanova.

Al equipo de catadores de café: Henry Benalcázar, Andrea López, Fanny Zambrano y Diana Sofía Farfán.

A los amigos investigadores, productores, exportadores e industriales, que comparten el sueño de convertir la actual crisis del sector cafetalero en una oportunidad de cambio, especialmente a Ignacio Antonio Sotomayor Herrera, Jorge Adrián Salcedo Benítez, Jorge Enrique Guamán Aguilar, Willian Paúl Chilán Villafuerte, Pablo César Pinargote, Freddy Bustamante, Vinicio Dávila, Humberto Heredia, Galo Bolívar Chiriboga, Freddy Marcelo Amores, Henry Benalcázar, Andrea López, Alfredo Saltos Gualle, Oswaldo Valarezo, Vicente Cárdenas, Pedro Ramírez, Wilson Yánez y Luis Gavidia.

A las instituciones que contribuyen a la investigación y desarrollo del café, de la caficultura y de los caficultores, como: Cooperación Técnica Alemana (GIZ), Comité Europeo para la Formación y la Agricultura (CEFA), empresa Solubles Instantáneos C.A., Asociación Nacional de Exportadores de Café y la Red Universitaria de Investigación y Desarrollo Cafetalero (REDUCAFÉ).



Duicela Guambi, Luis Alberto. “Productividad y estabilidad ambiental de clones de café robusta en distintas localidades cafetaleras del Ecuador”. Tesis doctoral. Universidad de Zulia. Facultad de Agronomía. División de Estudios para Graduados. Doctorado en Ciencias Agrarias. Maracaibo, Venezuela. 2021. 99 p.

## RESUMEN

En la selección de genotipos del café se evidencian limitaciones metodológicas para identificar los parámetros genéticos tales como la estabilidad genética. Frecuentemente se obtienen resultados contradictorios usando los distintos métodos, en diferentes cultivos y ambientes. En este contexto, se realizó un estudio con el objetivo de valorar modelos de análisis de estabilidad genética de la producción, en la selección de clones de café robusta, en diversos ambientes y su relación con las características morfológicas y organolépticas. Los datos provienen del ensayo multilocal, iniciado en 2015, donde se evaluaron 22 clones, en cinco localidades: Loreto, Macas, Pichilingue, Portoviejo y Santo Domingo. Los modelos estadísticos evaluados fueron: el análisis de varianza de Kruskal y Wallis, Finlay y Wilkinson, Eberhart y Russell, Lin y Binns, AMMI y PROMVAR. El comportamiento fenotípico de clones se analizó a los 48 meses de edad. Para el análisis sensorial se aplicó el protocolo SCA, en cafés naturales, cosechados en Pichilingue, 2019. La evidencia experimental permitió establecer que la estabilidad del rendimiento y la valoración de los caracteres morfológicos y organolépticos contribuyen a la selección segura de clones. En la identificación de genotipos estables con alto rendimiento, el modelo PROMVAR resultó tan eficiente como el ANDEVA de Kruskal y Wallis. El modelo PROMVAR tuvo una coincidencia del 50% con el modelo de Finlay y Wilkinson ( $p=0,046$ ) y del 62,5% con los modelos de Lin y Binns y de Eberhart y Russell ( $p=0,417$ ). Los clones identificados con altos rendimiento y estabilidad, fueron: LB-A10, LT-A2, NP-4024-A4, COF-03-A7, LE-A7, LE-A1, LQ-A3 y NP-3018-A19. Los clones con caracteres morfológicos de interés fueron: LB-A10, COF-03-A7, NP-2024-A10 y NP-2024 y COF-03-A2. Los clones con alta potencialidad para producir cafés finos ( $\geq 80$  puntos SCAA) fueron: LE-A1, NP-3018-A19, NP-4024-A4, COF-03-A15 y Nestllé-2. El clon LE-A1 sobresale en productividad, estabilidad y calidad sensorial.

**Palabras clave:** parámetros genéticos, interacción genotipo x ambiente, adaptabilidad, calidad organoléptica, modelo estadístico.

**Correo electrónico:** luis.duicela@espam.edu.ec

Duicela Guambi, Luis Alberto. "Productivity and environmental stability of robusta coffee clones in different coffee-growing locations in Ecuador". Tesis doctoral. Universidad de Zulia. Facultad de Agronomía. División de Estudios para Graduados. Doctorado en Ciencias Agrarias. Maracaibo, Venezuela. 2021. 99 p.

## ABSTRACT

In the selection of genotypes, methodological limitations are evident to identify genetic parameters such as genetic stability, having frequently obtained contradictory results, using the different methods, in different crops and environments. In this context, a study was carried out with the objective of evaluating models for the analysis of genetic stability of production, in the selection of robusta coffee clones, in various environments and their relationship with morphological and organoleptic characteristics. The data come from the multilocal trial, started in 2015, where 22 clones were evaluated, in five localities: Loreto, Macas, Pichilingue, Portoviejo and Santo Domingo. The statistical models evaluated were: the analysis of variance of Kruskal and Wallis, Finlay and Wilkinson, Eberhart and Russell, Lin and Binns, AMMI and PROMVAR. The phenotypic behavior of clones was analyzed at 48 months of age. For the sensory analysis, the SCA protocol was applied, in natural coffees, harvested in Pichilingue, 2019. The experimental evidence allowed to establish that the stability of the yield and the evaluation of the morphological and organoleptic characters contribute to the safe selection of clones. In the identification of stable genotypes with high performance, the PROMVAR model was as efficient as the ANDEVA of Kruskal and Wallis. The PROMVAR model had a 50% agreement with the Finlay and Wilkinson model ( $p = 0.046$ ) and 62.5% with the Lin and Binns and Eberhart and Russell models ( $p = 0.417$ ). The clones identified with high yield and stability were: LB-A10, LT-A2, NP-4024-A4, COF-03-A7, LE-A7, LE-A1, LQ-A3 and NP-3018-A19. The clones with morphological characters of interest were: LB-A10, COF-03-A7, NP-2024-A10 and NP-2024 and COF-03-A2. The clones with high potential to produce fine coffees ( $\geq 80$  SCAA points) were: LE-A1, NP-3018-A19, NP-4024-A4, COF-03-A15 and Nestllé-2. The LE-A1 clone was better in productivity, stability and sensory quality.

**Key words:** Genetic parameters, genotype x environment interaction, adaptability, organoleptic quality, statistical model.

**E-mail:** luis.duicela@espam.edu.ec

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II.</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	8
2.1.	Objetivo general .....	8
2.2.	Objetivos específicos.....	8
2.3.	Hipótesis .....	8
<b>III.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	9
3.1.	Episteme.....	9
3.2.	Café robusta .....	10
3.3.	Parámetros genéticos.....	10
3.4.	Análisis estadístico descriptivo .....	13
3.5.	Asociación estadística de variables .....	13
3.6.	Análisis de varianza .....	15
3.6.1.	Análisis de varianza paramétrico.....	16
3.6.2.	Análisis de varianza no paramétrico.....	18
3.7.	Métodos de análisis de estabilidad genética .....	19
3.7.1.	Método de Finlay y Wilkinson .....	19
3.7.2.	Método de Eberhart y Russell .....	20
3.7.3.	Método de Lin y Binns.....	22
3.7.4.	Método “efectos principales aditivos e interacción multiplicativa” (AMMI) .....	23
3.7.5.	Método “relación promedios y variabilidad relativa (PROMVAR).....	25
<b>IV.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	27
4.1.	Características del experimento multilocal.....	27
4.1.1.	Características edafoclimáticas.....	27
4.1.2.	Estructura de los ensayos regionales .....	29
4.1.3.	Clones de café robusta.....	29
4.1.4.	Manejo de los experimentos .....	30

4.2.	Metodología para el objetivo específico 1: Evaluar modelos de análisis de la estabilidad genética para la selección segura de clones de café robusta de alta productividad .....	31
4.2.1.	Variable experimental .....	31
4.2.2.	Análisis de Varianza.....	32
4.2.3.	Modelos estadísticos de estimación del parámetro estabilidad .....	35
4.3.	Metodología para objetivo específico 2: Caracterizar la morfología de 22 genotipos de café robusta en distintos ambientes.....	37
4.3.1.	Variables para la caracterización morfológica.....	37
4.3.2.	Análisis estadístico .....	40
4.4.	Metodología para objetivo específico 3: Identificar el potencial organoléptico de los clones de robusta beneficiados por vía seca .....	40
4.4.1.	Variables experimentales para la evaluación sensorial .....	41
4.4.2.	Preparación de las muestras.....	42
4.4.3.	Etapas de la prueba de taza.....	42
4.4.4.	Panel de catación .....	43
4.4.5.	Análisis estadístico .....	43
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>44</b>
5.1.	Estimación del parámetro estabilidad genética del rendimiento de 22 clones de café robusta .....	44
5.1.1.	Estadística descriptiva del rendimiento .....	44
5.1.2.	Análisis de la varianza.....	48
5.1.3.	Estimación de la estabilidad usando el modelo de Finlay y Wilkinson.....	53
5.1.4.	Estimación de la estabilidad usando el modelo de Eberhard y Russell .....	54
5.1.5.	Estimación de la estabilidad usando el modelo Lin y Binns .....	55
5.1.6.	Modelo AMMI.....	57
5.1.7.	Estimación del parámetro estabilidad del rendimiento usando el modelo PROMVAR62	
5.1.8.	Comparación entre modelos estadísticos usados para la estimación del parámetro estabilidad .....	66
5.2.	Caracterización morfológica de 22 clones de café robusta .....	67

<b>VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	89
6.1. Conclusiones .....	89
6.2. Recomendaciones.....	90
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	91
<b>ANEXOS</b> .....	97
ANEXO 1. Distribución geográfica de las localidades cafetaleras en estudio .....	98
ANEXO 2. Clon de café robusta LT-A2 .....	99

## ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.1.	Exportaciones de café (sacos de 60 kilos): 2007-2019.	1
Cuadro 3.1.	Regla de decisiones para interpretar los resultados del modelo Eberhart y Russell.	22
Cuadro 4.1.	Características edafoclimáticas de las localidades experimentales.	28
Cuadro 4.2.	Estructura de los ensayos regionales de clones de café robusta.	29
Cuadro 4.3.	Genotipos de café robusta probados por localidades cafetaleras.	30
Cuadro 4.4.	Manejo de los ensayos regionales de clones de café robusta.	31
Cuadro 4.5.	Esquema de los análisis de varianza por localidades.	33
Cuadro 4.6.	Esquema del análisis de varianza combinados: localidades x años x clones.	34
Cuadro 4.7.	Esquema de aplicación del análisis de varianza por rangos de Kruskall y Wallis.	34
Cuadro 4.8.	Descripción de los atributos sensoriales evaluados en café robusta.	41
Cuadro 5.1.	Estadísticos de la variable rendimiento ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en cinco localidades cafetaleras del Ecuador: Media ( $\bar{Y}$ ), Mediana (Md), Moda (Mo), Varianza ( $S^2$ ), Desviación estándar (S), Error típico (EE), Curtosis ( $g_2$ ) Coeficiente de asimetría ( $\gamma_1$ ), Coeficiente de variación (CV%), Variación relativa (VR%), Mínimo (Min), Máximo (Max), Rango (Rn), Número de observaciones (n), Intervalo de confianza (95%), Límite Inferior de $\mu$ (LIC) y Límite Superior de $\mu$ (LSC).	45
Cuadro 5.2.	Prueba de Levene para homogeneidad de las varianzas de la variable rendimiento de los 22 clones de café robusta.	46
Cuadro 5.3.	Cuadro 5.3. Estadísticos de la variable rendimiento ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en 22 clones de café robusta: Promedios por localidad ( $\bar{Y}$ ), Media de los clones i en los ambientes j ( $\bar{G}_i$ ), Error típico ( $EE=S\bar{e}$ ), valor escalar a la media (Eam), coeficiente de variación (CV), variación relativa (VR), coeficiente de asimetría de Fisher ( $\gamma_1$ ), Curtosis ( $g_2$ ) y tipos de distribución y de varianza.	47
Cuadro 5.4.	Cuadro 5.4. Análisis de varianza de los datos originales (Y) y transformados a $\sqrt{Y}$ de la variable rendimiento en ensayo multilocal de selección de clones de café robusta.	49
Cuadro 5.5.	Análisis de varianza de los datos originales (Y) y transformados a $\sqrt{Y}$ de la variable rendimiento en ensayo multilocal de selección de clones de café robusta.	50

Cuadro 5.6.	Comparación entre rangos de Tukey ( $\alpha=0,05$ ) a partir de los análisis de varianza de datos originales y transformados vs rangos (R) de KW para la variable rendimiento en cinco localidades cafetaleras.	50
Cuadro 5.7.	Rangos de Tukey ( $\alpha=0,05$ ) y medias de los genotipos ( $\bar{G}_i$ ) por el análisis de varianza de los datos originales $G_i$ y de los datos transformados a $\sqrt{G_i}$ para la variable rendimiento de 22 clones de café robusta probados en cinco localidades cafetaleras del Ecuador.	51
Cuadro 5.8.	Análisis de varianza por rangos de Kruskal y Wallis de la variable rendimiento en distintos años (A).	51
Cuadro 5.9.	Análisis de varianza por rangos de Kruskal y Wallis de la variable rendimiento de clones de café robusta en las localidades Pichilingue (Los Ríos) y Portoviejo (Manabí).	52
Cuadro 5.10.	Promedio de rendimiento de los 22 clones de café robusta ( $\bar{G}_i$ ) y parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell ( $b$ , $\beta$ y $S_d^2$ ), coeficiente de determinación $R^2$ y agrupamiento en categorías con escala ordinal de los estadísticos promedio de rendimiento de los genotipos ( $\bar{G}_i$ ), categorización del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y de la varianza de las desviaciones ( $S^2d$ ), la valoración multicriterio ( $\sum MC$ ) y la prioridad de selección.	54
Cuadro 5.11.	Índice de superioridad ( $P_i$ ) de los clones $G_i$ mediante el método de Lin y Binns.	56
Cuadro 5.12.	Comparación entre modelos estadísticos usados para estimar la estabilidad del rendimiento de clones de café robusta.	66
Cuadro 5.13.	Promedios de las características fenotípicas: altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), número de ramas (NR), número de ramas productivas (NRP), longitud de rama productiva (LRP), número de nudos por rama (NNR), distancia entre nudos (DEN), grado de compactación (GC) y producción de café oro por planta (PCOP) de 22 clones de café robusta.	68
Cuadro 5.14.	Estadísticos de las variables altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), número de ramas (NR), número de ramas productivas (NRP), longitud de rama productiva (LRP), número de nudos por rama (NNR), distancia entre nudos (DEN), grado de compactación (GC) y producción de café oro por planta (PCOP) de 22 clones de café robusta en cinco localidades cafetaleras.	69
Cuadro 5.15.	Estadísticos de la variable morfológica Altura de planta (cm) de 22 clones de café robusta: Número de observaciones (n), Media general ( $\bar{Y}$ ), Error estándar (EE), Coeficiente de variación (CV%), Variación relativa (VR%), Coeficiente de asimetría de Fisher ( $g_1$ ), Curtosis ( $g_2$ ), Límite inferior de $\mu$ (95%), Límite superior de $\mu$ (95%) y tipos de distribución y de varianza.	74
Cuadro 5.16.	Matriz de correlaciones lineales $r$ entre caracteres fenotípicos del café robusta: Altura de planta (AP), Diámetro de tallo (DT), Número de ramas (NR), Número de ramas productivas (NRP), Longitud de rama productiva (LRP), Número de nudos por rama (NNR), Distancia entre nudos (DEN), Grado de compactación (GC) y Producción de café oro por planta (PCOP).	77

Cuadro 5.17.	Características del modelo de la función producción.	79
Cuadro 5.18.	Regresión multivariada de la producción en función del número de ramas y número de ramas productivas por cafeto.	79
Cuadro 5.19.	Coefficientes del modelo multivariado, error típico, estadístico $t$ y probabilidad.	79
Cuadro 5.20.	Media de calidad sensorial ( $\bar{Y}$ ), Error estándar (EE) y valores máximos (Max), mínimos (Min), rangos (Rn), y desviaciones estándar (S) de las calificaciones sensoriales de 22 clones de café robusta.	82
Cuadro 5.21.	Medias de los atributos sensoriales de los 22 clones de cafés robustas: fragancia/aroma (FAARO), gusto (GUS), regusto (REGU), equilibrio sal/acidez (ESACID), equilibrio amargo/dulce (EAMDUL), sensación en la boca (SENBO), uniformidad (UNI), equilibrio (EQUIL), limpieza (LIM), puntaje de catador (PCAT) y calificación sensorial (EVSEN).	84
Cuadro 5.22.	Correlaciones entre atributos: fragancia/aroma (FAARO), gusto (GUS), regusto (REGU), equilibrio sal/acidez (ESACID), equilibrio amargo/dulce (EAMDUL), sensación en la boca (SENBO), equilibrio (EQUIL) y puntaje de catador (PCAT) y calificación sensorial (EVSEN).	85
Cuadro 5.23.	Análisis de varianza de las calificaciones sensoriales de 22 clones de café robusta: grados de libertad (GL), suma de cuadrados (SC), cuadrados medios (CM), estadístico F, probabilidad de F y significación estadística (SE), en Pichilingue, 2020.	86



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Evolución del área cafetalera en producción en el Ecuador.	2
Figura 5.1. Distribución de los promedios de rendimiento en clases (kg ha <sup>-1</sup> ) de 22 clones de café robusta en cinco localidades cafetaleras.	46
Figura 5.2. Estabilidad genética de los clones de café robusta en base al modelo Finlay y Wilkinson.	53
Figura 5.3. Índices ambientales de cinco localidades cafetaleras y 22 genotipos de robusta.	55
Figura 5.4. Estabilidad del rendimiento de 22 clones de café robusta en cinco localidades del Ecuador.	58
Figura 5.5. Estabilidad de clones de café robusta en Loreto, en distintos años.	59
Figura 5.6. Estabilidad de clones de café robusta en Macas, en distintos años.	60
Figura 5.7. Estabilidad de clones de café robusta en Pichilingue, en distintos años.	60
Figura 5.8. Estabilidad de clones de café robusta en Portoviejo en distintos años.	61
Figura 5.9. Estabilidad de clones de café robusta en Santo Domingo en distintos años.	61
Figura 5.10. Diagrama de cuatro celdas en clones de café robusta en distintos años.	62
Figura 5.11. Diagrama de cuatro celdas en clones de café robusta de Loreto.	63
Figura 5.12. Diagrama de cuatro celdas en clones de café robusta de Macas.	64
Figura 5.13. Diagrama de cuatro celdas en clones de café robusta de Pichilingue.	64
Figura 5.14. Diagrama de cuatro celdas en clones de café robusta de Portoviejo.	65
Figura 5.15. Diagrama de cuatro celdas en clones de café robusta de Santo Domingo.	65
Figura 5.16. Altura de planta en clones de café robusta en Loreto, Provincia Orellana.	71
Figura 5.17. Altura de planta en clones de café robusta en Macas, Provincia Morona Santiago.	71
Figura 5.18. Altura de planta en clones de café robusta en Pichilingue, Provincia Los Ríos.	72

Figura 5.19.	Altura de planta en clones de café robusta en Portoviejo, Provincia Manabí.	72
Figura 5.20.	Altura de planta en clones de café robusta en Santo Domingo, Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas.	73
Figura 5.21.	Distribución empírica de la producción de café oro/planta de 22 clones de café robusta.	76
Figura 5.22.	Distribución empírica de la altura de planta (cm) de 22 clones de café robusta.	76
Figura 5.23.	Similitudes morfológicas de los clones de café robusta a partir de los datos en escala ordinal 1-4, en función de los cuartiles.	78
Figura 5.24.	Histograma de residuos estudentizados y distribución de frecuencias esperadas.	80
Figura 5.25.	Valores pronosticados y relación con los observados en función del modelo.	80
Figura 5.26.	Contribución (%) de las variables morfológicas sobre la producción de café oro.planta <sup>-1</sup> .	81
Figura 5.27.	Regresión lineal de la producción en función del número de ramas.	81
Figura 5.28.	Calificaciones sensoriales en 22 clones de café robusta preparados mediante el beneficio por vía seca procedentes de Pichilingue, Los Ríos.	83
Figura 5.29.	Perfiles sensoriales de los clones de cafés robusta de Pichilingue, preparados por vía seca, con puntajes mayores que 80 puntos SCAA.	87
Figura 5.30.	Similitud en atributos sensoriales entre clones de café robusta beneficiados por vía seca.	87

## ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

Siglas	Descripción
AGROCALIDAD	Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro
AMMI	Efectos principales aditivos e interacción multiplicativa
ANECAFÉ	Asociación Nacional de Exportadores de café
COFENAC	Consejo Cafetalero Nacional
EETP	Estación Experimental Tropical Pichilingue
ESPAM	Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí
INAMHI	Instituto de Meteorología e Hidrología
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
IPGRI	International Plant Genetic Research Institute
LUZ	La Universidad de Zulia
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
NP	Napo Payamino. Antigua Estación Experimental del INIAP ubicada en Orellana. Hoy, Estación Central de la Amazonía
OIC	Organización Internacional del Café
PROMVAR	Relación de promedios aritméticos y variación relativa
SCA	Specialty Coffee Association
SCAA	Specialty Coffee Association of América
SICA	Solubles Instantáneos Compañía Anónima

## I. INTRODUCCIÓN

Para los ecuatorianos, la caficultura tiene importancia en los órdenes: económico, social y ambiental (Ponce y col., 2018). En 23 de las 24 provincias del Ecuador, se cultivan las dos especies comerciales, el café arábigo (*Coffea arabica* L.) y el café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner). El café arábigo se cultiva en Manabí (zona de bajura) y en las estribaciones orientales y occidentales de Los Andes, hasta los 2.100 metros de altitud; el café robusta se cultiva en las zonas tropicales secas de las provincias Santa Elena y Guayas, así como en las tropicales húmedas del litoral y amazonia (COFENAC, 2013). La amplia distribución geográfica del café es la expresión de la adaptabilidad a diversos climas y suelos, principalmente manejados en sistemas agroforestales, contribuyendo a la conservación de los recursos naturales y vida silvestre, al balance hídrico y a la fijación de carbono (Ponce y col., 2018).

A nivel global, Panhuysen y Pierrot (2014) afirman que del producto café dependen más de 25 millones de personas. La tendencia de producción mundial para el 2017 fue: Brasil con 33,1%, Vietnam 18,5%, Colombia 8,8% e Indonesia 6,8% (EKOS, 2019). El Ecuador en el 2007, exportó 992.190 sacos de 60 kg (75% industrializado y en grano 10% robusta y 15% arábigo), mientras que en 2019, las exportaciones fueron 506.267 sacos (95,2% industrializado), según la Asociación Nacional de Exportadores de Café (ANECAFÉ), evidenciándose una continua reducción desde 2012 (Cuadro 1.1).

Cuadro 1.1. Exportaciones de café (sacos de 60 kilos): 2007-2019

Años	Arábigo	Robusta	Industrializado	Total (Sacos de 60 kg)
2007	147.376	95.625	749.189	992.190
2008	59.575	65.895	748.609	874.079
2009	136.064	300.015	690.643	1.126.722
2010	184.398	210.903	806.048	1.201.350
2011	199.438	407.789	939.112	1.546.338
2012	114.181	359.312	1.097.452	1.570.944
2013	78.87	22.656	1.060.447	1.261.691
2014	63.92	87.468	980.579	1.131.638
2015	58.974	46.728	764.268	869.970
2016	64.122	20.247	836.804	921.174
2017	52.944	26.932	615.269	695.144
2018	18.047	55.186	409.466	482.700
2019	12.554	11.750	481.963	506.267

Fuente: ANECAFÉ (2020)

La crisis de producción y precios del sector cafetalero ha provocado una disminución de su aporte a la economía del país y deteriorado las condiciones de vida de los pequeños productores (Ponce y col., 2018). Se reconoce que no se puede competir en volumen con países exportadores de robusta como Brasil o Vietnam (Muntaner, 2019) o de arábigo como: Colombia, Perú, Guatemala y Honduras. Una breve revisión de las estadísticas permite comprender la magnitud de la crisis. Según la Organización Internacional del Café (OIC), la producción de Ecuador en 2019 fue 600.000 sacos de 60 kg (OIC, 2021) y la demanda de 2.200.000 sacos: 200.000 para consumo interno, 1.200.000 para la industria de soluble y 800.000 para la exportación de grano (ANECAFE, 2020).

En el año cafetero 1990/1991, la OIC (2021) indicó que la producción mundial fue 93 millones de sacos de 60 kg y en 2018/2019 fue 171 millones, lo que significa un crecimiento anual de 2,67 millones de sacos. En el I Censo Cafetero de 1983, se determinó que había 426.965 ha de cafetales, 346.971 en producción (81%) con una cosecha de 120.000 t, equivalente a 2,1% de la exportación mundial (MAG, 1987). Según el III Censo Agropecuario del 2002, había 320.000 ha (MAG, 2002); en 2012, el COFENAC (2013) estimó 220.000 ha y en 2019 la ANECAFE (2020) reportó que había 60.000 ha, con una cosecha de 268.000 sacos (Figura 1.1).

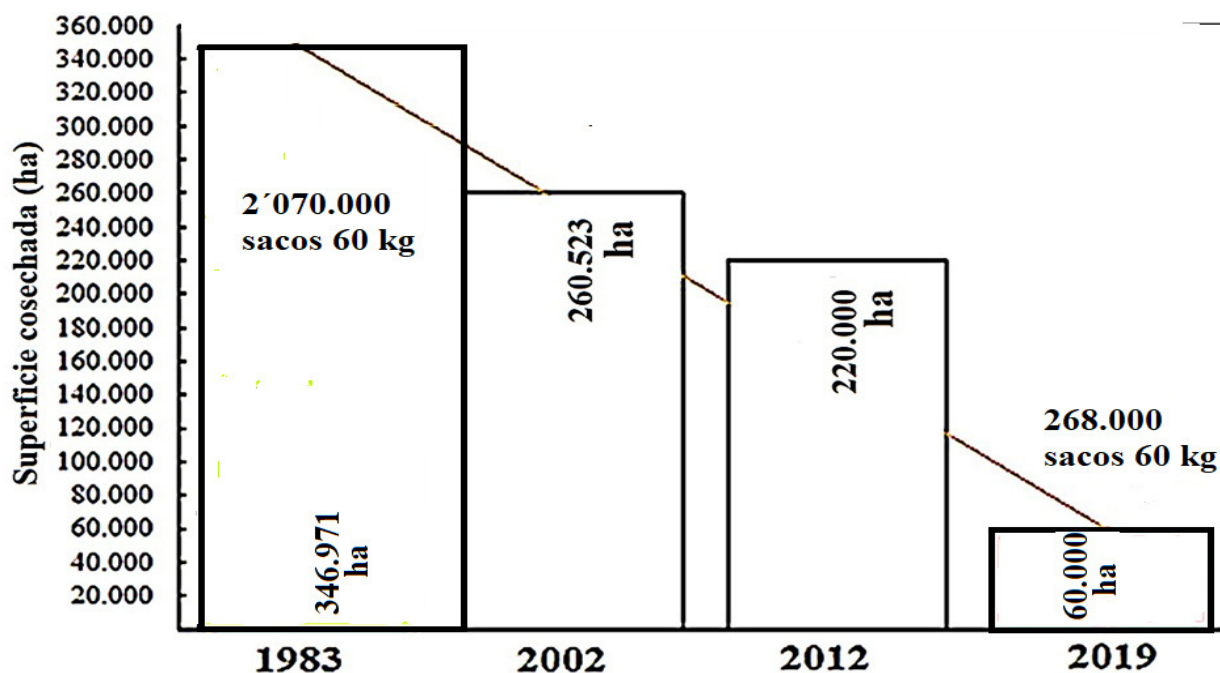


Figura 1.1. Evolución del área cafetalera en producción en el Ecuador

Fuentes: MAG (1987), MAG (2002), COFENAC (2013) y ANECAFE (2020)

El café, según Panhuysen y Pierrot (2014), es una de las materias primas agrícolas, líder en programas relacionados con la sostenibilidad y que a menudo ha marcado la pauta para otros “agrocommodities”. El mayor volumen de café robusta que se negocia en el mercado mundial, corresponde a cafés naturales. Un café natural es preparado mediante el beneficio por vía seca, proceso que consiste en la deshidratación de las cerezas o frutos maduros con todas sus envolturas (pericarpio y mesocarpio), hasta alcanzar 10-13% de humedad. Los frutos deshidratados, llamados “bola seca”, son descascarados en una máquina piladora (donde se eliminan las envolturas del endospermo), para obtener el café en grano u oro que, cuando se ha preparado por vía seca, se conoce como “café natural” (Leroy y col., 2014; Duicela y col., 2018).

En cuanto a los precios del café en el mercado mundial, se toma como referencia los precios en la Bolsa de valores de New York para café arábigo y los de la Bolsa de Londres para el robusta. En el mundo se negocian cuatro tipos de cafés: suaves colombianos, otros suaves, naturales brasileños y robustas (OIC, 2021). Los cafés suaves colombianos son arábigos lavados, preparados en Colombia y Kenia; los otros suaves corresponden a arábigos que se producen en los demás países, excepto Brasil; los naturales brasileños son cafés arábigos y los robustas de distintos orígenes son preparados por vía seca (OIC, 2021).

El consumo mundial, evidencia un incremento de 4,1 millones de sacos/año, principalmente en Oceanía, Europa y América del Norte entre los años cafeteros 2014/2015 y 2018/2019 (Vargas y col., 2016). Una parte representativa del incremento del consumo se origina en la demanda de cafés sostenibles, que van alcanzando niveles significativos de penetración en el mercado con ventas estimadas en 9% del consumo mundial (Jiménez, 2014). En este segmento hay posibilidades de hacer negocios, considerando que por los cafés finos se pagan los mejores precios (Panhuysen y Pierrot, 2014).

La reducción del ingreso de divisas para el país es otra manifestación de la crisis: en 2012 fue \$198 millones y en 2019 se redujo a \$77,8 millones, correspondiendo a café robusta solo \$1,44 millones (ANECAFE, 2020). A nivel global, el 98% corresponde a la producción de las especies arábigo y robusta. La industria de café soluble demanda altos volúmenes de robusta (Loor y col., 2017; Duicela y col., 2018), donde se usan mezclas en una proporción referencial: 85% robusta + 15% arábigo.

En el mercado global, entre 2000 y 2006, los precios del café tuvieron drásticas caídas. En el 2011, los arábigos alcanzaron los precios históricos más altos: suaves colombianos \$283,80.quintal<sup>-1</sup>, los otros suaves \$271,1.quintal<sup>-1</sup> y arábicas brasileños \$247,6.quintal<sup>-1</sup> (OIC, 2021). El café robusta, en 1995, alcanzó el mayor precio en la bolsa, cotizándose a \$125,70.quintal<sup>-1</sup>. A febrero de 2021, los precios referenciales por

libra de café fueron: suaves colombianos a 176,96 ¢, otros Suaves a 166,43 ¢, naturales brasileños 120,06 ¢ y robusta a 73,37 centavos (OIC, 2021).

En este escenario del mercado del café y de la situación productiva en el Ecuador, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), universidades y varias instituciones públicas y privadas, se han propuesto impulsar la investigación y desarrollo del sector cafetalero, definiendo como una prioridad la selección de clones de café robusta de alta productividad, adaptados a las distintas localidades cafetaleras. El INIAP, con este propósito, identificó un grupo de clones promisorios en desempeño productivo (Plaza y col., 2015), con calidad sensorial interesante (Zambrano y col., 2018), en circunstancias de que crece la demanda de los cafés diferenciados.

Los cafés convencionales, robustas y arábigos, dan énfasis en la oferta de altos volúmenes, cumpliendo las normativas nacionales de características físicas del grano, requerimientos de la industria y estándares de los países compradores, basados principalmente en aspectos fitosanitarios, residuos de agrotóxicos e incidencia de ocratoxina A (OTA). Los cafés diferenciados se distinguen por atributos como: origen genético (cultivares puros o híbridos), territorios de cultivo (valor histórico, ecológico o patrimonial), tecnología de producción (orgánica, agroecológica, biodinámica), contribución a la biodiversidad (café de conservación, café bajo sombra), solidaridad y justicia en los negocios (café de comercio justo), procesos poscosecha (lavado, semilavado o natural) o calificación sensorial  $\geq 80$  puntos SCAA.

En la perspectiva de fomentar una comunidad cafetalera mundial: próspera, equitativa y sostenible, según informa Comunicaffe International (2017), en enero de 2017, se conformó la Asociación de Cafés Especiales (Specialty Coffee Association: SCA), en base a la alianza entre la SCAA (Specialty Coffee Association of América) y la SCAE (Specialty Coffee Association of Europe).

La baja producción nacional del café tiene varias causas: reducción del área cultivada, prevalencia de cafetales viejos, baja productividad, comportamiento errático del clima, limitado sistema de transferencia de tecnología y falta de políticas de financiamiento.

La reducción de la producción nacional de café, la alta demanda de materia prima para la elaboración de café instantáneo (industria ecuatoriana) y las oportunidades del mercado de cafés diferenciados motivan una intervención dinámica de la cadena agroindustrial del café. Por tanto, es imperativo recuperar los niveles de producción para sustituir las importaciones y cubrir la demanda de la industria de café soluble.

La producción de un cultivo se mide en términos de cantidad o peso de la parte utilizable como los granos; cuando esta se relaciona con la cantidad de recursos utilizados se denomina productividad (Arcila, 2007). La baja productividad del café es resultante del uso de cultivares de origen genético desconocido, la alta incidencia de problemas fitosanitarios, el deficiente manejo del suelo y agua e las inadecuadas prácticas agrícolas. En el Ecuador, la productividad se estima 0,23 t.ha<sup>-1</sup> en arábigo y 0,49 t.ha<sup>-1</sup> en robusta (Monteros, 2017), valores bajos comparados con Centroamérica (0,50-0,75 t.ha<sup>-1</sup>), Vietnam (2,5 t.ha<sup>-1</sup>) y Brasil (1,5 t.ha<sup>-1</sup>), según Perfect Daily Grind (2020).

La productividad es una medida de eficiencia en el uso de recursos naturales y tecnológicos por unidad de superficie, depende de los factores genético, ambiente biofísico y manejo agronómico (Arcila, 2007). El factor genético es el legado de genes que caracterizan al cultivar o variedad que se expresan en los niveles de producción, resistencia a plagas, adaptabilidad y heredabilidad. El factor ambiental comprende la biota y abiota característica de la zona de cultivo y de la finca. La biota de un agroecosistema específico como el cafetal comprende el complejo de macroorganismos vegetales (árboles, arbustos, hierbas) y animales (aves, reptiles, roedores, insectos), así como a los microorganismos benéficos y no benéficos (hongos y bacterias). La abiota hace referencia al espacio físico y sus características como: posición geográfica (altitud, longitud, latitud), zona de vida, suelo y clima de la localidad que trata sobre los patrones meteorológicos distintivos de territorios: precipitación, temperatura, humedad relativa, luminosidad, entre otros. Al respecto, Allard (1975) define al ambiente como la suma total de todas las condiciones externas que afectan el crecimiento y desarrollo de un organismo o población como el cafetal.

El manejo agronómico, como factor de la producción, se refiere a la capacidad del agricultor para gestionar los recursos naturales (excesos/déficit), tecnológicos (labores de cultivo y uso de agroinsumos, maquinaria y equipos) y humanos (capacitación, administración, mercado), expresado como buenas prácticas agrícolas.

La Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD), mediante resolución DAJ-20134CB-0201.0281, publicó la guía de buenas prácticas agrícolas en café (AGROCALIDAD, 2013). El desafío del agricultor consiste en identificar en forma precisa los factores limitantes y eliminar o minimizar la influencia de aquellos que pueden manejarse (Arcila, 2007). Por consiguiente, al usar cultivares mejorados (factor genético), en condiciones ideales de suelo y clima (factor ambiente), aplicando prácticas agrícolas pertinentes oportunamente (buen manejo agronómico), se puede optimizar el aprovechamiento de la energía luminosa, del carbono atmosférico, del agua y los nutrientes y obtener niveles de máxima producción (Arcila, 2007).



En las circunstancias actuales se torna prioritario incrementar la producción nacional de café, para lograrlo se debe mejorar la productividad usando genotipos superiores, aprovechando la aptitud agroecológica de muchos territorios y aplicando las buenas prácticas agrícolas.

En el proceso de selección de genotipos superiores de café robusta hay que fundamentarse en la información de los parámetros genéticos como estabilidad en multiambientes. Los genotipos de café robusta, clones o híbridos, en distintos ambientes tienen respuestas biológicas diferenciadas que se valoran a través del parámetro estabilidad. Las decisiones de selección resultan confiables cuando se pueden predecir los efectos del componente genético y del complejo genotipo x ambiente (Allard, 1975). Los genotipos de café robusta probados en distintos ambientes tienen respuestas biológicas diferenciadas, en función de los genes, que se pueden valorar a través del parámetro genético “estabilidad”, midiéndolo a través de la varianza fenotípica (VF) y de sus componentes genético y ambiental. En un proceso de selección de cultivares se requiere identificar y minimizar la interacción genotipo x ambiente (IGA) para poder realizar una efectiva selección (López y col., 2017).

En los experimentos multilocales y multianuales se evalúa el comportamiento de los genotipos, generando bases de datos frecuentemente incompletas, que pueden ocasionar sesgo en las estimaciones de los componentes de la varianza, situación que depende de la proporción de valores faltantes y mecanismos de reemplazo (Aguate, 2018). Para realizar selecciones de genotipos con mayor confiabilidad, se han aplicado modelos estadísticos, como los de Finlay y Wilkinson (1963), Eberhart y Russell (1966), Lin y Binns (1988), el de Zobel y col. (1988) basado en los efectos aditivos principales e interacción multiplicativa (AMMI: siglas en inglés) y el propuesto por Benítez y col. (1988), fundamentado en la relación entre el promedio y la varianza de la característica de interés.

Los modelos estadísticos se han probado en varios cultivos y en distintos países. En Venezuela, González y col. (2007), probaron en algodón y concluyeron que no hubo coincidencias en la estimación de estabilidad, entre los modelos de Eberhart y Russell y AMMI. En Argentina, en cebadilla, los modelos Eberhart y Russell y Lin y Binns coincidieron en la identificación de genotipos estables (Abbott y Pistorale, 2011). En Centroamérica, evaluando híbridos de maíz, los modelos de Eberhart y Russell y AMMI solo coincidieron en 40% (Córdova, 1991). En México, en sorgo, según Williams y col. (2010), el modelo AMMI resultó más efectivo que el de Finlay y Wilkinson. En Brasil, en la estimación de la estabilidad en café Conilón, hubo buena concordancia entre los modelos de Lin y Binns y Eberhart y Russel, según indicó Ferrão (2004). En

el litoral ecuatoriano, en genotipos de maíz, Caicedo y col. (2017), reportan que el modelo AMMI resultó útil para identificar híbridos productivos con buena estabilidad.

En circunstancias de que el sector cafetalero ecuatoriano requiere recuperar los niveles de producción, principalmente de café robusta, donde hay carencia de cultivares de alta productividad y estabilidad, se consideró prioritaria la valoración de modelos estadísticos que posibiliten estimar en forma efectiva la estabilidad del rendimiento, relacionándolo con la descripción de los caracteres morfológicos y atributos organolépticos, para configurar un procedimiento seguro en la selección de clones de café robusta.

## II. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Valorar modelos estadísticos de análisis de estabilidad genética de la producción en la selección de clones de café robusta en diversos ambientes y su relación con las características morfológicas y organolépticas, en la perspectiva de contribuir a la reactivación de la caficultura ecuatoriana.

### 2.2. Objetivos específicos

- Evaluar modelos de análisis de la estabilidad genética para la selección segura de clones de café robusta de alta productividad.
- Caracterizar la morfología de 22 genotipos de café robusta en distintos ambientes.
- Identificar el potencial organoléptico de los clones de robusta beneficiados por vía seca.

### 2.3. Hipótesis

La hipótesis de investigación se formuló en los siguientes términos: Los modelos de análisis de estimación de la estabilidad genética del rendimiento y el análisis descriptivo de los caracteres morfológicos y organolépticos posibilitan la selección confiable de clones de café robusta.

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Episteme

La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos que se aplican al estudio de un fenómeno (Hernández y col., 2010). La investigación científica se organiza en seis niveles investigativos: exploratorio, descriptivo, relacional, explicativo predictivo y aplicativo (Cazau, 2006). La ciencia, según Rojas (2002), “es un conocimiento racional, sistemático y verificable que tiene como propósito la comprensión y control de los fenómenos”, es racional porque predomina la razón para explicar los fenómenos; es sistemática porque tiene fundamentación teórica, orden y coherencia; y, es verificable porque al repetirse se pueden obtener resultados similares.

A lo largo de la historia de la ciencia, han surgido distintas corrientes de pensamiento como el empirismo, el materialismo dialéctico, el positivismo, la fenomenología y el estructuralismo (Hernández y col., 2010). Igualmente, se cuenta con marcos interpretativos, tales como la etnografía y el constructivismo.

La investigación científica puede tener enfoques cuantitativo o cualitativo (Hidalgo, 2019). Estas investigaciones, se sustentan en los métodos estadísticos de análisis descriptivos e inferenciales. Los métodos descriptivos permiten valorar la tendencia y estructura de los datos cuantitativos (continuos y discretos) o cualitativos (nominales y ordinales). Hernández y col., (2010), enfatizan en los métodos mixtos que representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias de toda la información recabada y lograr una mayor comprensión de los fenómenos en estudio.

Por otra parte, los métodos inferenciales tienen el propósito de extrapolar un resultado, obtenido en una muestra, hacia una población en estudio (Hidalgo, 2019). La estadística inferencial, según Siegel (1990), se ocupa de la estimación de parámetros y de las pruebas de hipótesis. Al respecto, Badii y col. (2007) indican que no existe investigación, proceso o trabajo encaminado a obtener información cuantitativa, en la que no haya aplicación de la estadística.

Una investigación cuantitativa se enfoca en el pensamiento positivista, que Hernández y col. (2010) lo considera el origen del desarrollo formal del método científico: los resultados encontrados en un grupo se

generalizan a una colectividad mayor. En reacción al positivismo surgió la fenomenología, una corriente filosófica que fundamenta la investigación cualitativa, donde se plantea conocer la realidad a través de la abstracción teórica y el análisis de las cualidades de la experiencia para entender la esencia del fenómeno observado (Hidalgo, 2019).

### 3.2. Café robusta

En el género *Coffea* se han identificado 104 especies, originarias del continente africano y de la región de Madagascar (Missouri Botanical Garden, 2010), todas diploides ( $2n=22$ ) excepto *C. arabica* que es tetraploide ( $4n=44$ ). El café robusta es una especie de café alógama y auto incompatible originaria de las regiones bajas del continente africano (Santana y col., 2020). En el café robusta se distinguen tres grupos: Congolensis, Conilón y Guinensis. El robusta tipo Congolensis prevalece en el Ecuador, fue introducido en 1951, constatándose en la actualidad una alta diversidad entre y dentro de los clones (Loor y col., 2017). En América no se ha reportado café del grupo Guinensis.

La alogamia y la recombinación intensa, sin control de parentales, generan una alta heterogeneidad fenotípica que es la expresión del acervo genético, conjunto de genotipos o “pool genético” (CIBIOGEM, 2018). Esta es la característica biológica del café robusta en Ecuador, donde la diversidad genética a causa de la recombinación sin control de los parentales ha generado alta variabilidad fenotípica. En la actualidad, los cafetales de robusta, en la costa y Amazonía, presentan una alta variabilidad fenotípica, que es la expresión de la variación genotípica (Plaza y col., 2015).

En el Ecuador se han realizado selecciones de clones de café robusta, en diferentes momentos y regiones, según reportan: Chiguano y Játiva (1998), Plaza y col. (2015), Duicela y col. (2016); Arzube y col. (2017). Varios de los clones seleccionados se han reportado a la institución oficial de regulación y control de material vegetal, que en Ecuador es la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD, 2013). En la actualidad, hay varios proyectos de selección de clones en ejecución, en las zonas tropicales secas y húmedas de la Amazonía y del litoral.

### 3.3. Parámetros genéticos

El mejoramiento genético vegetal integra las ciencias biológicas y la estadística, procurando acelerar los procesos que ocurren en la “selección natural” para obtener genotipos de óptimo desempeño productivo en entornos cambiantes (CIBIOGEM, 2018).

En la mejora genética vegetal, se enfatizan tres conceptos básicos: fenotipo, genotipo y ambiente. El fenotipo, según Tiessen (2009) y Cubero (2013), es el conjunto de caracteres que se manifiestan visiblemente a nivel del individuo o población, pudiendo medirse y cuantificarse. El término genotipo se refiere a cualquier entidad genética con cierto grado de repetibilidad: clones, variedades, híbridos, familias, razas o accesiones (Mesén, 1994). El genotipo es la suma de los genes y combinación de alelos que tiene un individuo o un cultivar. En términos moleculares, genotipo es la información genética codificada en el ADN que está en el núcleo, plástidos y mitocondrias. A nivel de especie se trata del genoma, que incluye todos los genes y su potencial de expresión llamado “pool genético” y a nivel de individuos se trata de la combinación de alelos determinantes de los distintos caracteres morfológicos, fisiológicos y químicos (Tiessen, 2009).

El ambiente se refiere a los factores abióticos y bióticos que se interrelacionan con las plantas cultivadas, influyendo sobre el fenotipo y muchas veces controlando la expresión de genes o proteínas (Tiessen, 2009; Cubero, 2013). En los programas de mejoramiento genético es importante definir cuáles son los genotipos sobresalientes en cuanto a su rendimiento y estabilidad en multiambientes para recomendar su uso de manera comercial (López y col., 2017). Adicionalmente, los referidos autores señalan que los análisis de interacción genotipo x ambiente (IGA), usando modelos como AMMI permiten identificar ambientes más aptos. Lozano y col. (2015), indican que los programas de fitomejoramiento enfocados a la obtención de genotipos con mayor rendimiento y estables, en una amplia gama de condiciones ambientales, enfrentan factores que enmascaran el potencial de los genotipos. Esto significa que la interacción genotipo x ambiente (IGA), puede generar imprecisión en la predicción.

En la caficultura, la variable de mayor interés comercial es el rendimiento, un factor determinante de la producción nacional. La producción de café en grano por planta se puede extrapolar a una hectárea o a mayores superficies, considerando la humedad del grano (10-13%) y la densidad poblacional real (Duicela, 2017). La estabilidad de un genotipo es la constancia en el comportamiento de la variable fenotípica de interés, como lo es el rendimiento, a través de los distintos ambientes (Navas, 2019). Un genotipo con poca estabilidad puede ser superior en un ambiente específico, donde resulta importante explorarlo para incrementar más el rendimiento en esas zonas favorables e identificar los genotipos adecuados para ambientes desfavorables.

El parámetro estabilidad permite identificar los genotipos con reducida IGA. Esto significa que las variaciones de rendimiento entre localidades o años de cosecha resultan mínimas. Además, este parámetro

apoya al investigador en la toma de decisiones sobre la variedad a recomendar en un ambiente específico (Argote, 1998). Un genotipo con varianza reducida en diferentes ambientes, biológicamente es estable. Un modelo estadístico usado para estimar el parámetro estabilidad debe permitir la identificación de variedades con reducida IGA (Córdova, 1991; Argote, 1998; Navas, 2019). El énfasis se ha dado a variables como rendimiento, Cheng y col. (2016) y al alto impacto de la IGA sobre la calidad de los cafés que se expresan en el tamaño, coloración, calidad sensorial y la composición química de los granos.

La única manera de detectar la IGA es a través de ensayos multilocales, que deben ser representativos de los ambientes donde se va a usar el material seleccionado (Mesén, 1994). La IGA interfiere en la validez de la recomendación del cultivar por la inconsistencia de su desempeño productivo (Acevedo y col., 2020). Una falta de IGA, sin embargo, puede significar una falta de diversidad genética, situación que puede ser desastrosa si está asociada a vulnerabilidad genética de un cultivo a plagas u otros factores; aunque también puede significar cierta uniformidad de los ambientes donde se prueban los genotipos (Mesén, 1994).

La IGA ha sido motivo de preocupación de los fitomejoradores, que han utilizado diversos procedimientos para caracterizar el comportamiento de las variedades en condiciones ambientales variables. Las pruebas de rendimiento de genotipos en una serie de localidades brindan información sobre la IGA pero no proporcionan mediciones de la estabilidad genética (Tiessen, 2009; Navas, 2019). En la selección de clones de café robusta, una especie alógama de alta heterogeneidad fenotípica, el análisis de la estabilidad, adquiere relevante importancia, pues evidenciaría los cambios en la magnitud de las respuestas relativas de los genotipos, en función de los ambientes y años (Córdova, 1991).

Un parámetro relacionado con la estabilidad se denomina sensibilidad que se refiere al comportamiento de un genotipo, en sus diferentes expresiones fenotípicas, en distintos ambientes, sean localidades, años, densidades poblacionales, tipos de suelo u otros factores. Un genotipo es más o menos estable de acuerdo con su propiedad de ser más o menos sensible (González y col., 2007). Un genotipo estable es poco sensible a los cambios del entorno, por lo tanto, tendría mayor adaptabilidad que se refiere al comportamiento de un genotipo en un ambiente específico (Navas, 2019).

### 3.4. Análisis estadístico descriptivo

El análisis estadístico descriptivo puede ser univariado, bivariado o multivariado. El primer caso es la forma más simple y describe la distribución de una única característica de los individuos, involucra el análisis de frecuencias, el cálculo de medidas de tendencia central (media, mediana y moda) y de dispersión (rango, desviación estándar o varianza). El análisis bivalente y multivalente es el marco analítico donde se interpreta las relaciones entre dos o más variables, más allá de la consideración de que sean dependientes e independientes (Meneses, 2019).

Por otra parte, la estadística descriptiva se ocupa de recoger, ordenar y clasificar los datos de interés, de su obtención y análisis en una o varias muestras de una población en estudio (Badii y col., 2007). La estadística descriptiva contiene tres tipos de medidas: de tendencia central, de dispersión y de forma, según Spiegel (2000). Las medidas de tendencia central son: media ( $\bar{Y}$ ), mediana ( $Md$ ) y moda ( $Mo$ ). Las medidas de dispersión son: varianza ( $S^2$ ), desviación estándar ( $S$ ), error estándar o típico ( $EE = S_{\bar{y}}$ ), coeficiente de variación ( $CV\%$ ), variación relativa ( $VR\%$ ), rango ( $Rn$ ) e intervalo de confianza de  $\mu$  ( $95\%$ ). Las medidas de forma son: Coeficiente de asimetría de Fisher ( $A$ ) y Curtosis ( $K$ ).

### 3.5. Asociación estadística de variables

El análisis relacional puede ser bivariado o multivariado, donde se destacan el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación.

#### 3.5.1 Coeficiente de correlación $r$ de Pearson

Mide el grado de asociación lineal entre dos variables que puede situarse entre  $-1$  y  $+1$ . Para usar  $r$ , en las pruebas de hipótesis, es indispensable que al menos una de las dos variables tenga distribución normal (Dagnino, 2014). El coeficiente de correlación de Pearson  $r$  permite valorar la IGA, relacionando dos o más ambientes, donde los valores altos y significativos de  $r$  permitirían deducir que son ambientes similares (Acevedo y col., 2020).

El coeficiente de correlación lineal  $r$  de Pearson, también llamado Momento - producto, se calcula con la fórmula siguiente:

$$r = \frac{cov_{xy}}{\sqrt{(S^2X)(S^2Y)}} \qquad r = \frac{cov_{xy}}{(S_X)(S_Y)}$$



Donde:

$r$  = Coeficiente de correlación calculado

$Cov_{xy}$  = Covarianza de las variables analizadas

$S^2X, S^2Y$  = Varianzas de las variables en estudio (Nótese que puede ser:  $X_1$  y  $X_2$ ).

La significación estadística del coeficiente de correlación  $r$  puede establecerse mediante dos métodos paramétricos: El valor  $r$  calculado puede contrastarse con un valor crítico obtenido en tabla  $r$  de Pearson, con un nivel de significación predefinido ( $\alpha=0,05, \alpha=0,1$ ) y grados de libertad =  $n-2$ . La otra opción es usar la prueba  $t$  para determinar la significación estadística. En este caso,  $t$  calculada se obtiene con la siguiente fórmula:

$$t_{\text{calculada}} = \frac{r\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r^2)}}$$

La significancia estadística se determina en base a las hipótesis estadísticas siguientes:

Hipótesis nula,  $H_0: r = 0$  (No hay correlación)

Hipótesis alterna,  $H_1: r \neq 0$  (Hay correlación estadística significativa)

Cuando los datos no tienen una distribución normal, se han obtenido usando escalas ordinales o el tamaño de la muestra es tan pequeño como  $n=6$ , se propone que debe usarse la alternativa no paramétrica, el coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho, \rho$ ) (Siegel, 1990; Spiegel, 2000; Dagnino, 2014).

### 3.5.2 Coeficiente de correlación por rangos de Spearman

Es una técnica no paramétrica que se basa en la asignación de rangos (ranking) a los datos de las variables que van a ser estudiadas para determinar si están o no correlacionadas. Los argumentos de significación, hipótesis estadísticas y regla de decisión son equivalentes con el análisis de correlación de Pearson. Existe una tabla de valores críticos para los coeficientes de correlación de Spearman, donde se considera el nivel de significación  $\alpha$  y el número de observaciones emparejadas (Siegel, 1990).

El coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho, r_s$ ) varía desde  $-1$  hasta  $+1$  y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n^3 - n}$$

Donde:

$r_s$  = Estadístico de Spearman (algunos autores usan la notación rho)

$\sum d_i^2$  = Sumatoria de las diferencias de rangos al cuadrado

$n$  = Número de pares de datos

### 3.5.3 Coeficiente de determinación

Este estadístico mide la intensidad de la variación entre dos series de datos cuantitativos y se calcula como el cuadrado del coeficiente de correlación  $r$ , que normalmente se expresa en por ciento. El coeficiente de determinación se calcula como el valor cuadrado de  $r$  de Pearson o  $r_s$  (rho) se Spearman.

Por lo tanto:

$r^2$  (100) Coeficiente de determinación paramétrico (CD)

$(r_s)^2$  (100): Coeficiente de determinación no paramétrico (CD)

En la función  $Y = f(X)$ , donde la variable  $Y$  se define como dependiente (por ejemplo: producción de la progenie) y  $X$  como independiente (por ejemplo: producción de los progenitores), el coeficiente de determinación  $R^2$  se convierte en un método para calcular la heredabilidad ( $H^2$ ), aunque también se puede calcular directamente a partir del análisis de la varianza (ANDEVA) (Mesén, 1994). La heredabilidad se define como un parámetro poblacional que mide las diferencias fenotípicas explicables por las diferencias genéticas. Por lo tanto:

Coeficiente de determinación  $CD = H^2$  (100) = Heredabilidad.

A partir del ANDEVA, se calcula usando la siguiente fórmula:

$$H^2 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_F^2} \qquad H^2 = \frac{\text{Varianza genética}}{\text{Varianza fenotípica}}$$

### 3.6. Análisis de varianza

Los experimentos agrícolas tienen el propósito de probar hipótesis referidas a los factores en estudio, como: clones, localidades y años. Se probaron 22 clones de café robusta en cinco localidades, en períodos de dos a cuatro años de cosecha, los clones se establecieron en tres repeticiones, cada una conformada por diez cafetos. Según Corral (2019), para probar una hipótesis en forma apropiada se requiere de procedimientos experimentales como el análisis de varianza (ANDEVA) con niveles de significación estadística predefinidos (generalmente:  $\alpha=0,05$  y  $\alpha=0,01$ ) y las pruebas de separación de medias.

La hipótesis de nulidad ( $H_0$ ) se planteó como: Los clones de café robusta, no tienen diferencias estadísticamente significativas en rendimiento, expresado en café oro, en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , mientras que la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) se formuló de la siguiente manera: al menos existe un clon estadísticamente diferente en rendimiento.

### 3.6.1. Análisis de varianza paramétrico

El ANDEVA paramétrico se apoya en la prueba F para la toma de decisiones estadísticas y es la manera más común de analizar ensayos de genotipos, mediante la cual se desagrega la varianza total en las contribuciones parciales de cada fuente de variación y permite determinar si existen diferencias significativas entre las medias (Mesén, 1994). El ANDEVA paramétrico es un análisis causa-efecto útil en los análisis de datos cuantitativos, en distintos diseños experimentales, que debe cumplir ciertos supuestos para que las decisiones sean confiables: grados de libertad del error experimental  $>12$ , distribución normal de la población y homocedasticidad de las series de datos a compararse. En el caso de incumplir los supuestos hay una alta probabilidad de cometer error tipo I, que corresponde a un “falso positivo” (Manterola y Pineda, 2008), rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera.

En un experimento se prueban factores en distintos niveles y se miden las respuestas expresadas en los datos de las variables (Navarro y Vargas, 2015). En un experimento de bloques al azar, por circunstancias externas pueden desbalancearse, habiendo pérdida de datos de una o varias parcelas, sean repeticiones o tratamientos. El análisis estadístico como un diseño de bloques incompletos o diseño irrestricto, haciendo los ajustes en el número de grados de libertad del error, resulta más adecuado que forzar un análisis de bloques con datos de “parcelas perdidas”. Por lo expuesto, se enfatiza en el uso de diseños irrestrictos cuando el factor causante del “ruido” sea conocido y no controlable pero cuantificable en las unidades experimentales, donde la solución consiste en la aleatorización (Navarro y Vargas, 2015). Aguete (2018), señala que no basta con tener suficiente información para generar estimaciones insesgadas que permitan entender los patrones de interacción genotipo x ambiente, también es necesario proponer técnicas de análisis adecuadas. Si en el ANDEVA se detecta diferencias significativas entre tratamientos (por ejemplo: entre clones), el siguiente paso es usar pruebas para separar las medias como: comparaciones ortogonales, Duncan, Tukey u otras y para determinar si existen o no diferencias estadísticamente significativas (Mesén, 1994). En los casos de que no se cumplan los supuestos, para que el análisis paramétrico sea confiable, se debe usar los métodos no paramétricos (Siegel, 1990; Corral, 2019).

Las pruebas de normalidad y homocedasticidad, se tornan en una condición esencial para proceder con los análisis paramétricos (Manterola y Pineda, 2008). Cabe destacar que una población con distribución normal tiene una forma de campana, que varía de  $-\infty$  a  $+\infty$ ; es simétrica, por tanto, el 50% de datos se ubica a la derecha de la media  $\mu$  y el otro 50% en el lado izquierdo; los estadísticos media, mediana y moda tienden a coincidir en el mismo punto; alrededor de  $\mu$ , se ubica la mayor proporción de datos ( $\mu \pm \sigma = 68,3\%$ ). El sesgo se mide con el coeficiente de asimetría (A): Si hay sesgo a la derecha,  $A > +0,50$  o si hay a la izquierda,  $A < -0,50$ . La posición relativa de la curva en la abscisa lo determina la media ( $\mu$ ), el apuntamiento y ancho dependen de la desviación estándar ( $\sigma$ ), que se describe a través de la Curtosis (K) (Barrantes, 2019).

Las fórmulas para calcular los coeficientes Asimetría (A) y Curtosis (K) son:

$$A = \frac{\frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})^3}{\left[ \frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})^2 \right]^{3/2}} \quad K = \frac{\frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})^4}{\left[ \frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})^2 \right]^2}$$

Para probar la normalidad se sugiere usó fórmula de Jarque y Bera (1987), que se indica:

$$JB = n \left[ \frac{A^2}{6} + \frac{(K)^2}{24} \right] \longrightarrow JB = \frac{n}{6} \left[ A^2 + \frac{1}{4}(K)^2 \right]$$

Dónde:

JB= Estadístico de normalidad (sin ajuste por exceso de curtosis, en muestras grandes se corrige con K-3)

n = Número de observaciones

A = Coeficiente de asimetría

K = Coeficiente de curtosis

La significación estadística se puede determinar de dos formas: 1) contrastando el estadístico JB con el valor crítico ji-cuadrado ( $\chi^2$ ) obtenido en una tabla específica, con un nivel de significación  $\alpha$  y grados de libertad (en este caso:  $\alpha=0,05$  y GL=1); 2) calcular el valor p de  $\chi^2$  en Excel, usando la función: =DISTR.CHI (JB;1).

Las hipótesis estadísticas para probar la normalidad son:

H0: La distribución es normal

H1: La distribución es no normal

La regla de decisión es la siguiente:

Si  $JB \geq \chi^2_{0,05}$ : Se rechaza H0, la distribución es no normal,  $p < 0,05$

Si  $JB < \chi^2_{0,05}$ : Se acepta H0, la distribución normal,  $p \geq 0,05$

Para probar la homogeneidad de las varianzas (homocedasticidad) entre pares de genotipos, se usa la prueba F, cuya fórmula de cálculo es la siguiente:

$$F_{calculada} = \frac{\text{Varianza mayor}}{\text{Varianza menor}}$$

Las fórmulas más usadas para calcular la varianza en muestras ( $S^2$ ), en observaciones individuales y en datos agrupados, en su orden, son las siguientes:

$$S_X^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}{n - 1} \quad S_X^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Los valores críticos F se obtienen en una tabla específica, considerando nivel de significación  $\alpha$  y grados de libertad (GL). Se calcula usando Excel, con la función: =DISTR.F.INV ( $\alpha$ ; grados de libertad del numerador; grados de libertad del denominador). Para la prueba de hipótesis se usó:  $\alpha = 0,05$  y grados de libertad  $n - 1$  (GL=  $n - 1 = 5$ ).

Las hipótesis estadísticas para probar la homocedasticidad son:

H0: Las varianzas son homogéneas u homocedásticas

H1: Las varianzas son heterogéneas o heterocedásticas

La regla de decisión es la siguiente:

Si  $F_{calculada} \geq F_{0,05}$ : Se rechaza H0, las varianzas son heterogéneas,  $p < 0,05$

Si  $F_{calculada} < F_{0,05}$ : Se acepta H0, las varianzas son homogéneas,  $p \geq 0,05$

### 3.6.2. Análisis de varianza no paramétrico

Los análisis de varianza no paramétricos de uso frecuente son: análisis por rangos de Friedman y el análisis por rangos de Kruskal y Wallis (Spiegel, 2000). El primero equivale a un diseño en bloques al azar (BA), con tratamientos y repeticiones balanceadas, mientras que el segundo equivale a un diseño totalmente al azar (DCA), por tanto, pueden estar desbalanceados.

Las condiciones para usar los análisis paramétricos como el ANDEVA, según Siegel (1990) y Corral (2019), son las siguientes:

- No se cumplen los supuestos para el análisis de varianza paramétrico
- Los datos provienen de mediciones en escala ordinal o conteos
- Los grados de libertad del error en el diseño paramétrico son reducidos (GL < 12)
- El número de observaciones es reducido

Hay programas estadísticos que posibilitan calcular las “parcelas perdidas” pero no es recomendable experimentos en cultivos perennes, de largo plazo o cuando el número de tratamientos es elevado, donde se constata un desbalance de los tratamientos dentro de los bloques al azar (Lagos y Criollo, 2001).

Los programas computacionales: SPSS (IBM, 2013) e INFOSTAT (UNC, 2018) facilitan realizar los análisis estadísticos paramétricos y no paramétricos, destacándose el análisis de varianza de Kruskal y Wallis como una alternativa para el análisis estadístico. El estadístico de Kruskal y Wallis (H) se contrasta con el estadístico ji-cuadrada (valores críticos) con un nivel de significación  $\alpha$  y grados de libertad  $GL = t - 1$ .

1. La fórmula de cálculo del estadístico H es la siguiente:

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

La separación de medias se realiza contrastando el comparador estadístico ( $C_{KW}$ ) que conlleva la probabilidad asociada a Z con un nivel de significación específico, como  $\alpha=0,05$ , para una serie de datos n. La fórmula para calcular el comparador estadístico ( $C_{kw}$ ), separador de las medias, es la siguiente:

$$C_{KW} = Z_{\alpha} \sqrt{\frac{n(n+1)}{12} \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}$$

### 3.7. Métodos de análisis de estabilidad genética

Los fitomejoradores han desarrollado diversas técnicas estadísticas para estimar la estabilidad, que se inició con la interpretación de los análisis de varianza genotipos x localidades x años. Si se cumplen los supuestos que exigen las técnicas paramétricas, ciertamente, se tomarían decisiones seguras.

Los investigadores han propuesto varios modelos para el cálculo de la estimación de la estabilidad, fundamentados en la evidencia de la IGA, que en la mejora genética se trata de identificarla y minimizarla. Entre los modelos de estimación de la estabilidad genética se destacan los siguientes: Finlay y Wilkinson, Eberhart y Russell, Lin y Binns, AMMI y el método alternativo de Benítez y col. (1988). A este último método, se propone una modificación, identificándolo como PROMVAR que se basa en la relación entre el promedio y la variabilidad relativa, de la característica de interés económico.

#### 3.7.1. Método de Finlay y Wilkinson

Finlay y Wilkinson desarrollaron un método para evaluar la estabilidad del rendimiento en función de la pendiente de la regresión (b) y seleccionar en función del rendimiento promedio de todos los genotipos en

un entorno específico (Kumagai y col., 2016). Según Finlay y Wilkinson (1963), la capacidad de algunas variedades de adaptarse, en una amplia gama de condiciones ambientales, ha sido apreciada por agrónomos y fitomejoradores. Señalan, estos investigadores, que la dinámica de la adaptación varietal a ambientes naturales proporciona una base para formular conceptos biológicos. El modelo, según González y col. (2007), es un análisis univariado que utiliza las medias aritméticas del genotipo en distintos ambientes y el coeficiente de regresión de todos los genotipos en el conjunto de ambientes. En la aplicación del modelo de Finlay y Wilkinson, como variable independiente se considera las medias de todos los clones en los ambientes  $j$  (expresan el comportamiento medio de todos los genotipos) y como variable dependiente se considera los valores individuales de los clones  $i$ . Los genotipos con coeficientes de regresión:  $b > 1,0$  tienen reducida estabilidad (Kumagai y col., 2016).

El modelo lineal, según Bandera y Pérez (2018) y Corral (2019) se expresa como:

$$Y = a + b(X)$$

Donde:

Y= Valor de la variable cuantitativa (p.e.: Rendimiento)

A= Valor del intercepto, es decir valor de Y cuando X=0

b = Valor de la pendiente o coeficiente de regresión

X= Valor asociado de la variable independiente

Según Bandera y Pérez (2018), con frecuencia, los datos experimentales no satisfacen las premisas de los modelos lineales generales y las transformaciones recomendadas tienen poca efectividad, por lo que se debe recurrir a otras técnicas como el uso de modelos lineales generalizados mixtos, para tratar ensayos multilocales.

### 3.7.2. Método de Eberhart y Russell

Este método se basa en los coeficientes de regresión lineal  $b_{1i}$  (de cada variedad sobre un índice ambiental) y una función de las desviaciones al cuadrado  $S_{di}^2$ , que proporcionan las estimaciones de los parámetros de estabilidad (Eberhart y Russell, 1966). Las desviaciones de la regresión constituyen un indicativo del grado de confiabilidad de la respuesta lineal estimada, que caracteriza lo predecible que es un genotipo (Jiménez, 2006). Según Eberhart y Russell (1966), las poblaciones heterocigotas y heterogéneas ofrecen la mejor oportunidad para producir variedades con reducida IGA.

La estratificación de ambientes ha sido utilizada para reducir la IGA, esto significa que las variedades se pueden agrupar según su comportamiento a nivel de macro ambientes o también denominados “dominios de recomendación”, que se basan en cierta uniformidad en variables ambientales como: temperatura, precipitación, acidez de los suelos u otros factores. Una evaluación realista de los cultivares debe caracterizarse por valorar los efectos de los factores adversos y condiciones de estrés que originan la variación en las respuestas agroproductivas (Córdova, 1991). El modelo de Eberhart y Russell se basa en la propuesta de Finlay y Wilkinson, con una modificación en el uso de las medias aritméticas de los genotipos en los distintos ambientes, los coeficientes de regresión y la desviación de la regresión.

Los análisis permiten determinar tres clases de genotipos: los estables, los especialistas y los erráticos (Mesén, 1994). Los genotipos estables presentan un coeficiente de regresión cercano a la unidad ( $b=1$ ) y la varianza de sus desviaciones tiende a cero:  $S_d^2 \approx 0$ . En este caso, el comportamiento de un genotipo con respecto de los demás se mantiene aproximadamente constante al cambiar de ambiente, por ejemplo: la última posición en todas las localidades. Los genotipos especialistas tienen coeficiente de regresión  $b>1$  ó  $b<1$ , aunque las varianzas de las desviaciones sean pequeñas. Esto significa que existen genotipos que se comportan muy bien en ambientes buenos comparados con los otros ( $b>1$ ) o viceversa. Los genotipos erráticos tienen valores altos para la varianza de las desviaciones de la regresión y en este caso no resulta importante el coeficiente  $b$  (Mesén, 1994).

Eberhart y Russell (1966) indican que el modelo para calcular el parámetro de estabilidad es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu_i + b_i I_j + d_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Media del  $i$ -ésimo clon en el  $j$ -ésimo ambiente ( $i$  = clones 1, 2, ...;  $j$  = localidades 1, 2, ...)

$\mu_i$  = Media del  $i$ -ésimo clon a través de todos los ambientes

$b_i$  = Coeficiente de regresión que mide la respuesta del clon  $i$  en varios ambientes

$I_j$  = Índice ambiental de la localidad  $j$ , que se calcula como la desviación del promedio de los genotipos en un ambiente dado, a partir del promedio general.

$$I_j = \frac{\sum Y_{ij}}{g} - \bar{Y}$$

Las desviaciones al cuadrado de la regresión se realizan considerando como variable independiente el promedio de los clones en todas las localidades y variable dependiente los promedios del clon  $i$ . El análisis de regresión lineal permite obtener el coeficiente  $b$  para cada clon  $i$ . Con los valores del intercepto  $a$  y del



coeficiente b se realiza la predicción. El residuo se calcula como la diferencia de los valores observados y predichos de cada clon i. La varianza de los valores residuales (diferencias) constituye el parámetro  $S_{di}^2$ . Al respecto, Vargas y col. (2016) indican que se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$S^2d_i = \frac{d_i}{L - 2} - \frac{CMError}{r}$$

La regla de decisión para interpretar los parámetros empíricos:  $b_{1i}$  y  $S_{di}^2$ , de cada genotipo en distintos ambientes, se describe en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Regla de decisiones para interpretar los resultados del modelo Eberhart y Russell

Parámetro	Si la variable es del tipo: mayor es mejor ( $Y_i > \text{testigo}$ o $Y_i > \bar{Y}$ )
$b_{1i} \approx 1,0$	Adaptabilidad media o general
$b_{1i} > 1,0$	Adaptabilidad a ambientes favorables
$b_{1i} < 1,0$	Adaptabilidad a ambientes desfavorables
$b_{1i} \approx 0,0$	Genotipo ideal
$S_{di}^2 \approx 0,0$	Buena estabilidad
$S_{di}^2 > 0,0$	Mala estabilidad

Fuente: Jiménez (2006)

### 3.7.3. Método de Lin y Binns

El método de Lin y Binns es una técnica no paramétrica que se basa en el cálculo de una medida de superioridad general del cultivar para los datos de distintos ambientes. Se define como el cuadrado medio de la distancia entre la respuesta del cultivar y la respuesta máxima promediada en todos los ambientes (Lin y Binns, 1988; De Francheschi y col., 2010; Silva y col., 2014). El método requiere que todos los cultivares de prueba estén equilibrados en las localidades, aunque no necesariamente los testigos (Lin y Binns, 1988). La fórmula para calcular el índice de superioridad, propuesta por los autores anteriormente nombrados, es la siguiente:

$$P_i = \frac{\sum(G_{ij} - \text{Máx}_j)^2}{2n}$$

Donde:

$P_i$  = índice de superioridad de un genotipo i en todos los ambientes j

$G_{ij}$  = Promedio del genotipo i en todos los ambientes j

Máx. j = El valor máximo logrado en los genotipos

n = Número de observaciones (localidades) de los que provienen las medias

Los referidos autores indican que si la IGA es significativa, en el análisis de la varianza, se debe usar métodos de agrupamiento basados en los índices de similitud entre pares de genotipos, como la distancia euclidiana o inclusive el coeficiente de correlación  $r$  de Pearson. Según Lin y col. (1986), la razón básica que dificulta la estimación del parámetro de estabilidad por los métodos de regresión propuestos por Finlay y Wilkinson y por Eberhart y Russell es la respuesta multivariante del genotipo a los distintos ambientes y el análisis estadístico le da el tratamiento como a una respuesta univariada.

La mayor estabilidad en el componente genético se denota cuando el índice de superioridad  $P_i$  de un genotipo es reducido, lo más cercano a cero (De Franceschi y col., 2010). Por otra parte, Lin y col. (1986) también sugieren el uso del coeficiente de determinación  $R^2$  como medida de estabilidad, siendo mejor el valor más cercano a la unidad.

### 3.7.4 Método “efectos principales aditivos e interacción multiplicativa” (AMMI)

El modelo se basa en el análisis de los “efectos principales aditivos e interacción multiplicativa” (AMMI: siglas en inglés). Los ensayos de rendimiento de cultivos proporcionan información para recomendaciones agronómicas y selecciones de cultivares, pero su valor a menudo está limitado por la inexactitud y otros problemas, donde el modelo AMMI ha ayudado a obtener estimaciones de rendimiento precisas y selecciones confiables, ayudando a comprender conjuntos de datos complejos (Sa’diyaha y Futuhul-Hadib, 2016). El modelo AMMI combina componentes aditivos para los efectos principales (ANDEVA) y componentes multiplicativos para la interacción genotipo  $\times$  ambiente (IGA) mediante el análisis de componentes principales (ACP). El ACP, en este modelo, se usa para describir las componentes multiplicativas e identificar los principales componentes de la interacción (Córdova, 1991; Jiménez, 2006). El análisis AMMI considera los efectos principales y de interacción como fijos. A veces, esta característica no es adecuada para analizar datos de campo (Sa’diyaha y Futuhul-Hadib, 2016).

El Análisis de Componentes Principales (ACP) fue iniciado por Pearson en 1901 y desarrollado por Hotelling en 1933, para describir una población o componentes principales a varias poblaciones (Cuadras, 2014). Los datos originales se transforman para uniformizar en una nueva escala. En un primer momento se puede incluir muchas variables que se reducen mediante técnicas del análisis factorial. Con el nuevo grupo de variables se realiza la ACP definitiva. El ACP se aplica partiendo de la matriz de covarianzas, sin embargo, si las variables fueran de distinta naturaleza se recomienda realizar el ACP sobre la matriz de correlaciones  $r$  (Cuadras, 2014). Primero se aplica un ACP a cada matriz centrada de datos, que se

normalizan dividiendo para la raíz cuadrada del primer valor propio, que luego se transforman y se juntan en una sola a la que se aplica un ACP global (Cuadras, 2014). En el caso de clones de café robusta, la primera componente permite ordenar los clones por rendimiento en orden ascendente y la segunda por comportamiento posición, en cada localidad, de esos mismos clones.

La varianza de un genotipo  $S_{Clon i}^2$  en distintos ambientes puede ser una medida de estabilidad; así como, el coeficiente de variación (CV%) de cada genotipo (Lin y col., 1986). La distancia euclidiana, originalmente fue definida como estabilidad genética comparativa, por tanto, un análisis de conglomerados jerárquicos, también proporciona una estimación de este parámetro (Lin y col., 1986). Los clones evaluados se clasificaron según en la distancia euclidiana de cada genotipo de las referencias de comportamiento conocidas (Santana y col., 2020).

El análisis de conglomerados jerárquicos (ACJ) lo recomiendan autores como Balzarini y col. (2010) para analizar e interpretar las relaciones entre distintas variables de manera simultánea, mediante la construcción de modelos estadísticos complejos que permiten distinguir la contribución independiente de cada una de ellas en el sistema de relaciones para describir, explicar o predecir (Meneses, 2019). Hay algunos aspectos que se deben considerar para, de esta manera, tener confiabilidad en el modelo: la medida de distancia, el método de agrupamiento y la validez de la prueba. Para definir la similitud entre genotipos se usó la distancia euclidiana, el método de Ward se usó para el agrupamiento y la correlación cofenética para determinar la validez de la prueba.

- Distancia euclidiana

Las distancias euclídeas entre matrices de datos y el agrupamiento se calculó usando el programa INFOSTAT (UNC, 2018). La distancia euclídea define la similitud o disimilitud entre pares de datos, en este caso: años, localidades y clones. Esta medida se deduce a partir del teorema de Pitágoras, que inicia midiendo la distancia de un punto consigo mismo, esto significa una distancia cero, sin embargo, como los datos tiene un carácter aleatorio las distancias también resultan aleatorias, aunque esta limitación se puede resolver ordenando la serie de datos en forma ascendente o descendente. Muñoz y Romana (2019) detallan el cálculo de la distancia euclídea, usando la siguiente fórmula:

$$D_e = \sqrt{\sum (Y_{1+1} - Y_1)^2 + (Y_{2+1} - Y_2)^2}$$

Donde:

De = Distancia euclídea

Y1 = Magnitud de la variable correspondiente al clon 1 (p.e.: rendimiento en la primera observación) y

$Y_{1+1}$  = Magnitud de la variable del mismo clon 1 pero correspondiente a la siguiente observación.

$Y_2$  = Magnitud de la variable en el clon 2 (p.e.: rendimiento en la primera observación) y  $Y_{2+1}$  = Magnitud de la variable del mismo clon 2 pero correspondiente a la observación de la siguiente posición.

- Método de agrupamiento de Ward

En el análisis de conglomerados, luego de definir el distanciamiento se tiene que agrupar y una técnica muy usada en el método de agrupamiento de Ward conocido como de varianza mínima (Minimum Variance Clustering), con la cual se forman grupos jerárquicos de subconjuntos mutuamente excluyentes, cada uno de los cuales tiene elementos similares con respecto a características específicas. Este procedimiento permite su reducción a  $n - 1$  conjuntos mutuamente excluyentes al considerar la unión de todos los posibles:  $n(n - 1)/2$  pares y seleccionar el valor máximo para la función objetivo (rendimiento: mayor es mejor), repitiendo este proceso, hasta que solo quede un grupo, obteniéndose una estructura jerárquica completa y una estimación cuantitativa de la pérdida asociada con cada etapa de la agrupación (Ward, 1963).

- Correlación cofenética

La correlación cofenética es una medida de proximidad entre el dendograma y la matriz de distancia original, donde se busca que su valor sea lo más alto posible, cercano o igual a 1 (Acevedo y col., 2020). El método se basa en el procedimiento de cálculo del coeficiente de correlación lineal de Pearson:  $(n-1)/2$  pares de distancia. Cuando el coeficiente de correlación cofenética tiene el valor 1 significa que ambas matrices, original y transformada, son proporcionales, cumplen la propiedad métrica, y la clasificación resultaría exacta, mientras que si el valor se aproxima a cero, la clasificación sería inexacta.

### 3.7.5. Método “relación promedios y variabilidad relativa (PROMVAR)

En el objetivo de estimar la estabilidad genética, con aplicación a la selección de cultivares, ha habido distintas propuestas metodológicas varias de las cuales han sido criticadas desde el ámbito estadístico. Benítez y col. (1988) propusieron un método que relaciona los promedios de los rendimientos de los genotipos y sus respectivas varianzas. La interpretación se realiza de manera gráfica en un diagrama de cuatro celdas (medias aritméticas en el eje X y varianzas en el eje Y del plano cartesiano), donde un genotipo  $\bar{G}_i > \bar{Y}$  (rendimiento de un genotipo i es mayor que la media general), se consideran de “Alto rendimiento” y, por otra parte, si  $\bar{G}_i < \bar{Y}$  (rendimiento de un genotipo i es menor que la media general), se considera de “Bajo rendimiento”. En el eje Y, Benites y col. (1988) colocan las varianzas de los genotipos, donde el promedio  $\bar{S}_Y^2$  posibilita discriminar dos grupos: si  $S_{Gi}^2 > \bar{S}_Y^2$  (varianza de un genotipo i es mayor que el promedio de las varianzas), se consideran “genotipos inestables” y si  $S_{Gi}^2 < \bar{S}_Y^2$  (varianza de un genotipo i

es menor que el promedio de las varianzas), se consideran “genotipos estables”.

El uso de la varianza ( $S^2$ ) tiene el inconveniente de que la magnitud puede alcanzar cifras altas en variables cuantitativas continuas, como el rendimiento expresado en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . En estas circunstancias se propone sustituir la varianza (valores absolutos) por la variabilidad relativa (VR%), que representa el porcentaje del error típico de la media. Según Badii y col. (2007), a través de la variabilidad relativa se puede medir la precisión del experimento. La precisión (P%) se calcula como:  $P\% = 100 - \text{VR}$ . Esta propuesta metodológica se basa en la relación entre los promedios de la variable de interés económico y su variabilidad relativa (proporción de error típico), identificada como POMVAR, que se interpreta con el apoyo de diagrama de cuatro celdas, en función de la siguiente regla de decisión:

- Celda inferior derecha: Rendimiento alto y estable
- Celda superior derecha: Rendimiento alto e inestable
- Celda inferior izquierda: Rendimiento bajo y estable
- Celda superior izquierda: Rendimiento bajo e inestable

Como el rendimiento es una variable del tipo “mayor es mejor” se procura identificar genotipos ubicados en la celda inferior derecha: “alto rendimiento” y “estables”. Esto significa que el modelo puede adaptarse a la naturaleza específica de cada variable en estudio.

## IV. MARCO METODOLÓGICO

La investigación se aborda con el enfoque cuantitativo, que se define como un conjunto secuencial y probatorio de procesos, donde cada etapa precede a la siguiente y no se puede “eludir” pasos; surge de un problema concreto, genera una idea de solución, se derivan preguntas de investigación y objetivos, se revisa la literatura y construye un marco teórico, se desarrolla un plan para probar la hipótesis, se miden las variables de respuesta en un determinado contexto, se analizan los resultados y se establece una serie de conclusiones referidas a la hipótesis (Hernández y col., 2010).

El ensayo multilocal de evaluación de clones de robusta y la estimación de la estabilidad genética del rendimiento, se aborda con un enfoque positivista y en los análisis estadísticos se combinan los métodos descriptivos e inferenciales. Los datos provienen de un experimento multilocal, tres ubicadas en el litoral y dos en la Amazonía, ejecutado por el equipo de investigadores del Programa de Café del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), entre 2015 y 2019, donde se probaron 22 clones de café robusta. En función del objetivo específico 1, se evaluó el rendimiento (períodos de dos a cuatro años de cosecha). Para el objetivo específico 2, se tomó la información de las características morfológicas de los clones, en los cinco ambientes, a los 48 meses de edad. Para el objetivo específico 3, se realizó una caracterización organoléptica de los 22 clones, beneficiados por vía seca, de la cosecha 2019, de la Estación Pichilingue.

En cada localidad se obtuvo la información pertinente para los análisis orientados al cumplimiento de los objetivos específicos planteados. Dada la naturaleza del experimento, la metodología se detalla por objetivo específico. El análisis estadístico se realizó usando los programas computacionales: INFOSTAT (UNC, 2018), INFOGEN (Balzarini y Di Rienzo, 2016), SPSS (IBM, 2013) y EXCEL de Microsoft office. En el proceso de análisis se aplicaron pruebas paramétricas a partir de la comprobación del cumplimiento de los supuestos de normalidad y homocedasticidad de los datos (Corral, 2019).

### 4.1. Características del experimento multilocal

#### 4.1.1. Características edafoclimáticas

Las principales características edafoclimáticas de las cinco localidades cafetaleras, se exponen en el Cuadro 4.1. Las localidades Loreto y Macas, corresponden a la región amazónica ecuatoriana, tienen suelos muy ácidos (pH de 4,8 y 4,9). Las otras tres localidades corresponden a la región litoral. En Santo Domingo (300 msnm), el pH del suelo fue 6,0, valor que está dentro del rango adecuado para café (pH de 5,5 a 6,5). Los

valores de pH en las localidades Portoviejo (48 msnm) y Pichilingue (75 msnm) fueron 7,1 y 6,7, respectivamente, clasificados como neutros, ligeramente arriba del límite recomendado para café.

La precipitación anual promedio fue diferente en las cinco localidades: en Loreto 2.516 mm, en Macas 2.463,5 mm, en Pichilingue 2.201,62 mm, en Portoviejo 578,6 mm y en Santo Domingo 2.686 mm, observándose una variación en los días secos al año, siendo más bajos en Pichilingue (71 días) y Santo Domingo (92 días). Los análisis químicos de los suelos indicaron que todas las localidades tuvieron contenidos medios de nitrógeno; en Loreto y Macas se evidenció deficiencias en fósforo, potasio y boro. Los suelos de todas las localidades mostraron deficiencias en azufre.

Cuadro 4.1. Características edafoclimáticas de las localidades experimentales.

Factor ambiental	Variables	Localidades cafetaleras				
		Loreto	Macas	Pichilingue	Portoviejo	Santo Domingo
Clima	Precipitación anual (mm)	2.516	2.463,5	2.201,62	578,6	2.686,0
	Días secos en el año	153	137	71	180	92
	Temperatura media (°C)	23,6	24,87	24,87	25,50	24,30
	Humedad relativa (%)	85,5	81,0	83,86	78,2	87,0
	Heliofanía (horas luz/año)	-	-	879,0	1.339,2	803,0
Suelo	N (ppm)	25 (M)	35 (M)	35 (M)	32 (M)	22 (M)
	P (ppm)	9 (B)	4 (B)	99 (A)	44 (A)	10 (A)
	K (meq/100 mL)	0,14 (B)	0,16 (B)	0,97 (A)	2,86 (A)	0,21 (A)
	Ca (meq/100 mL)	8 (M)	7 (M)	12 (A)	17 (A)	11 (A)
	Mg (meq/100 mL)	1,4 (M)	0,6 (B)	2,1 (A)	3,6 (A)	0,8 (A)
	S (ppm)	8 (B)	5 (B)	5 (B)	7 (B)	15 (B)
	Zn (ppm)	6,6 (M)	1,8	9,2 (A)	3,8 (M)	6,1 (M)
	Cu (ppm)	5,4 (A)	12,3 (A)	8,9 (A)	2,3 (M)	5,4 (M)
	Fe (ppm)	122 (A)	125 (A)	175 (A)	13 (B)	104 (B)
	Mn (ppm)	75,5 (A)	4,3 (B)	10,2 (M)	12,9 (M)	3,4 (M)
	B (ppm)	0,28 (B)	0,34 (B)	0,52 (M)	0,35 (M)	0,78 (M)
pH (acidez)	4,9 muy ácido	4,8 muy ácido	6,7 prácticamente neutro	7,1 prácticamente neutro	6,0 ligeramente ácido	
Fisiografía	Altitud (msnm)	444	1150	75	48	300
	Latitud 18M	023403	819760	667488	570154	698719
	Longitud	9918214	9753423	9881369	9872612	9981324

Nota 1: Interpretación de los análisis químicos de suelos. A= Contenido alto, M= Contenido medio, B = Contenido bajo

Fuentes: Climas de Loreto y Macas (Climate-data.org, 2021), Estaciones meteorológicas M006, M005 y M025 (INAMHI, 2016)

Fuente: INIAP (2019)

#### 4.1.2. Estructura de los ensayos regionales

En el estudio multilocal, se evaluó un desigual número de clones y años de cosecha, en tres repeticiones. Cada repetición estuvo conformada por 10 cafetos, en los cuales se tomaron los datos individualmente. Los ensayos regionales se adaptaron a la estructura experimental expuesta en el Cuadro 4.2. La información de las cinco localidades en estudio, el número de cosechas entre dos (Loreto y Macas), de cuatro años de cosecha para las localidades Portoviejo y Santo Domingo y los cinco a cinco años de cosecha en Pichilingue, las tres repeticiones de las unidades experimentales (clones) conformadas por 10 cafetos, cada una, permiten tener una información amplia para el análisis de estabilidad, dando las características de mayor confiabilidad en los resultados.

Cuadro 4.2. Estructura de los ensayos regionales de clones de café robusta.

	Localidades				
	Loreto	Macas	Pichilingue	Portoviejo	Santo Domingo
Clones	14	20	22	20	20
Años	2	2	5	4	4
Repeticiones	3	3	3	3	3

Fuente: INIAP (2019)

#### 4.1.3. Clones de café robusta

Los 22 clones de café robusta evaluados en el experimento multilocal, se distribuyeron: 14 clones Loreto, 20 en Macas, 22 en Pichilingue, 20 en Portoviejo y 20 clones en Santo Domingo de los Tsáchilas, según detalle expuesto en el Cuadro 4.3.

El origen genético es diferente, los codificados como COF, corresponden a selecciones realizadas por el ex Consejo Cafetalero Nacional, los genotipos con el código NP corresponden a selecciones realizadas por el INIAP en la antigua Estación Experimental Napo Payamino, los identificados con Nestlé corresponden a selecciones de esa empresa y las identificadas con oras codificaciones son selecciones recientes en fincas de caficultores. Estos genotipos de café robusta constituyen un recurso fitogenético de importancia, que, al ser valorados en su comportamiento fenotípico y parámetros genéticos como estabilidad, aportarán a nuevos proyectos de mejora genética.



## 4.1.4. Manejo de los experimentos

Los ensayos en Pichilingue (km 5 vía Quevedo-El Empalme) y Santo Domingo (km 38 vía Santo Domingo-Quinindé) se instalaron en marzo del 2014, en Portoviejo ( km 12 vía Portoviejo-Santa Ana) en junio del 2014, en Macas (cantón Morona, parroquia General Proaño) en agosto del 2014 y en Loreto (parroquia San José de Dahuano, Comunidad San Rafael) en noviembre del 2015. Las densidades de siembra (cafetos.ha<sup>-1</sup>) se adaptaron a las condiciones locales: en Loreto y Macas, la densidad usada fue 1.333 cafetos.ha<sup>-1</sup> y en Pichilingue, Portoviejo y Santo Domingo, de 2.000 cafetos.ha<sup>-1</sup>.

Cuadro 4.3. Genotipos de café robusta probados por localidades cafetaleras.

Loreto (14)	Macas (20)	Pichilingue (22)	Portoviejo (20)	Santo Domingo (20)
COF-001-A2	COF-001-A2	COF-001-A2	COF-001-A2	COF-001-A2
	COF-003-A15	COF-003-A15	COF-003-A15	COF-003-A15
COF-003-A2	COF-003-A2	COF-003-A2	COF-003-A2	COF-003-A2
	COF-003-A7	COF-003-A7	COF-003-A7	COF-003-A7
COF-004-A15	COF-004-A15	COF-004-A15	COF-004-A15	COF-004-A15
COF-004-A7	COF-004-A7	COF-004-A7	COF-004-A7	COF-004-A7
	COF-005-A16	COF-005-A16	COF-005-A16	COF-005-A16
LB-A10	LB-A10	LB-A10	LB-A10	LB-A10
LB-A11	LB-A11	LB-A11	LB-A11	LB-A11
	LE-A1	LE-A1	LE-A1	LE-A1
LE-A7	LE-A7	LE-A7	LE-A7	LE-A7
LF-A7	LF-A7	LF-A7	LF-A7	LF-A7
	LI-A13	LI-A13	LI-A13	LI-A13
	LQ-A3	LQ-A3	LQ-A3	LQ-A3
LT-A2	LT-A2	LT-A2	LT-A2	LT-A2
NESTLE-1	--	NESTLE-1	--	--
NESTLE-2	--	NESTLE-2	--	--
NP-2024	NP-2024	NP-2024	NP-2024	NP-2024
NP-2024-A10	NP-2024-A10	NP-2024-A10	NP-2024-A10	NP-2024-A10
NP-3013	NP-3013	NP-3013	NP-3013	NP-3013
	NP-3018-A19	NP-3018-A19	NP-3018-A19	NP-3018-A19
	NP-4024-A4	NP-4024-A4	NP-4024-A4	NP-4024-A4

Fuente: INIAP (2019)

En el Cuadro 4.4, se indican los aspectos del manejo: fertilizaciones por año, control de malezas (manual, mecánica y químico), control de broca (*Hypothenemus hampei*), control de malezas, prevención de enfermedades con la aplicación de fungicidas cúpricos; además, se hicieron desbroses anuales. En todos los casos, se proporcionó un manejo que se aproximó a las condiciones locales de los productores.

Cuadro 4.4. Manejo de los ensayos regionales de clones de café robusta.

Labores	Localidades				
	Loreto	Macas	Pichilingue	Portoviejo	Santo Domingo
Fecha de siembra	11/2015	08/2014	03/2014	06/2014	03/2014
Densidad poblacional (cafetos.ha <sup>-1</sup> )	1333	1333	2000	2000	2000
Años de evaluación de cosecha	2	2	4	2	3
Número de cosechas.año <sup>-1</sup>	4	4	4	3	3
Fertilizaciones.año <sup>-1</sup>	2	2	2	2	2
Control manual de malezas.año <sup>-1</sup>	2	2	2	2	2
Control de broca usando trampas	Si	Si	Si	Si	Si
Prevención de enfermedades foliares	Si	Si	Si	Si	Si
Podas anuales	1	1	1	1	1
Método de beneficio	Vía seca	Vía seca	Vía seca	Vía seca	Vía seca

Fuente: INIAP (2019)

#### 4.2. Metodología para el objetivo específico 1: Evaluar modelos de análisis de la estabilidad genética para la selección segura de clones de café robusta de alta productividad

##### 4.2.1. Variable experimental

Para el análisis de estabilidad genética se usó la variable cuantitativa continua: rendimiento (REN), expresado en kg.ha<sup>-1</sup> de café oro, también conocido como café verde o granos (endospermo), con una humedad del 10%. El procedimiento para estimar el rendimiento (kg café oro.ha<sup>-1</sup>) parte de las recolecciones parciales de los frutos maduros (café cereza) individualmente por cada cafeto (PPCn), que se pesaron usando una balanza gramera (en g, sin decimales). Al fruto de café, el IPGRI (1996) lo clasifica como una baya mientras que Rojo y Pérez-Urria (2014) indican que se trata de una drupa.

A continuación se define el procedimiento de cálculo del rendimiento:

- Producción de café cereza planta<sup>-1</sup> (PCC)

Corresponde a la suma de las recolecciones de frutos maduros (cosechas parciales), realizada en un año calendario. Los datos de la cosecha anual por cafeto, registrada en gramos, se transformó a kilos, dividiendo para 1.000, pues: 1 kg =1.000 g.

$$PCC = \Sigma PPC_n$$

Donde:

PCC = Producción anual de café cereza (g.planta<sup>-1</sup>). Este dato se transforma a kg.planta<sup>-1</sup>.

$\Sigma PPC_n$  = Suma de las recolecciones del café cereza (g.planta<sup>-1</sup>), realizadas en un año calendario.

- Producción café oro kg.cafeto<sup>-1</sup> (PCO)

Cuando no se dispone de la conversión de café cereza a café oro (CC:CO) se recomienda tomar como referencia el factor de conversión 4,5:1,0, que equivale a la transformación de 450 kg de café cereza a 100 kg café verde (café en grano al 10-13% de humedad). Por lo tanto, se estimó dividiendo la producción de café cereza anual (PCC) para el coeficiente de conversión mencionado. El resultado de esta relación se multiplicó por el factor 0,75 que constituye un coeficiente de ajuste, considerando el 25% de potenciales pérdidas durante el proceso de cosecha y poscosecha.

$$PCO = \frac{PCC}{4,5} (0,75) \approx PCO = 0,167 (PCC).$$

- Rendimiento en kg café oro.ha<sup>-1</sup> (REN)

A partir del dato individual por cafeto (PCO) se realiza una extrapolación REN expresado en kg café oro.ha<sup>-1</sup>, considerando la densidad poblacional real (plantas.ha<sup>-1</sup>).

$$REN = PCO (DPR)$$

Donde:

REN= Rendimiento expresado en kg café oro.ha<sup>-1</sup>

PCO= Producción de café oro expresado en kg café oro.planta<sup>-1</sup>

DPR= Densidad poblacional real o número de cafetos efectivos (con corrección de las plantas faltantes)

#### 4.2.2. Análisis de Varianza

En los ensayos de campo actúan una serie de factores que afectan las unidades experimentales, causando variabilidad adicional que se conoce como “ruido” y es atribuible a la dinámica de la micro flora y micro fauna del suelo, a la interacción del cultivo con poblaciones de plantas arvenses, residuos de agroquímicos, pendiente del suelo, dirección del viento, entre otras. Los diseños experimentales de los ensayos regionales

fueron adaptados en función del número de clones y de años evaluados al diseño irrestricto al azar (DIA), según propuesta de Lagos (2001).

En el estudio se probaron un grupo de clones en distinto número de años y en tres repeticiones. El modelo general del diseño fue:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + IAG_{k(ij)} + e_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$ =	Observación k del genotipo i en el ambiente j
$\mu$ =	Media general del experimento multilocal
$G_i$ =	Efecto principal de los genotipos o clones i (considerado fijo)
$A_j$ =	Efecto principal de los ambientes o localidades j
$IAG_{k(ij)}$	Efecto de la interacción del genotipo x ambiente dentro años k
$e_{ijk}$ =	Error experimental

Según Lagos (2001), el éxito en la selección depende de la precisión de los métodos empleados para identificar individuos superiores, tomando en cuenta que características como el rendimiento, tienen baja heredabilidad y son vulnerables a los cambios del ambiente, donde la heterogeneidad del suelo, por ejemplo, pueden alterar el comportamiento de los cultivares superiores. En Brasil, en estudios de adaptabilidad y estabilidad de cultivares de café arábigo, De Souza y col. (2019) informan de la aplicación del diseño irrestricto al azar. Los esquemas de los análisis de varianza paramétrico, a nivel de localidades y análisis combinados, se exponen en los Cuadros 4.5. y 4.6.

Cuadro 4.5. Esquema de los análisis de varianza por localidades: suma de cuadrados (SC) y grados de libertad (GL).

	Localidades									
	Loreto		Macas		Pichilingue		Portoviejo		Santo Domingo	
Fuente de variación	GL	SC	GL	SC	GL	SC	GL	SC	GL	SC
Año (A)	1	SCA	1	SCA	4	SCA	3	SCA	3	SCA
Repetición (R)	2	SCR	2	SCR	2	SCR	2	SCR	2	SCR
Clones (C)	13	SCC	19	SCC	21	SCC	19	SCC	19	SCC
Interacción Años x clones	13	SC(AxC)	19	SC(AxC)	84	SC(AxC)	57	SC(AxC)	57	SC(AxC)
Error experimental (EE)	54	SCEE	78	SCEE	218	SCEE	158	SCEE	158	SCEE
Total (T)	83	SCT	119	SCT	329	SCT	239	SCT	239	SCT

Cuadro 4.6. Esquema del análisis de varianza combinados: localidades x años x clones: Suma de cuadrados (SC) y Grados de libertad (GL).

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F calculada
Localidad	4	SC L	SC L/GL de L	CM L/CME
Años	4	SC A	SC A/GL de A	CM A/CME
Repeticiones	2	SC R	SC R/GL de R	CM R/CME
Clones	21	SC C	SC C/GL de C	CM C/CME
Localidad x clones	73	SC (CxL)	SC (CxL)/GL de CxL	CM (CxL)/CME
Error experimental	763	SC EE	SC EE/GL del EE	
Total	867	SC T		

La fuente de variación de interés, en cada localidad, fue el componente genético, que en el análisis de varianza se expresa como “cuadrado medio de los clones”, así como, en la IGA, expresada como “cuadrados medios de interacción años x clones” y “cuadrados medios localidad x clones”. En circunstancias en que las variables no cumplían los supuestos de normalidad y de homocedasticidad, se realizó el análisis de varianza por rangos KW, cuyo esquema se expone en el Cuadro 4.7.

Cuadro 4.7. Esquema de aplicación del análisis de varianza por rangos (R) de Kruskal y Wallis (KW).

	N	Medias	$\bar{R}$	<i>Estadístico KW</i>	<i>Estadístico de contraste</i>
Localidades (L)	5	$\bar{E}$	$\sum R_E/AG$	H	Ji cuadrada
Años (A)	5	$\bar{A}$	$\sum R_A/EG$	H	Ji cuadrada
Clones (G)	22	$\bar{G}$	$\sum R_G/AE$	H	Ji cuadrada

Las pruebas de normalidad y homocedasticidad, de las series de datos por clones, se indica a continuación:

- Prueba de la normalidad

La prueba de la normalidad se realizó usando la fórmula de Jarque y Bera (1987), considerando que el número de observaciones fue menor 30, no se realizó el ajuste por exceso de curtosis. La fórmula usada fue la siguiente:

$$JB = \frac{n}{6} \left[ A^2 + \frac{1}{4}(K)^2 \right]$$

- Prueba de la homocedasticidad

La homogeneidad de las varianzas se realizó usando dos técnicas: la prueba de Levene y la prueba F. La prueba de Levene, para el conjunto de genotipos, en los distintos años y localidades, se basa en el mismo procedimiento del análisis de varianza clásico, usando como variable los valores de las diferencias entre la media general y las medianas de cada genotipo por localidades.

La prueba F que se usa para comparar varianzas, de par en par, requiere de la aplicación de la siguiente fórmula para tener F calculada que se contrastan con sus valores críticos obtenidos de una tabla específica, considerando el nivel de significación  $\alpha$  y los grados de libertad. En el estudio se planeó un  $\alpha=0,05$  y grados de libertad, tanto para el numerador como para el denominador,  $GL= n - 1$ .

$$F_{calculada} = \frac{\text{Varianza mayor}}{\text{Varianza menor}}$$

#### 4.2.3. Modelos estadísticos de estimación del parámetro estabilidad

Los modelos planeados para el análisis fueron cinco: Finlay y Wilkinson, Eberhart y Russell, Lin y Binns, AMMI y PROMVAR, sin embargo, en circunstancias en que no se cumplieron los supuestos para el análisis de varianza (ANDEVA), se colocaba en riesgo la confiabilidad del modelo AMMI, por lo tanto, se realizó la prueba no paramétrica conocida como Análisis de varianza de Kruskal y Wallis (KW).

- Modelo de Finlay y Wilkinson

En la aplicación del modelo, los valores observados de cada clon, se sometieron al análisis de regresión lineal con los valores identificados como índices ambientales calculados como las diferencias entre la media marginal de las localidades y repeticiones y la media general. La decisión se fundamenta en que si  $b > 1,0$  la estabilidad del clon resultaría reducida.

- Modelo de Eberhart y Russell

En la aplicación del modelo se realizó el análisis de la interacción genotipo x ambiente en dos etapas: en un primer momento, se calculó la desviación de la regresión o residuo que es la diferencia de los valores observados y predichos de cada clon  $i$ , es la respuesta del clon. Las decisiones se tomaron en base a la siguiente regla: Si  $b \approx 1,0$  la adaptabilidad del clon corresponde a la media; si  $b > 1,0$  el clon se adapta a ambientes favorables y si  $b < 1,0$  el clon se adapta a ambientes desfavorables (Jiménez, 2006). Por otra parte, cuando  $S^2_{di} \approx 0,0$  la estabilidad es alta y cuando  $S^2_{di} > 0,0$  la estabilidad es reducida. Como referencia se consideró que  $b \approx 1,0$  cuando el coeficiente de regresión varía entre 0,8 y 1,2.

- Modelo de Lin y Binns

Esta técnica no paramétrica incluye el análisis del índice ambiental y el cálculo del índice de superioridad. El índice ambiental está dado por la expresión:  $IA = \bar{G}_i - \bar{G}$ , que es la diferencia entre el promedio individual del clon y la media general de los clones. Este mismo procedimiento se aplica para la estimación del índice ambiental de las localidades, con el ajuste pertinente de las medias por localidad y la media general de las localidades en estudio.

El índice de superioridad se calcula con la fórmula:  $Pi = \frac{(G_i - \text{Máximo})^2}{2n}$ , que es la relación entre la diferencia al cuadrado del rendimiento máximo del clon superior y el promedio de cada clon objeto de análisis  $G_i$ , dividido para el doble del número de observaciones. La decisión de estabilidad se tomó considerando el índice de superioridad, con el criterio “menor es mejor”.

- Modelo AMMI

La variable cuantitativa continua de interés fue el rendimiento de 22 clones de café robusta, probados en cinco localidades y distintos años de producción. En el análisis estadístico “efectos principales aditivos e interacción multiplicativa” se usó el programa INFOGEN que genera un gráfico biplot, dos dimensiones que corresponden a los componentes principales CP1 y CP2.

Los lineamientos básicos para interpretar el biplot del modelo AMMI, son los siguientes:

- Los genotipos con mayor estabilidad, en el biplot, se encuentran más cercanos al punto de origen.
- Los genotipos, a medida que se alejan del punto de origen significa que tienen mayor variabilidad, por tanto, mayor IGA, en consecuencia, menor estabilidad.
- La relación entre ambientes y genotipos está determinada por los signos de los componentes principales: si poseen el mismo signo representan una interacción positiva para la variable experimental (valores mayores que la media).
- Los signos contrarios en los componentes principales indican un efecto negativo del genotipo en un ambiente específico (valores menores que la media).

- Modelo POMVAR

Se basa en la relación entre los promedios de los clones (eje X) y la variabilidad relativa (VR%), que representa el error estándar de la media, expresado en por ciento (eje Y). La construcción de un dispersograma con estos dos estadígrafos permitió valorar de manera gráfica un diagrama de cuatro celdas.

Considerando que el rendimiento es una variable cuantitativa continua, cuyo resultado deseable se identifica como “mayor es mejor”, se propendió a identificar (en el eje X) los clones con promedios mayores que la media general y valores de variación relativa menores que la media general de VR% (eje Y). Se identificaron los clones que, en el diagrama de cuatro celdas, se ubican en el cuadrante inferior derecho, reuniendo las condiciones de alto rendimiento y reducida variabilidad relativa (alta estabilidad).

El modelo PROMVAR, puede adaptarse a las necesidades de la investigación en fitomejoramiento. En el caso de haber un cultivar como testigo, los promedios de rendimiento (PROM) y de variabilidad relativa (VAR), de ese genotipo, constituirían los valores críticos para tomar decisiones de selección. Por otra parte, si hubiese un alto número de genotipos promisorios, se puede incrementar la presión de selección progresivamente, usando como criterios los análisis de cuartiles, quintiles o deciles.

El análisis comparativo entre modelos estadísticos se realizó usando la prueba Ji-cuadrada, para lo cual se usó como referencia los ocho clones identificados con el modelo PROMVAR (frecuencia esperada) que se contrastó con cada una de las frecuencias observadas (clones identificados como estables), logradas con los modelos estadísticos.

$$\chi^2 = \frac{\sum(\text{observado} - \text{esperado})^2}{\text{esperado}}$$

#### 4.3. Metodología para objetivo específico 2: Caracterizar la morfología de 22 genotipos de café robusta en distintos ambientes

##### 4.3.1. Variables para la caracterización morfológica

Las características morfológicas se refieren a los caracteres observables que tienden a diferenciarse por clones, en función de su grado de adaptación y como reacción a los estímulos ambientales principalmente, suelo y clima. En el registro de datos morfológicos se descartaron las plantas atípicas o “fuera de tipo” (que se desvían de la tendencia central). Los datos usados para el análisis del comportamiento fenotípico corresponden a cafetos con una edad de 48 meses, después del establecimiento en el campo.

Las características morfológicas se tomaron con base al protocolo 1: café, del INIAP (Plaza y col., 2016), que enfatiza en el mejoramiento y homologación de los procesos y protocolos de investigación, validación y producción de servicios en cacao y café. Los procedimientos del INIAP (Plaza y col., 2016), tienen similitud con la evaluación de los descriptores morfológicos del IPGRI (1996). Sin embargo, debido a que



se trata de clones de *Coffea canephora*, del grupo Congolensis, orientado a identificar relaciones entre morfología y producción, no se analizaron los descriptores florales ni bioquímicos.

Cabe destacar que en café robusta se procuran seleccionar clones de porte bajo, por la posibilidad de incrementar la densidad poblacional y de facilitar las labores como podas y cosecha. En el estudio se evaluaron las siguientes características morfológicas: altura de planta, diámetro de tallo, diámetro de copa, número de tallos productivos, número total de ramas, número de ramas productivas, longitud de rama plagiotrópica, distancia entre nudos, número de nudos por rama, número de nudos productivos por rama, grado de compactación y producción por planta:

- Altura de planta (AP)

Es una característica que indica el crecimiento ortotrópico del cafeto. La AP se midió desde el nivel del suelo hasta el ápice del tallo principal, usando una regla o flexómetro. Los datos se registraron en centímetros (sin decimales) o en metros (con dos decimales).

- Diámetro del tallo (DT)

El tallo es un órgano de forma cilíndrica y estructura leñosa que emerge en la parte central del cafeto y sostiene las ramas, hojas, flores y frutos, transporta agua y sales desde el suelo, proyectándose hasta la yema apical (células con capacidad de división). Esta variable se midió con un calibrador Vernier a 10 cm del nivel del suelo. En plantas multicaules (varios tallos), se registró el diámetro solo en el tallo principal. Los datos se registraron en milímetros (sin decimales).

- Diámetro de la copa (DC)

La copa de un cafeto se refiere a la totalidad de la parte aérea (tallos, ramas, hojas) que adquiere distintas formas y tamaños en función del genotipo y edad. Esta característica se midió usando una regla graduada, en la parte baja de la copa, entre los puntos opuestos extremos. Los datos se registraron en centímetros (sin decimales).

- Número de tallos productivos (NT)

Un cafetos puede ser monocaule (un tallo) o multicaule (varios tallos), ya sea por su naturaleza genética o por inducción a través de las podas de formación. Esta variable se registró en base al conteo directo en los cafetos. Los datos se registran en números enteros (sin decimales).

- Número total de ramas (NR)

La rama es la parte del cafeto que contienen nudos donde se originan las hojas y en cuyas axilas se forman las yemas vegetativas (originan a las ramas secundarias) y florales (donde se forman las flores). Las ramas primarias también se identifican como tallos secundarios. Esta variable se registró mediante conteo directo en cada cafeto, en números enteros (sin decimales).

- Número de ramas productivas (NRP)

Se contó en los tallos con estructuras reproductivas. Los datos se registraron en números enteros (sin decimales).

- Longitud de rama plagiotrópica (LR)

Para el registro de la variable, se identificó una rama ubicada en el tercio medio del cafeto, en la cual se midió la longitud, con el empleo de un flexómetro o regla métrica. Los datos se registraron en centímetros (sin decimales).

- Número total de nudos por rama (NNR)

El nudo es una zona de la rama donde se originan las hojas que sirven para conectar el sistema vascular entre hoja y rama. Esta variable se registró en base al conteo directo en una rama intermedia, identificada para la evaluación de longitud de rama (LR). Los datos se registraron en números enteros (sin decimales).

- Número de nudos productivos por rama (NNP)

En la rama del tercio medio, identificada para la evaluación de LR, se realizó el conteo de NNP, es decir de aquellas que presentaron frutos, en números enteros.

- Distancia entre nudos (DEN)

La porción de rama que separa dos nudos se conoce como entre nudo. Esta variable se determinó, basado en la relación entre longitud de rama plagiotrópica (LR) y número total de nudos de la rama (NNR), en centímetros (sin decimales).

- Grado de compactación (GC)

El grado de compactación es un índice que se basa en la relación entre altura de planta (AP) y número ramas total del cafeto (NR). Para la interpretación “menor índice GC es mejor”. Los datos GC se presentan con dos decimales.

$$GC = \frac{AP}{NR}$$

Donde:

GC= Grado de compactación

AP = Altura de planta expresada en centímetros.

NR = Número de ramas por planta

- Producción por planta (PCOP)

En este análisis se usó la variable producción, expresado en g café oro. planta<sup>-1</sup>, que se correlacionó con las variables morfológicas que configuran la arquitectura del cafeto.

#### 4.3.2. Análisis estadístico

Las características morfológicas de los 22 clones de café robusta, a los 48 meses edad y la variable producción (PCOP), expresada en café oro.g.planta<sup>-1</sup> fueron analizadas en esta parte del estudio. La característica producción se consideró como variable dependiente y las otras características fenotípicas se trataron como independientes (X1, X2,...Xn).

El modelo adoptado para el análisis de la función producción, adaptada de Balzarini y col. (2010), fue:

$$PCOP = f(X1, X2, \dots + Xn).$$

Donde:

PCOP = producción de café oro g planta<sup>-1</sup>: variable dependiente

Xi... Xn =Características agronómicas del cafeto: variables independientes

#### 4.4. Metodología para objetivo específico 3: Identificar el potencial organoléptico de los clones de robusta beneficiados por vía seca

Las muestras de café robusta fueron tomadas en el ensayo de adaptación de 22 clones de café robusta localizado en la EETP, en Quevedo, Los Ríos (altitud 75 msnm, Latitud 667488 UTM y Longitud 9881369 UTM), cosechado en 2019. Cada muestra estuvo conformada de 1,50 kg café cereza que luego del beneficio por vía seca permitió obtener alrededor de 300 g café en grano, tipo natural. Se tomó en consideración los cafés naturales de la localidad Pichilingue, considerando que se trata de valorar el potencial sensorial de los clones y no el efecto de los ambientes. Las muestras de café, fueron preparadas por vía seca y conservadas al 13% de humedad, en el laboratorio de Calidad de Cacao y Café de la EETP del INIAP, hasta el momento de la catación, que se realizó en febrero 10-11 del 2020.

Los 22 clones de robusta evaluados fueron: COF-OO1-A2, COF-OO3-A15, COF-OO3-A2, COF-OO3-A7, COF-OO4-A15, COF-OO4-A7, COF-OO5-A16, LB-A10, LB-A11, LE-A1, LE-A7, LF-A7, LI-A13, LQ-A3, LT-A2, Nestlé 1, Nestlé 2, NP-2024, NP-2024-A10, NP-3013, NP-3018-A19 y NP-4024-A4.

#### 4.4.1. Variables experimentales para la evaluación sensorial

Las 10 características organolépticas del café robusta, evaluadas según la normativa del Instituto de la Calidad del Café (CQI, 2010), se describen en el Cuadro 4.8.

Cuadro 4.8. Descripción de los atributos sensoriales evaluados en café robusta.

Atributos sensoriales	Descripción
Fragancia /aroma	La fragancia se evalúa sobre base seca (tostado-molido) y el aroma sobre base húmeda (con adición de agua a 93°C) en las cantidades específicas para catación.
Gusto	Es la impresión de las sensaciones gustativas y de los aromas que se percibe de la boca a la nariz, donde suelen encontrarse notas a frutas, nueces, especias y dulces.
Regusto	Se define como las cualidades positivas del sabor que emanan de la parte posterior de la lengua y permanecen en la boca, después que se expectora el café.
Equilibrio sal/acidez	Es el relativo equilibrio entre las sensaciones saladas a causa de los niveles de potasio y los niveles de los ácidos orgánicos como cítrico.
Equilibrio amargo/dulce	Se refiere a la sensación de un sabor combinado entre dulce y amargo. El dulce se deriva del ácido clorogénico y de los azúcares. El amargo surge por los niveles de potasio y cafeína. Los cafés robustas finos tienen un sabor más dulce que amargo.
Sensación en la boca	Al momento de sorber, por la estimulación de los vapores, queda una sensación táctil en la boca que se valora en distinto grado.
Uniformidad de la taza	Se refiere al gusto invariable entre las distintas tazas de una misma muestra (cinco tazas). La variación entre tazas de una muestra indica que no hay uniformidad.
Equilibrio de la taza	El conjunto de atributos de la bebida debe tener suficiente complejidad, pero ninguna característica debe opacar a las demás.
Limpieza	Es la transparencia de la taza, ausencia de impresiones negativas que interfieren desde la primera ingestión hasta el regusto. Indica que no hay contaminación con sabores extraños al café.
Puntaje general del catador	El catador realiza una valoración global de la calidad de la taza, según su particular criterio.
Calificación sensorial	Es la suma de las 10 calificaciones parciales en la escala 1-10, por tanto, la evaluación sensorial es sobre 100 puntos. El defecto de taza es un gusto negativo que le afecta a la calidad. Si se encuentran defectos secundarios se restan dos puntos por cada taza defectuosa y si hay defectos primarios se restan cuatro puntos por cada taza defectuosa.

Fuente: CQI (2010)

#### 4.4.2. Preparación de las muestras

La preparación de las muestras se realizó según el protocolo CQI (2010), detallado por Hetzel (2015). El tostado se hizo en una tostadora experimental. El color del tueste fue entre medio y medio-oscuro, que corresponde al rango de 50-55 en la escala estándar Agtron. El tueste duró 11-13 minutos (la norma indica 9-14 minutos), a una temperatura de 190°C a 210°C. Las muestras tostadas fueron enfriadas y guardadas en fundas no permeables, dejando en reposo 8-12 horas antes de la molienda. El café tostado se pesó individualmente a razón de 8,75 g por taza de 150 mL. La molienda se hizo en un molino eléctrico, 15 minutos antes de preparar la infusión, colocando tapas a cada taza para mantener la fragancia y aroma. El tamaño de las partículas de la molienda fue de grado medio (65-70% de partículas se retienen en tamiz 20, abertura de 850  $\mu\text{m}$ ). Entre muestras se molió una pequeña cantidad de nueva muestra ( $\pm 10$  g) para limpiar el molino y evitar residuos de la muestra previa. Para preparar la infusión se añadió el café molido en las tazas de cerámica y luego agua limpia, calentada a 93°C, (protocolo indica agua con pH: 6,5-7,5 con 0 ppm de cloro a temperatura 92°C-94,5°C). Se dejó en reposo por alrededor de cuatro (4) minutos e inmediatamente se procedió a evaluar los atributos sensoriales de las 22 muestras.

#### 4.4.3. Etapas de la prueba de taza

La calificación sensorial tiene una estructura sistemática, donde se registraron los 10 atributos organolépticos, en formatos específicos (CQI, 2010), cuyo proceso comprende cinco etapas:

Etapa 1. Evaluación de fragancia y aroma: en las cinco tazas de la muestra, en un primer momento, se valora la fragancia, levantando la tapa de cada taza, luego se añade agua caliente y deja en reposo 3-5 minutos para luego evaluar el aroma.

Etapa 2. Evaluación del gusto, regusto, equilibrio sal: acidez y equilibrio amargo: dulce y cuerpo: Cuando las muestras alcanzaron 70°C (8-10 minutos), se evaluaron y calificaron los sabores.

Etapa 3. Evaluación del balance, uniformidad y limpidez: A medida que se enfrió el café y alcanza la temperatura ambiente, se evaluaron estos atributos.

Etapa 4. Puntaje de catador: La evaluación sensorial concluyó cuando las tazas alcanzaron  $\pm 16^\circ\text{C}$  y cada catador dio una valoración combinada de todos los atributos.

Etapa 5. Evaluación sensorial: La calificación sensorial es la suma de los puntajes parciales, ajustado con la resta de dos puntos por taza cuando hay defectos secundarios y cuatro puntos por taza si hubiera defectos primarios. No se encontraron defectos de taza, por tanto, no hubo ajuste en el puntaje.

#### 4.4.4. Panel de catación

El panel de catación estuvo conformado por cuatro catadores, tres de ellos acreditados por el Instituto de la Calidad del Café (Siglas en inglés: CQI) y una catadora en formación del laboratorio de calidad del INIAP. La calificación sensorial tiene una estructura sistemática, por lo cual, los catadores de manera simultánea valoraron los 10 atributos organolépticos, de conformidad con el protocolo de la Asociación de Cafés Especiales de América, sistematizado por Royal Coffee (2018). En la actualidad, en marzo 12 de 2020, como respuesta al COVID-19, el protocolo fue modificado (SCA, 2020), adoptándose medidas de prevención y distanciamiento social.

#### 4.4.5. Análisis estadístico

Para los análisis estadísticos se consideró cada clon como tratamiento (22 clones) y cada catador como repetición (cuatro catadores). Para el análisis estadístico descriptivo, análisis de varianza y de conglomerados jerárquicos se usó el programa INFOSTAT (UNC, 2018) y para el análisis de confiabilidad de los datos y correlaciones lineales se usó el programa SPSS v 22 (IBM, 2013). En el análisis sensorial se calculó la media  $\pm$  error típico; así como los límites inferior y superior de confianza de  $\mu$  con  $\alpha = 0,05$ .

El análisis de varianza (ANDEVA) de la “calificación sensorial” se realizó en base al diseño de bloques al azar (BA) de 22 tratamientos (clones) con cuatro repeticiones (catadores), con el propósito de confirmar que no había sesgo en la evaluación de los catadores. Los análisis de correlaciones ( $r$ ) se realizaron con las medias de los 10 atributos ( $\alpha=0,05$ ). Además, se realizó un análisis de conglomerados jerárquicos en el propósito de identificar la similitud entre clones, respecto a los atributos de taza. Previo a los análisis estadísticos, se probó la confiabilidad del modelo y los datos en base del coeficiente alfa de Cronbach ( $\alpha$ ) y la correlación cofenética (en ambos casos, el valor más próximo a 1 es mejor).

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Estimación del parámetro estabilidad genética del rendimiento de 22 clones de café robusta

El análisis estadístico de la variable rendimiento de los 22 clones de café robusta, se inició con el uso de técnicas de la estadística descriptiva, la evaluación de los supuestos de homocedasticidad y normalidad, el análisis de varianza de Fisher y de Kruskal y Wallis (KW); así como, las estimaciones de la estabilidad usando los modelos: Finlay y Wilkinson, Eberhart y Russell, Lin y Binns, AMMI y PROMVAR.

#### 5.1.1. Estadística descriptiva del rendimiento

Se determinó que la media general de rendimiento de los 22 clones de café robusta, en las cinco localidades cafetaleras del Ecuador fue  $\bar{Y}=1.236 \pm 33 \text{ kg.ha}^{-1}$ . En Pichilingue y Santo Domingo se alcanzaron rendimientos de  $1.886 \pm 67$  y  $1.272 \pm 64 \text{ kg.ha}^{-1}$ , respectivamente, que fueron comparativamente más altas que las otras localidades. Esta situación sugiere una estrecha relación con la distribución de las lluvias durante el año, en Pichilingue, con una precipitación de 2.201,62 mm se registra un promedio de 71 días sin lluvia y en el caso de Santo Domingo, con una precipitación de 2.686 mm se registra anualmente un promedio de 92 días sin lluvia. En el análisis general, se observó una moda = 318 kg y una mediana = 935 kg, que difieren del promedio ( $236 \text{ kg ha}^{-1}$ ), por tanto, se deduce que el rendimiento se aleja de la distribución normal, con una tendencia a formas asimétricas, en todas las localidades (Cuadro 5.1).

Cabe indicar que los coeficientes de variación (CV%), tienden a ser mayores que 50%, siendo más alta en Santo Domingo (CV= 94%). Esta medida de relación entre la desviación estándar y la media, en porcentaje, no se asocia con la variabilidad relativa (VR%) que resultó más alta en Loreto (7,7%). En Macas, Portoviejo y Santo Domingo, la distribución tiende a ser leptocúrtica ( $g_2 > 0,5$ ), indicativo de la alta concentración de datos alrededor de la media. Respecto del coeficiente de asimetría, se observó que en todas las localidades  $\gamma_1 > 0,5$ , lo cual significa que hay una tendencia de sesgo hacia la derecha. En cuadro mencionado, se observa que hay rendimientos altos en Pichilingue, Macas y Santo Domingo, aunque la variación también tiende a ser amplia, lo que posibilita deducir que hay variabilidad aprovechable para la selección.

Cuadro 5.1. Estadísticos de la variable rendimiento ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en cinco localidades cafetaleras del Ecuador: Media ( $\bar{Y}$ ), Mediana (Md), Moda (Mo), Varianza ( $S^2$ ), Desviación estándar (S), Error típico (EE), Curtosis ( $g_2$ ) Coeficiente de asimetría ( $\gamma_1$ ), Coeficiente de variación (CV%), Variación relativa (VR%), Mínimo (Min), Máximo (Max), Rango (Rn), Número de observaciones (n), Intervalo de confianza (95%), Límite Inferior de  $\mu$  (LIC) y Límite Superior de  $\mu$  (LSC).

Estadísticos del rendimiento	Media general $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	Localidades				
		Loreto	Macas	Pichilingue	Portoviejo	Santo Domingo
$\bar{Y}$	1.236	463	1.272	1.886	826	1.095
Md	935	376	1133	1686	740	567
Mo	318	151	900	2365	734	348
$S^2$	939472	77885	476893	1169253	247547	1069377
S	969	279	691	1081	498	1034
EE	33	36	64	67	32	74
$g_2$	1,20	0,30	2,70	-0,40	1,70	1,00
$\gamma_1$	1,28	0,96	1,46	0,58	1,28	1,32
CV%	78	60	54	57	60	94
VR%	2,7	7,7	5,0	3,6	3,9	6,8
Mínimo	102	151	168	154	128	102
Máximo	4.488	1.344	4.034	4.488	2.727	4.428
Rn	4.386	1.193	3.866	4.334	2599	4.326
N	868	61	118	258	238	193
IC	65	71	125	131	63	145
LIC	1.171	392	1.147	1755	763	950
LSC	1.301	534	1.397	2.017	889	1.240

En la Figura 5.1, se observa que 62 plantas producen más de  $3.000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ : 26 plantas producen de  $3.000$  a  $3.500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , 18 plantas de  $3.500$  a  $4.000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  y otras 18 plantas  $> 4.000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Considerando que la media general,  $\bar{Y} = 1.236 \pm 33 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , significa que hay alta variabilidad, por lo tanto, una alta probabilidad de identificar plantas élites con potencial productivo  $>100$  quintales café pilado. $\text{ha}^{-1}$ .

Las decisiones de selección de clones de café robusta, normalmente, se han baso en los análisis descriptivos, principalmente de las medias  $\pm$ error experimental. Otros estudios se han ampliado a los análisis de varianza (ANDEVA) y a las pruebas de separación de medias, entre ellas las de Duncan y Tukey. Sin embargo, no se han realizado las pruebas de los supuestos de normalidad y homocedasticidad (Chiguano y Játiva, 1998; Arzube y col., 2017), por lo tanto, se reduce la confiabilidad en las decisiones de selección.



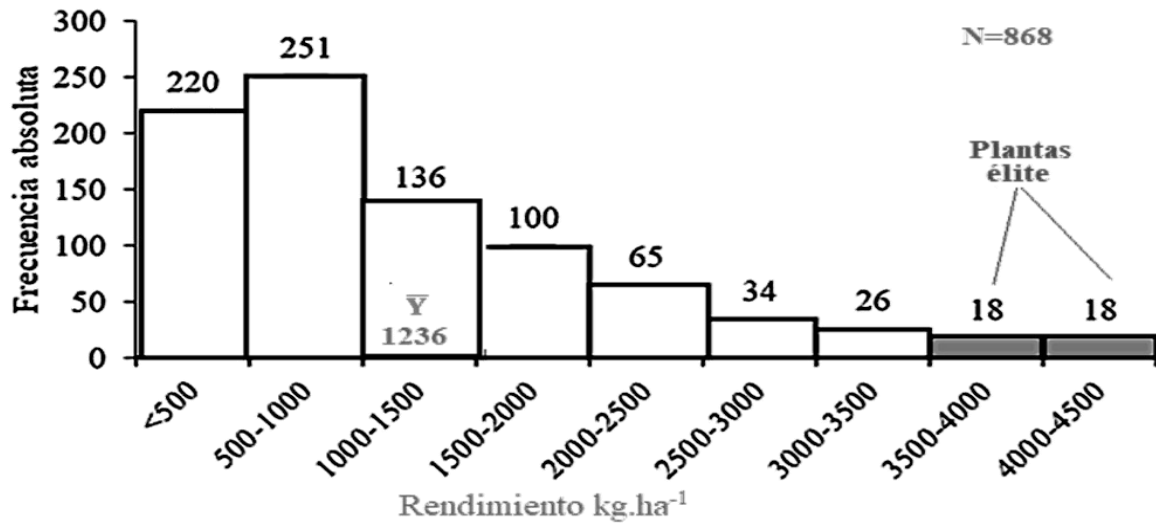


Figura 5.1. Distribución de los promedios de rendimiento en clases (kg.ha<sup>-1</sup>) de 22 clones de café robusta en cinco localidades cafetaleras.

Para decidir la pertinencia del análisis de varianza paramétrico, se realizaron las pruebas de la homocedasticidad y de la normalidad. En el primer caso se usó la prueba de Levene y en el segundo caso la prueba de Ji-cuadrada. La prueba de Levene se detalla en el Cuadro 5.2, donde se demostró que no había homocedasticidad para clones, ni localidades ni años, por tanto, no se cumplía el supuesto exigido para la aplicación de las pruebas paramétricas como el análisis de varianza de Fisher.

Cuadro 5.2. Prueba de Levene para homogeneidad de las varianzas de la variable rendimiento de los 22 clones de café robusta.

Factores en estudio	Estadístico de Levene	Grados de libertad	p	Decisión sobre homogeneidad de varianzas
Clones	2,450	21	<0,001	Heterocedasticidad entre clones
Localidades	51,763	4	<0,001	Heterocedasticidad entre ambientes
Años	17,030	4	<0,001	Heterocedasticidad entre años

La prueba de la normalidad de las series de datos de rendimiento y de la homocedasticidad para cada genotipo, a través de las localidades en estudio permitió determinar comportamientos diferenciados. Los clones de café robusta: LB-A10, LT-A2, NP-4024-A4, NP-2024, NP-2024-A10 y LF-A7, LB-A11, COF-004-A7 y COF-001-A2 tenían distribución normal pero no homocedasticidad (Cuadro 5.3).

Cuadro 5.3. Estadísticos de la variable rendimiento ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en 22 clones de café robusta: Promedios por localidad ( $\bar{Y}$ ), Media de los clones  $i$  en los ambientes  $j$  ( $\bar{G}_i$ ), Error típico ( $EE=S_{\bar{c}}$ ), valor escalar a la media (Eam), coeficiente de variación (CV), variación relativa (VR), coeficiente de asimetría de Fisher ( $\gamma_1$ ), Curtosis  $g_2$ ) y tipos de distribución y de varianza.

Clones	N	Rendimiento $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ por localidades					$\bar{G}_i$	$S_{\bar{c}}$	EAM (%)	CV (%)	VR (%)	$\gamma_1$	$g_2$	Distribución normal	Varianza homogénea
		Loreto	Macas	Pichilingue	Portoviejo	Santo Domingo									
COF-001-A2	48	447	1.044	1.681	863	1.128	1.130	$\pm 130$	91%	80	11,5	0,41	-0,58	Si	No
COF-003-A15	43	--	1.099	1.159	676	886	946	$\pm 102$	77%	71	10,8	0,96	1,48	No	No
COF-003-A2	42	517	1.193	2.078	779	778	1.215	$\pm 146$	98%	78	12,0	0,64	-1,05	No	No
COF-003-A7	41	--	1.206	2.193	1.523	1.147	1.572	$\pm 137$	127%	54	8,5	-0,23	-0,80	No	No
COF-004-A15	43	199	1.211	1.509	1.011	1.048	1.081	$\pm 123$	87%	75	11,4	0,23	-0,99	No	No
COF-004-A7	45	570	1.020	2.034	687	825	1.141	$\pm 132$	92%	78	11,6	0,94	0,48	Si	No
COF-005-A16	38	--	793	1.279	642	1.026	941	$\pm 145$	76%	95	15,4	2,08	5,12	No	No
LB-A10	41	700	2.120	3.038	945	1.149	1.637	$\pm 188$	132%	74	11,5	0,76	-0,55	Si	Si
LB-A11	42	366	1.015	2.017	813	1.018	1.182	$\pm 140$	96%	77	11,8	1,05	0,08	Si	No
LE-A1	41	--	1.751	2.703	822	1.102	1.700	$\pm 195$	138%	73	11,5	0,10	-0,89	No	-
LE-A7	47	512	1.376	1.943	844	1.503	1.335	$\pm 139$	108%	71	10,4	0,72	-0,66	No	No
LF-A7	48	533	1.630	1.502	845	1.290	1.200	$\pm 129$	97%	74	10,8	0,90	-0,17	Si	No
LI-A13	37	--	931	1.410	583	571	883	$\pm 114$	71%	79	12,9	1,55	1,93	No	No
LQ-A3	40	--	1.265	1.767	1.045	1.299	1.370	$\pm 149$	111%	69	10,9	1,21	1,47	No	No
LT-A2	43	526	1.894	2.243	716	1.238	1.351	$\pm 166$	109%	81	12,3	0,86	-0,07	Si	Si
NESTLE-1	11	366	--	2.034	--	--	1.579	$\pm 297$	128%	62	18,8	-0,05	-1,91	No	Si
NESTLE-2	13	380	--	2.289	--	--	1.554	$\pm 310$	126%	72	19,9	0,05	-2,05	No	Si
NP-2024	42	494	1.452	1.322	621	1.059	1.005	$\pm 138$	81%	89	13,8	0,87	-0,58	Si	No
NP-2024-A10	39	424	1.254	1.566	527	620	933	$\pm 129$	75%	86	13,8	0,83	-0,55	Si	No
NP-3013	43	425	976	1.502	1.012	1.408	1.145	$\pm 149$	93%	85	13,0	1,71	2,96	No	Si
NP-3018-A19	41	--	1.065	1.850	696	1.256	1.253	$\pm 148$	101%	76	11,8	1,47	2,61	No	No
NP-4024-A4	40	--	1.141	2.528	901	1.187	1.497	$\pm 195$	121%	82	13,0	1,05	0,45	Si	Si
General	868	463	1.272	1.886	826	1.095	1.236	$\pm 33$	100%	76	12,6	0,48	-0,67	No	No

Los resultados de las pruebas de normalidad y homocedasticidad justifican la sustitución del análisis de varianza paramétrico por la alternativa no paramétrica, análisis de varianza por rangos de Kruskal y Wallis. Sabaghnia (2015) destaca el uso de técnicas no paramétricas para la identificación de genotipos estables, sugiriendo usarse cuando hay dudas respecto a los resultados con técnicas paramétricas.

Generalmente, cuando hay series de datos que corresponden a distintos años y localidades, en cultivos perennes como el café, hay diferencias cuantitativas significativas en la variable de interés que pueden trastocar la información sobre varianzas y promedios; además, debido a las cifras, frecuentemente complejas, de varios dígitos, se hace complicado el análisis e interpretación. La transformación de los datos cuantitativos a índices o porcentajes es una buena práctica de manejo de datos. La transformación de los datos cuantitativos a valores tipificados,  $Z = \frac{(X-\bar{X})}{S}$ , las reducciones de millares a decenas, la transformación de un valor observado  $X_i$  a porcentaje con respecto a un valor testigo, la transformación de una serie de datos cuantitativos a sus deciles, quintiles o cuartiles; la transformación escalar a la media,  $Eam = \frac{X_i}{\bar{X}}(100)$  o la transformación escalar al máximo,  $EAM = \frac{X_i}{X_{Máximo}}(100)$ , entre otros índices, que facilitan el análisis de datos cuantitativos (Actis Di Pasquale y Balsa, 2017; Robles y Valverde, 2021).

En esta circunstancia se puede reducir los datos con la transformación escalar a la media (Eam) o escalar al máximo (EAM). Considerando que la media general de rendimiento de las cinco localidades fue 1.236 kg café oro.ha<sup>-1</sup>, el estadístico escalar a la media (Eam%) resultó un indicativo apropiado para interpretar el conjunto de clones niveles de producción mayor que la media (>100%. Este procedimiento es válido cuando la media proviene de todas las localidades, de otro modo debe señalarse el ámbito territorial de aplicación, que equivale a un índice ambiental. Los clones con mayor valor EAM, en las cinco localidades, resultaron: LB-A10, LE-A7 y LT-A2. En cuatro localidades, excepto en Loreto, se destacan los clones: COF-03-A7, LE-A1, NP-3018-A19 y NP 4024-A4. Cabe indicar que el clon COF-03-A7, además, presentó la menor variabilidad relativa, como promedio de cuatro localidades.

### 5.1.2. Análisis de la varianza

Frecuentemente cuando se dispone de datos de ensayos de clones, en varios ambientes, se procede a realizar el análisis de varianza y la separación de medias con pruebas como la de Tukey. Como se realizó la prueba de la normalidad y de la homocedasticidad, se trató de evaluar la pertinencia del análisis de varianza con los datos transformados, constatándose que el coeficiente de variación del experimento fue 65%. Al realizar la transformación de datos de rendimiento a  $\sqrt{Y_i}$  se redujo un valor CV=33%.

Los análisis de varianza por localidad y combinado, por el método paramétrico de Fisher, para la variable rendimiento, mostraron diferencias significativas para localidades, años, repeticiones y clones, pero no se evidenció significación estadística para la interacción clones x localidades (Cuadro 5.4).

La interpretación se dificulta con los valores transformados en términos de la variable kg café oro.ha<sup>-1</sup>. La desviación estándar de los rendimientos de cada clon, a través de los ambientes, también puede ser considerada como medida de estabilidad (Giménez y col., 2000). Un alto coeficiente de variación,  $CV\% = \frac{S}{\bar{Y}} (100)$ , significa que hay una reducida estabilidad. La contribución de la variación genética a la varianza total fue 5,8%, que parece está afectada por el no cumplimiento de los supuestos de normalidad y homocedasticidad.

Cuadro 5.4. Análisis de varianza de los datos originales (Y) y transformados a  $\sqrt{Y}$  de la variable rendimiento en ensayo multilocal de selección de clones de café robusta.

Fuente de variación	Datos originales (Y)				Datos transformados a $\sqrt{Y}$		
	GL	S <sup>2</sup>	p	Variación (%)	S <sup>2</sup>	P	Variación (%)
Localidad (L)	4	46812293	<0,001	23%	9.293	<0,001	25,1%
Años (A)	4	6649484	<0,001	3,3%	1.071	<0,001	2,9%
Repeticiones (R)	2	4008373	0,002	1,0%	716	<0,002	1,0%
Clones (G)	21	2240826	<0,001	5,8%	409	<0,001	5,8%
Localidad x clones (LG)	73	651253	0,486	5,8%	104	0,733	5,1%
Error experimental (e)	763	652765		61,1%	117		60,1%
Total (T)	867			100,0%			100,0%
CV (%)		65,35			33,12		

El análisis de varianza no paramétrico (KW), permitió, analizar los factores: localidades, años y clones. En el análisis KW para localidades, los clones tienen diferencias estadísticas en Portoviejo y Pichilingue ( $p < 0,01$ ). El año donde se obtuvo el promedio más alto fue en el 2015, aspecto influenciado por las primeras cosechas de la localidad más productiva, Pichilingue, en base al análisis de medianas, la medida de tendencia central más consistentes (Cuadro 5.5).

Cuadro 5.5. Análisis de varianza por rangos de Kruskall y Wallis (KW) de la variable rendimiento en el ensayo multilocal de selección de clones de café robusta en Ecuador.

	Localidades				
	Loreto	Macas	Pichilingue	Portoviejo	Santo Domingo
Número de clones	14	20	22	20	20
n observaciones	61	118	258	238	193
$\bar{L}_j$ (kg.ha <sup>-1</sup> )	463 ± 36	1272 ± 64	1.886 ± 67	826 ± 32	1.095 ± 74
Mediana (kg.ha <sup>-1</sup> )	376	1133	1686	739	567
Estadístico H	14,08	28,75	47,26	39,74	14,35
p de Chi cuadrada	0,3681	0,0699	0,0009	0,0035	0,7631
Significación estadística	NS	NS	**	**	NS

Nota: NS no hay diferencia estadística entre clones de café robusta, \* hay diferencia estadística con el 95% de confianza y \*\* hay diferencia significativa con el 99% de confianza

El mayor rendimiento se obtuvo en Pichilingue y el menor desempeño productivo fue en Loreto, usando los análisis de varianza paramétricos y las pruebas de medias de Tukey; que resultaron ser similares al resultado obtenido con el análisis no paramétrico, por rangos KW (Cuadro 5.6).

Cuadro 5.6. Comparación entre rangos de Tukey ( $\alpha=0,05$ ) a partir de los análisis de varianza de datos originales y transformados vs rangos (R) de KW para la variable rendimiento en cinco localidades cafetaleras.

Localidades	n	$\bar{L}_j$ (kg.ha <sup>-1</sup> )	Prueba Tukey datos originales		Prueba Tukey datos transformados		Prueba Kruskall y Wallis	
			VR (%)	Rangos	VR (%)	Rangos	$\bar{R}$	Rangos KW
Pichilingue	258	1.886±50	2,7	A	1,6	A	600,63	A
Macas	118	1.272±76	6,0	B	2,9	B	494,58	B
Santo Domingo	193	1.095±60	5,5	BC	2,7	C	366,63	C
Portoviejo	238	826±52	6,3	C	2,5	C	343,29	C
Loreto	61	463±102	22,0	D	6,6	D	186,23	D

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

En el Cuadro 5.7, se exponen los rangos de Tukey para las medias a partir del análisis con datos originales, donde los mejores clones fueron: LB-A10, LE-A1, COF-003-A7 y NP-4024-A4. A partir del análisis con los datos transformados, con los rangos de Tukey se identificaron como clones superiores: LB-A10, LE-A1 y COF-003-A7. En base al análisis de varianza de KW, el año de mejor desempeño productivo fue 2015 (Cuadro 5.8). Este resultado está influenciado por los altos rendimientos en Pichilingue, que mostró un buen desempeño productivo en este primer año de cosecha.

Cuadro 5.7. Rangos de Tukey ( $\alpha=0,05$ ) y medias de los genotipos ( $\bar{G}_i$ ) por el análisis de varianza de los datos originales  $G_i$  y de los datos transformados a  $\sqrt{G_i}$  para la variable rendimiento de 22 clones de café robusta probados en cinco localidades cafetaleras del Ecuador.

Clones	$\bar{G}_i$	Rango de Tukey 0,05	Clones	$\sqrt{G_i}$	Rango de Tukey 0,05
LB-A10	1.687	A	COF-003-A7	38,63	A
LE-A1	1.655	AB	LB-A10	39,59	A
COF-003-A7	1.589	ABC	LE-A1	37,96	AB
NP-4024-A4	1.580	ABC	Nestlé 2	36,55	ABC
NP-3018-A19	1.402	ABCD	NP-4024-A4	36,12	ABC
LT-A2	1.397	ABCD	LQ-A3	35,25	ABC
LQ-A3	1.396	ABCD	LE-A7	34,57	ABC
Nestlé 2	1.359	ABCD	Nestlé 1	34,50	ABC
LE-A7	1.356	ABCD	LT-A2	34,42	ABC
LF-A7	1.213	ABCD	NP-3018-A19	33,42	ABC
LB-A11	1.195	ABCD	LF-A7	32,39	ABC
COF-003-A2	1.176	ABCD	LB-A11	32,28	ABC
COF-004-A7	1.146	ABCD	COF-003-A2	32,10	ABC
Nestlé 1	1.143	ABCD	COF-004-A7	31,26	ABC
COF-001-A2	1.120	BCD	COF-001-A2	31,24	ABC
NP-3013	1.092	CD	NP-3013	31,22	ABC
COF-004-A15	1.081	CD	COF-004-A15	30,95	ABC
COF-005-A16	984	D	COF-003-A15	29,23	ABC
NP-2024-A10	978	D	NP-2024	28,99	BC
COF-003-A15	966	D	COF-005-A16	28,64	BC
NP-2024	965	D	LI-A13	28,34	C
LI-A13	906	D	NP-2024-A10	27,77	C

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Cuadro 5.8. Análisis de varianza por rangos de Kruskal y Wallis de la variable rendimiento en distintos años (A).

Años	n	$\bar{A}$	Medianas	$\bar{R}$	Rangos KW	H	p
2015	44	2.035	2.125	649,64	A	49,81	<0,0001
2016	177	1.194	959	432,51	B		
2017	219	1.296	949	456,15	B		
2018	250	962	844,5	372,09	C		
2019	178	1.391	873,5	444,33	B		

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

En el Cuadro 5.9 se exponen los análisis de varianza de Kruskal y Wallis, de Portoviejo, Pichilingue y del combinado de cinco localidades, constatándose diferencias significativas entre clones ( $p < 0,05$ ): En Pichilingue, los mejores clones fueron: LB-A10, LE-A1, NESTLE-2, NP-4024-A4, LT-A2 y COF-03-A7. En Portoviejo, se destacaron: COF-03-A7, COF-04-A15, NP-3013, LB-A10 y LQ-A3. En las cinco localidades, los mejores clones fueron: COF-03-A7, LB-A10, LE-A1, Nestlé 1, LQ-A3, NP 4024-A4, LE-A7, Nestlé 2 y LT-A2. El valor del estadístico de la prueba (H) alcanzó el valor:  $H=48,92$ , con un valor  $p=0,0005$  (\*\*), por consiguiente, hay diferencias significativas entre clones.

Cuadro 5.9. Análisis de varianza por rangos de Kruskal y Wallis de la variable rendimiento de clones de café robusta en las localidades Pichilingue (Los Ríos) y Portoviejo (Manabí).

Pichilingue			Portoviejo			Cinco localidades		
Clones	$\bar{R}$	Rangos KW	Clones	$\bar{R}$	Rangos KW	Clones	Rangos	KW
LB-A10	196,40	A	COF-003-A7	193,42	A	COF-03 A7	559,71	A
LE-A1	180,57	AB	COF-004-A15	155,65	AB	LB-A10	525,43	AB
NESTLE-2	167,31	ABC	NP-3013	149,33	AB	LE-A1	524,20	AB
NP-4024-A4	164,33	ABC	LB-A10	148,75	AB	Nestlé 1	494,67	ABC
LT-A2	156,35	ABCD	LQ-A3	147,92	AB	LQ-A3	491,21	ABC
COF-003-A7	155,92	ABCD	NP-4024-A4	129,46	BC	NP-4024-A4	481,88	ABC
NESTLE-1	149,44	ABCDE	LE-A7	127,75	BC	LE-A7	474,93	ABC
COF-003-A2	146,69	ABCDE	COF-001-A2	124,00	BC	Nestlé 2	467,82	ABC
COF-004-A7	142,65	ABCDE	LE-A1	122,50	BC	LT-A2	454,00	ABC
LB-A11	140,00	ABCDE	LB-A11	119,96	BC	NP-3018-A19	447,71	ABC
LE-A7	136,96	ABCDE	LF-A7	117,46	BC	COF-03-A2	432,36	ABC
NP-3018-A19	127,92	BCDEF	COF-003-A2	115,21	BC	LF-A7	431,18	ABC
COF-001-A2	120,27	CDEF	COF-004-A7	103,96	BC	LB-A11	430,45	ABC
LQ-A3	116,77	CDEF	LT-A2	103,79	BC	COF 04 A7	416,22	ABC
NP-2024-A10	109,92	CDEF	COF-003-A15	102,38	BC	COF-01-A2	412,61	ABC
LF-A7	106,42	CDEF	COF-005-A16	98,63	BC	NP-3013	408,47	ABC
COF-004-A15	102,64	CDEF	NP-3018-A19	88,54	C	COF-04 A15	408,20	ABC
NP-3013	100,00	CDEF	NP-2024	86,50	C	COF-03-A15	378,62	ABC
LI-A13	97,00	DEF	LI-A13	85,58	C	NP 2024 A10	369,46	ABC
NP-2024	83,95	EF	NP-2024-A10	75,25	C	NP 2024 A10	343,00	ABC
COF-005-A16	83,73	EF	--			LI-A13	341,26	ABC
COF-003-A15	77,75	F	--			COF-005-A16	339,63	ABC

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Los cambios en el orden de los rangos de los clones, entre una localidad y otra, indican que hay interacción genotipo x ambiente (IGA), por consiguiente, se evidencia una reducción o ausencia de estabilidad. El parámetro estabilidad permite ajustar los genotipos según su capacidad productiva, adaptada a la más amplia variación ambiental (Giménez y col., 2000).

### 5.1.3. Estimación de la estabilidad usando el modelo de Finlay y Wilkinson

El modelo de Finlay y Wilkinson se basa en la regresión lineal de los promedios de todos los clones  $i$  en los ambientes  $j$ ,  $(\bar{G})$ , y el promedio del clon específico ( $G_i$ ), en los ambientes evaluados. El único clon con adaptación en ambientes desfavorables y estabilidad alta resultó: COF-003-A7. Un grupo de clones tiene adaptabilidad a ambientes favorables con estabilidad media: NP-3018-A19, NESTLE-2, LQ-A3, LE-A7 y NESTLE-1. Hay un grupo de clones con estabilidad baja: LT-A2, NP-4024-A4, LB-A10 y LE-A1 (Figura 5.2). Nascimento y col. (2010) usaron el método de regresión no paramétrica para determinar la estabilidad fenotípica de 40 genotipos de café robusta, concluyendo que hay respuestas diferenciadas para un ambiente específico. Además, el mismo autor indica que el método de regresión no paramétrico permitió realizar una selección segura de varios genotipos de café robusta, en Brasil.

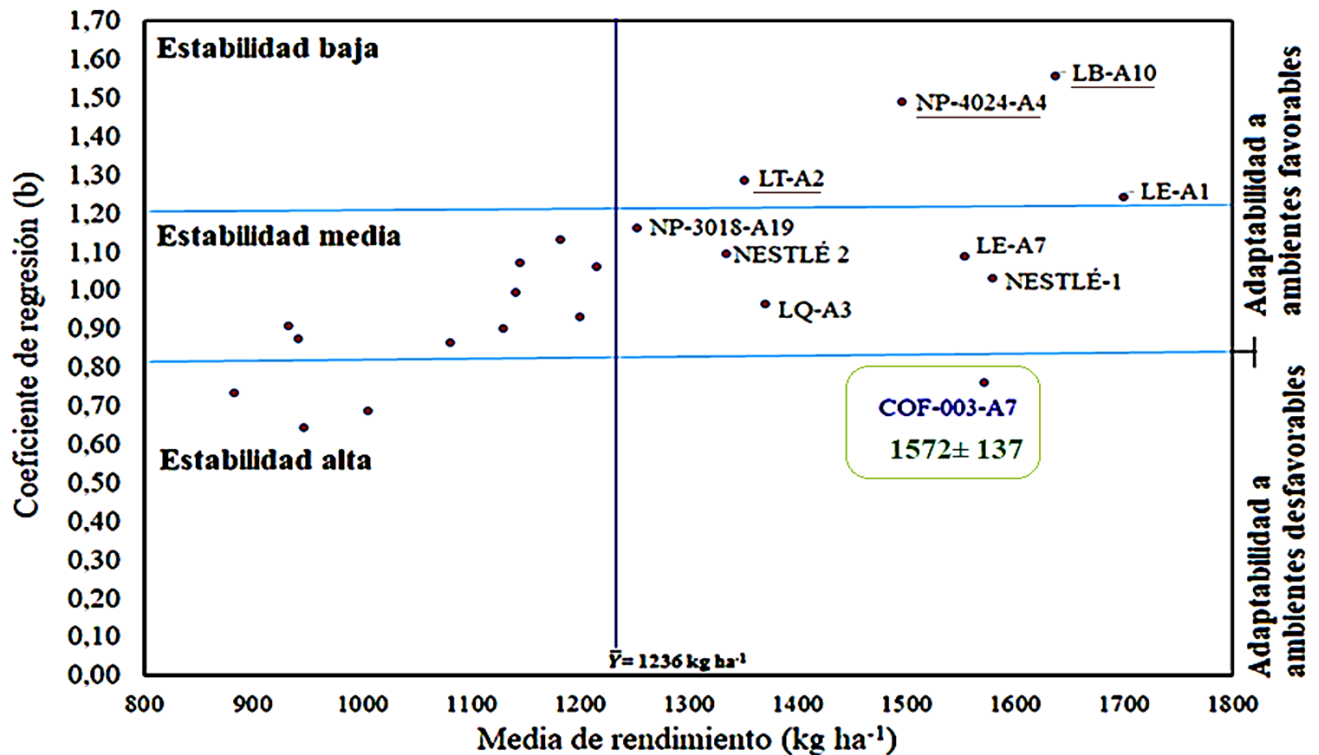


Figura 5.2. Estabilidad genética de los clones de café robusta en base al modelo Finlay y Wilkinson.



#### 5.1.4. Estimación de la estabilidad usando el modelo de Eberhard y Russell

Las diferencias en productividad entre localidades es la manifestación de la influencia de los factores ambientales (fertilidad del suelo, prácticas de manejo, condiciones edafoclimáticas e incidencia de plagas). Los parámetros de Eberhart y Russel, se exponen en el Cuadro 5.10. Los datos se transformaron a dos categorías: 1= debajo de la media y 3 = arriba de la media (nótese, no se asignó el valor 2); el coeficiente de determinación  $R^2$ , se calificó con 1 si tiene valores debajo de 0,75 y se calificó como 2 si es superior a 0,75; pues  $R^2$  más cercano a 1 “es mejor”.

Cuadro 5.10. Promedio de rendimiento de los 22 clones de café robusta ( $\bar{G}_i$ ) y parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell ( $b$ ,  $\beta$  y  $S_d^2$ ), coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y agrupamiento en categorías con escala ordinal de los estadísticos promedio de rendimiento de los genotipos ( $\bar{G}_i'$ ), categorización del coeficiente de determinación ( $R^2'$ ) y de la varianza de las desviaciones ( $S^2d'$ ), valoración multicriterio ( $\sum MC$ ) y prioridad de selección.

Clones	$\bar{G}_i$ (kg. ha <sup>-1</sup> )	b	$\beta$	$S_d^2$	$R^2$	$\bar{G}_i'$ (1-3)	$R^2'$ (1-2)	$S^2d'$ (1-2)	$\sum MC$	Prioridad de selección
LE-A7	1.335	1,094	0,094	0,101	0,860	3	2	2	7	1
LE-A1	1.700	1,243	0,243	0,289	0,727	3	2	1	6	2
LB-A10	1.637	1,557	0,557	0,254	0,794	3	2	1	6	2
NESTLE-1	1.579	1,029	0,029	0,243	0,750	3	2	1	6	2
NP-4024-A4	1.497	1,490	0,490	0,321	0,774	3	2	1	6	2
LT-A2	1.351	1,284	0,284	0,156	0,845	3	2	1	6	2
COF-003-A7	1.572	0,760	-0,240	0,216	0,570	3	1	1	5	3
COF-004-A7	1.141	0,995	-0,005	0,117	0,814	1	2	2	5	3
COF-001-A2	1.130	0,899	-0,101	0,049	0,895	1	2	2	5	3
COF-004-A15	1.081	0,864	-0,136	0,093	0,805	1	2	2	5	3
NP-2024	1.005	0,686	-0,314	0,104	0,681	1	2	2	5	3
COF-003-A15	946	0,644	-0,356	0,047	0,815	1	2	2	5	3
NESTLE-2	1.554	1,089	0,089	0,585	0,581	3	1	1	5	3
LQ-A3	1.370	0,963	-0,037	0,386	0,544	3	1	1	5	3
NP-3018-A19	1.253	1,162	0,162	0,474	0,585	3	1	1	5	3
LB-A11	1.182	1,131	0,131	0,207	0,714	1	2	1	4	4
NP-3013	1.145	1,071	0,071	0,170	0,762	1	2	1	4	4
NP-2024-A10	933	0,907	-0,093	0,156	0,732	1	2	1	4	4
COF-003-A2	1.215	1,060	0,060	0,124	0,824	1	2	1	4	4
LF-A7	1.200	0,931	-0,069	0,210	0,024	1	1	1	3	5
COF-005-A16	941	0,874	-0,126	0,247	0,573	1	1	1	3	5
LI-A13	883	0,734	-0,266	0,162	0,623	1	1	1	3	5
$\bar{Y}$ (kg. ha <sup>-1</sup> )	1.236									

En la desviación de la regresión al cuadrado, si  $S^2d > 0,20$  se valoró con 1; si  $S^2d \approx$  de 0 a 0,20 (mayor estabilidad) valorando con 2 puntos. La prioridad de selección se definió en base a  $\sum MC$ , el clon con mayor puntaje se asigna como prioridad 1, y así sucesivamente. El clon LE-A7, ocupó la prioridad 1, que en el modelo de Finlay y Wilkinson tiene estabilidad media. El COF-03-A7, según Finlay y Wilkinson tuvo mayor estabilidad. Los modelos de Lin y Binns y Eberhard y Russell, presentaron resultados similares, según informan Rocha y col. (2015).

### 5.1.5. Estimación de la estabilidad usando el modelo Lin y Binns

El modelo de Lin y Binns, tiene la característica de incluir el concepto de índice ambiental, reconociendo que los clones (factor genético) responden de distintas maneras en entornos diferentes (factor ambiente). El factor ambiente no solo involucra el suelo y clima, sino también el manejo del cultivo. El índice ambiental referido a las localidades, indican que Pichilingue y Macas tienen condiciones más favorables para el cultivo de café robusta. Los índices ambientales para genotipos permitieron identificar como clones de alta adaptabilidad los siguientes: LB-A10, LE-A1, COF-03-A7, NP-4024-A4, NP-3018-A19, LT-A2, LQ-A3, Nestlé 2 y LE A7 (Figura 5.3). El índice de superioridad de Linn y Binns, identifica como clones mejor producción y estabilidad genética, los siguientes: LB-A10, LT-A2, LE-A1, LE-A7, COF-003-A7, LF-A7 y NP-4024-A4 (Cuadro 5.11).

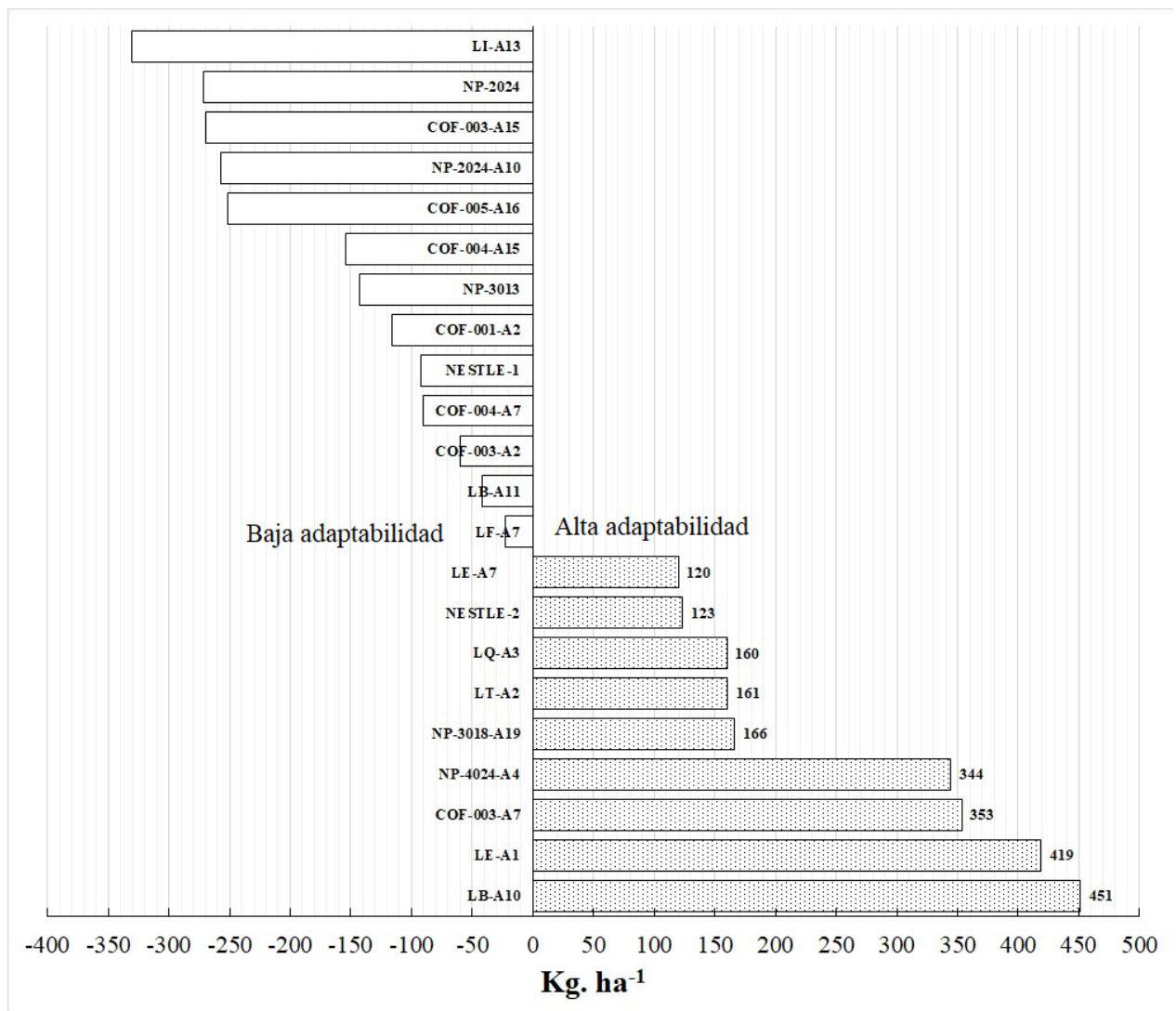


Figura 5.3. Índices ambientales de cinco localidades cafetaleras y 22 genotipos de robusta.

En café robusta, hay una alta divergencia genética por las condiciones de alogamia de la especie (Gonçalves y col., 2008; Loor y col., 2017). Las cosechas, año tras año, expresan un comportamiento diferenciado de genotipos en el tiempo, escenario en el cual, debe considerarse varios métodos para interpretar el efecto de las interacciones (Rocha y col., 2015), quienes usaron la metodología de Lin y Binns, considerando que es una técnica de análisis no paramétrico, que se basa en el índice de superioridad  $P_i$ , calculado como la distancia cuadrática promedio entre el clon  $i$ -ésimo y aquel con una respuesta máxima en  $j$ -ésima cosecha.

Cuadro 5.11. Índice de superioridad ( $P_i$ ) de los clones  $G_i$  mediante el método de Lin y Binns.

Clones	n	$\Sigma G_i$	$\bar{G}_i$ kg. ha <sup>-1</sup>	Índice de superioridad $P_i$	Prioridad de selección
LB-A10	41	7.952	1.637	0,0	1
LT-A2	43	6.618	1.351	2,2	2
LE-A1	41	6.377	1.700	3,2	3
LE-A7	47	6.179	1.335	3,5	4
COF-003-A7	41	6.068	1.572	4,5	5
LF-A7	48	5.801	1.200	5,0	6
NP-4024-A4	40	5.757	1.497	6,3	7
NP-3013	43	5.323	1.145	8,4	8
COF-001-A2	48	5.163	1.130	8,5	9
COF-003-A2	42	5.344	1.215	8,5	9
LQ-A3	40	5.377	1.370	8,7	10
COF-004-A7	45	5.135	1.141	9,2	11
LB-A11	42	5.229	1.182	9,3	12
COF-004-A15	43	4.978	1.081	10,8	13
NP-2024	42	4.949	1.005	11,3	14
NP-3018-A19	41	4.867	1.253	12,2	15
NP-2024-A10	39	4.391	933	17,1	16
COF-003-A15	43	3.820	946	20,8	17
COF-005-A16	38	3.741	941	24,6	18
LI-A13	37	3.495	883	28,4	19
NESTLE-2	13	2.668	1.554	126,9	20
NESTLE-1	11	2.400	1.579	171,2	21

Abbott y Pistorale (2011) informan que los modelos Eberhart y Russell y Lin y Binns dieron resultados coincidentes en la estimación de la estabilidad, pero este último tiene la ventaja de la facilidad para analizarlo e interpretarlo. Santana y col. (2020), reportan la ocurrencia de las interacciones genotipo  $\times$  ambiente durante la evaluación de genotipos de robusta; así mismo, da a conocer que las técnicas no paramétricas como la propuesta de Lin y Binns (1988) han sido apropiadas para identificar genotipos de adaptabilidad amplia o específica. En el estudio de clones de café robusta, donde hubo un desbalance de los datos en clones, localidades y años, se adaptó el modelo relacionando la suma total de los clones  $i$  en los ambientes  $j$  relacionándolo con el número total de observaciones. La característica fisiológica del café robusta identificada como alternancia bienal de la cosecha hace que las variaciones entre genotipos sean más evidentes.

#### 5.1.6. Modelo AMMI

El primer componente representó el 58,3 % de la varianza total y el segundo eje representó el 26,9%. Los dos primeros componentes explican 85,2% de la variabilidad total del rendimiento, en las cinco localidades. Los clones más estables en lo referente a localidades fueron: LI-A13, LE-A7, NP-3018-A19, NP-2024-A10, LQ-A3 y COF-01-A2. El clon más estable y de mayor producción resultó NP-2024-A10. Los clones con mayor interacción genotipo  $\times$  ambiente fueron: LB-A10, LE-A1, LT-A2 y NP-4024-A4. Los tres primeros de rendimientos altos en la localidad Pichilingue (Figura 5.4).

El análisis AMMI, señalan Lozano y col. (2015), permite identificar las localidades de alta interacción genotipo  $\times$  ambiente, como lo probaron en Guatemala, México y Nicaragua, en maíz, donde se asocia la respuesta de los genotipos de mayor rendimiento a los ambientes específicos (González y col., 2007). Esta misma situación se pudo evidenciar con los clones LB-A10, LE-A1 y NP-4024 A4, en Pichilingue.

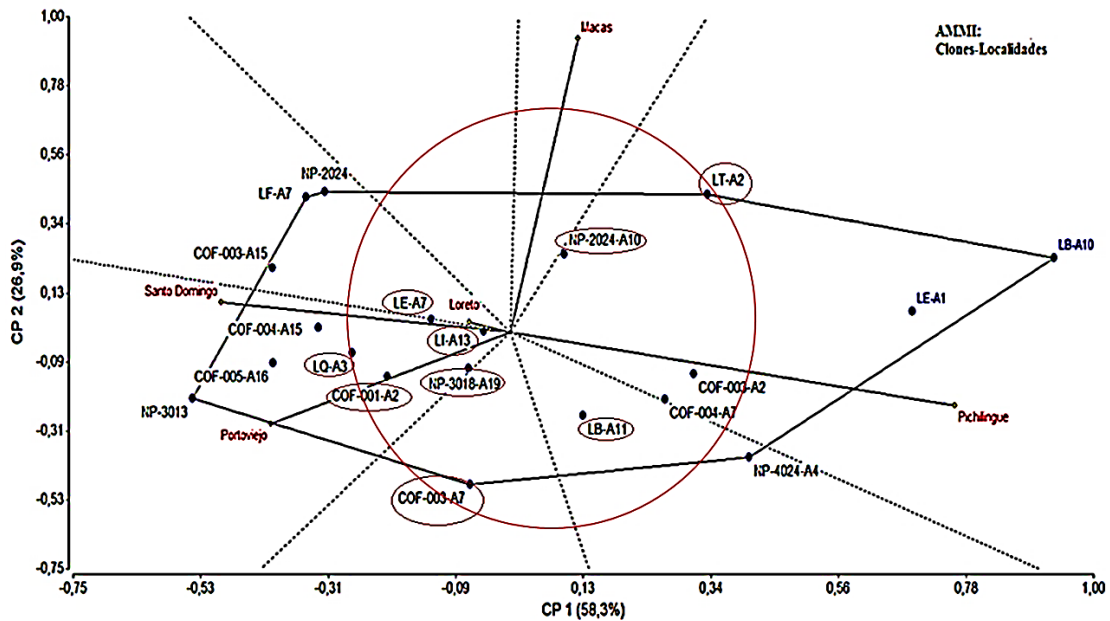


Figura 5.4. Estabilidad del rendimiento de 22 clones de café robusta en cinco localidades del Ecuador.

- Estabilidad de clones de robusta en Loreto

El CP1 explica el 65,1% y el CP2 el 26,6% de la variación total, En lo referente a los años de cosecha, el clon más estable fue: LI-A13, que resulta más adecuado a nivel de localidades y años. Los clones COF-01-A2 y COF-03-A7 tienen la mayor interacción genotipo x ambiente, aunque con promedios de rendimiento muy altos en 2018. Por producción se destacan los clones como: NP-3018-A19, NP-3013, COF-04-A15 y COF-03-A2 (Figura 5.5).

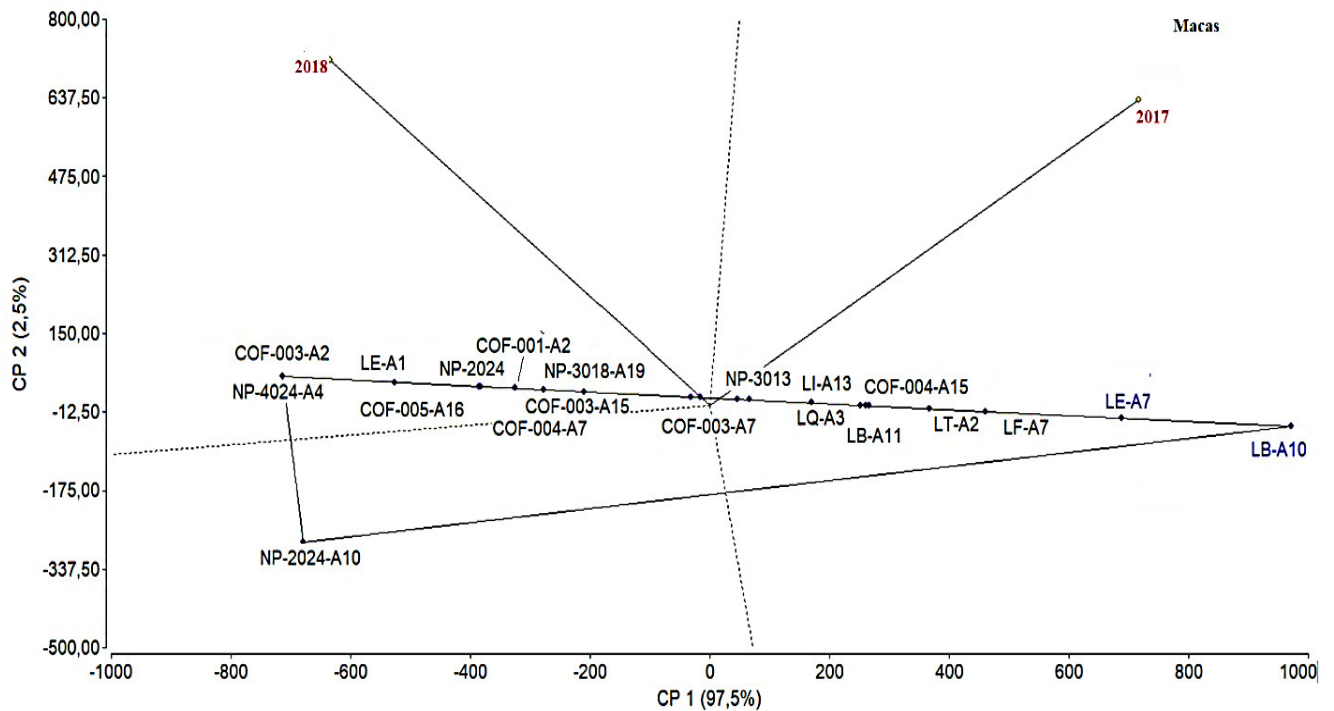


Figura 5.5. Estabilidad de clones de café robusta en Loreto, en distintos años.

- Estabilidad de clones de robusta en Macas

El CP1 explica el 97,5% y el CP2 el 2,5% de la variación total. Esto significa que los dos componentes principales explican toda la varianza de la localidad Loreto, donde solo se evalúan dos años consecutivos de cosecha. Los clones más estables fueron: NP-3013 y COF-03-A7. Hay clones de interés productivo como: LI-A13 y LQ-A3. Los clones LB-A7 y LB-A10 tienen la mayor interacción genotipo x ambiente, aunque con promedios de rendimiento muy altos en 2017, en Macas (Figura 5.6).

- Estabilidad de clones de robusta en Pichilingue

El CP1 explica el 50,8% y el CP2 el 26,4% de la variación total, lo que equivale al 77,2% de la contribución a la varianza total en esta localidad. Los clones más estables fueron: COF-03-A15, COF-01-A2, COF-03-A7 y NP-2024. El clon NP-3018-A19 tiene la más alta interacción genotipo x ambiente, con la más alta producción en 2018. En 2016, se destacó el clon LI-A3 y COF-01-A2 (Figura 5.7).

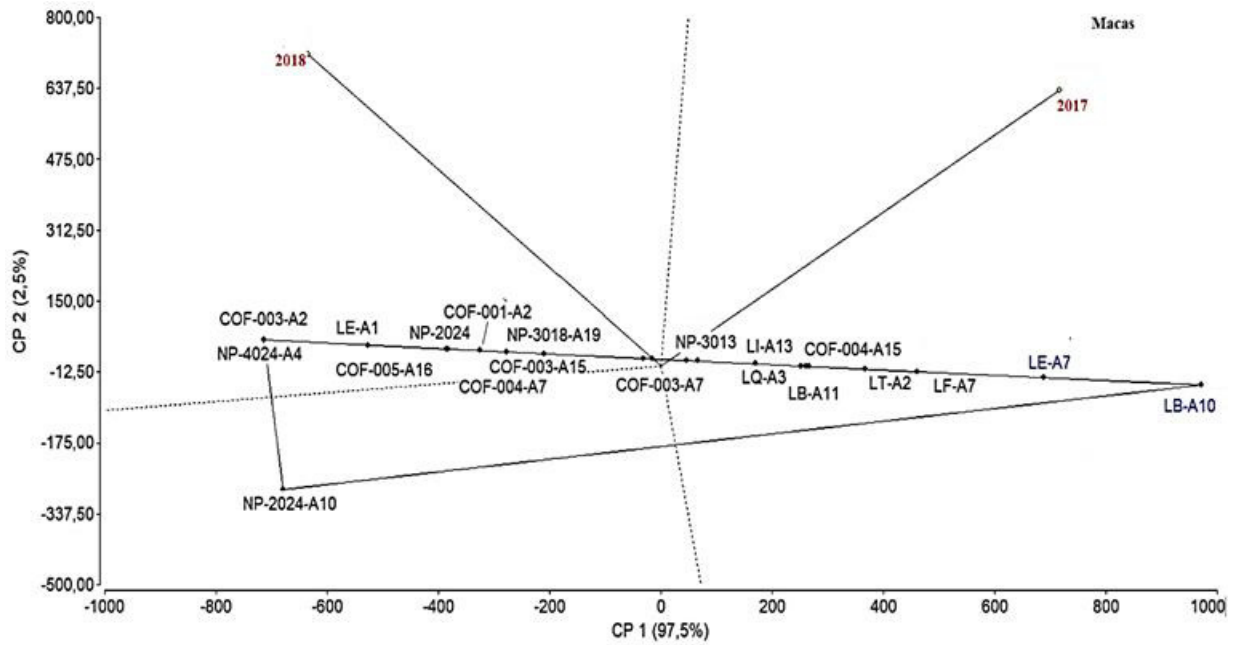


Figura 5.6. Estabilidad de clones de café robusta en Macas, en distintos años.

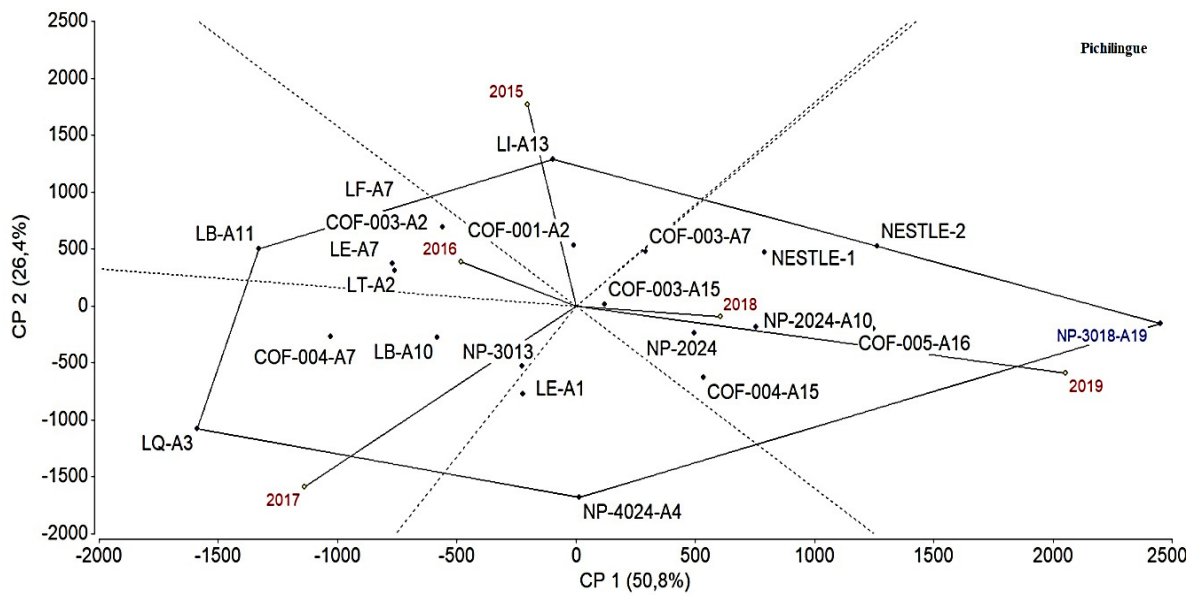


Figura 5.7. Estabilidad de clones de café robusta en Pichilingue, en distintos años.

- Estabilidad de clones de robusta en Portoviejo

El CP1 explica el 65,1% y el CP2 el 26,6% de la variación total, lo que equivale al 91,7% de la contribución a la varianza total del rendimiento, en esta localidad. El clon más estable fue: LI-A13. La más alta interacción genotipo x ambiente con altos rendimientos en 2018, en Portoviejo, fueron los clones: COF-03-A7, COF-01-A2 (Figura 5.8).

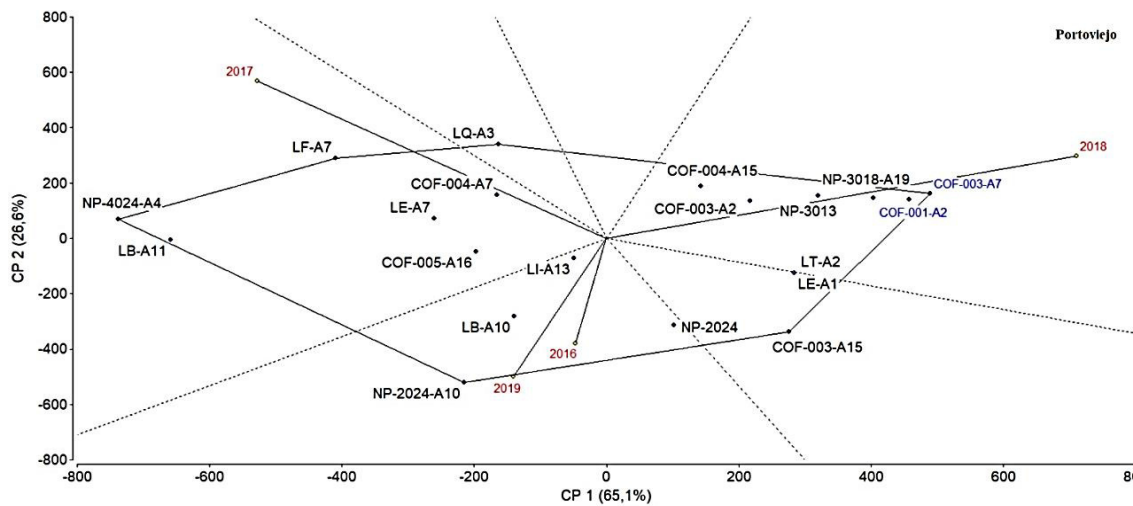


Figura 5.8. Estabilidad de clones de café robusta en Portoviejo en distintos años.

Estabilidad de clones de robusta en Santo Domingo. - El CP1 explica el 67,0% y el CP2 el 29,4% de la variación total, esto significa una contribución del 96,4% a la varianza total del rendimiento, en esta localidad. Los clones más estables fueron: LF-A7, NP-3018-A19, LB-A11, COF 01-A2 y COF-03-A2. La más alta interacción genotipo x ambiente muestran los clones: COF-05-A16, NP-3013 y LT-A2 que se asocian a la cosecha del 2019, en Santo Domingo (Figura 5.9).

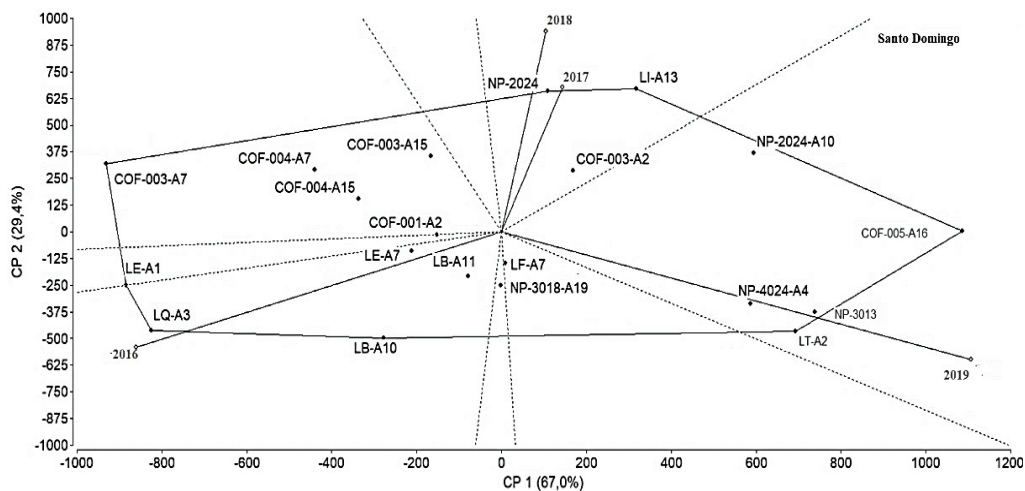


Figura 5.9. Estabilidad de clones de café robusta en Santo Domingo en distintos años.



### 5.1.7. Estimación del parámetro estabilidad del rendimiento usando el modelo PROMVAR

El modelo PROMVAR se fundamenta en la relación entre las medias aritméticas de cada genotipo para la variable rendimiento y sus proporciones de error típico. Cuando la variable cuantitativa continua corresponde al tipo “mayor es mejor” como el “rendimiento”, se procura un valor arriba del promedio general y una variabilidad relativa inferior a la media general. Cabe destacar que si la variable de interés fuese del tipo “menor es mejor”, como la incidencia de roya del cafeto, con el modelo PROMVAR, en la interpretación del gráfico se procuraría identificar los genotipos localizados en la celda izquierda inferior. Considerando como valores críticos: PROM  $\bar{Y}=1.236 \text{ kg.ha}^{-1}$  y VAR=13,0%. Los genotipos con rendimientos  $> \bar{Y}=1.236 \text{ kg.ha}^{-1}$  y  $< \text{VAR}=13\%$  fueron: LE-A1; LB-A10, COF-03-A7, NP-4024-A4, LE-A7, LT-A2, LQ-A3 y NP-3018-A19 (Figura 5.10).

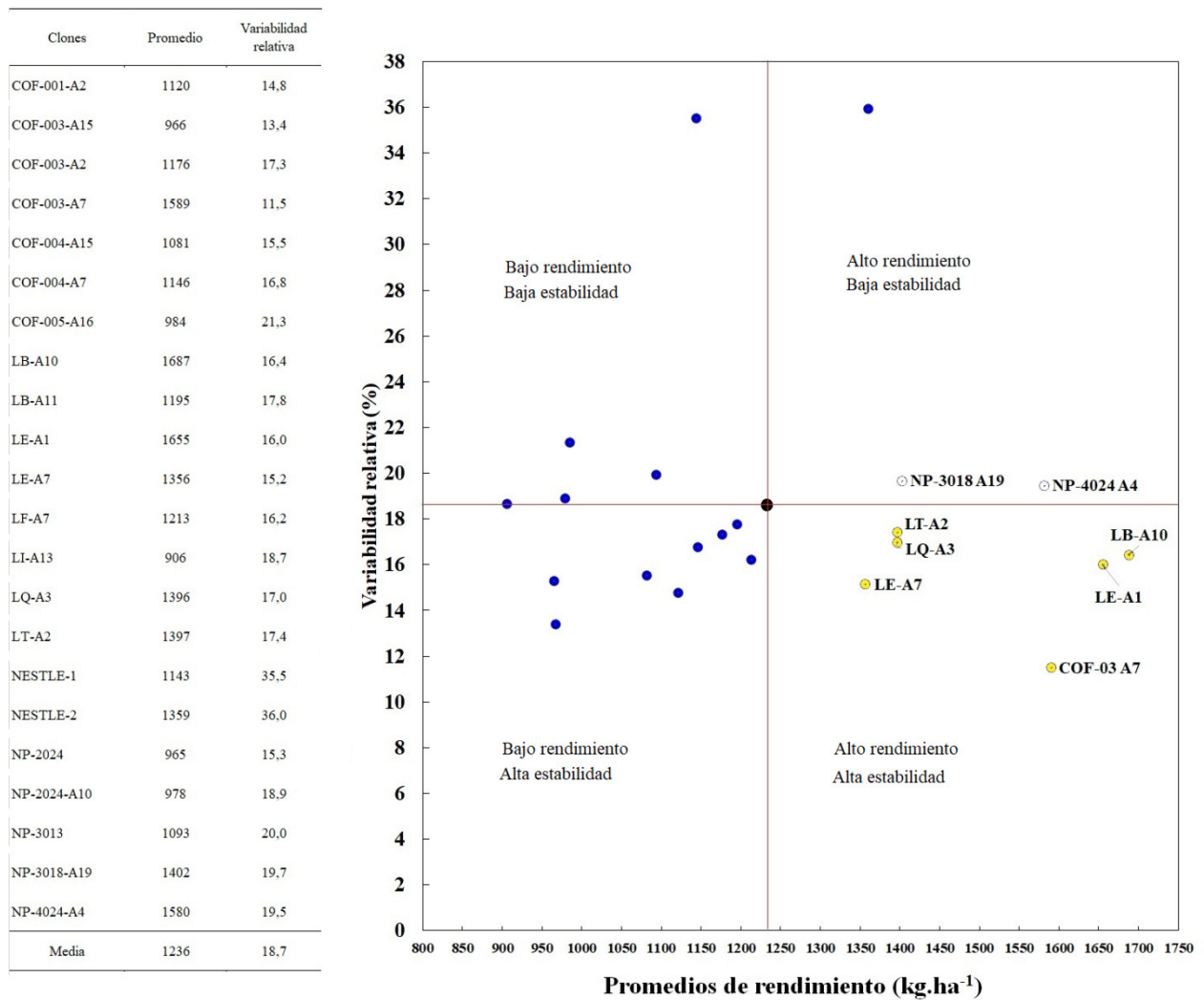


Figura 5.10. Diagrama de cuatro celdas en clones de café robusta en distintos años.

- Modelo PROMVAR en la localidad Loreto

Se determinó que el promedio de rendimiento y la media de variabilidad relativa están muy alejados de los valores de referencia:  $\bar{Y}=1.236 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  y  $\text{VAR}=13\%$ . Los genotipos de robusta en Loreto no pueden expresar todo su potencial productivo por dos factores de la producción complementarios: características del ambiente (suelo, clima) y manejo del cultivo. El cantón Loreto, en la provincia de Orellana, distintas entidades promueven el cultivo de café robusta, sin embargo, se evidencia como limitante crítico a la tecnología de manejo.

Los clones con un comportamiento que se aproxima a los parámetros de referencia, en la media general de rendimiento y en el promedio de la variabilidad relativa, fueron: LB-A10, COF-04-A7, LT-A2, COF-03-A2 y LE-A7 (Figura 5.11). Esto conlleva a deducir que en la localidad Loreto, se requiere de más tiempo de información productiva para tomar una decisión definitiva.

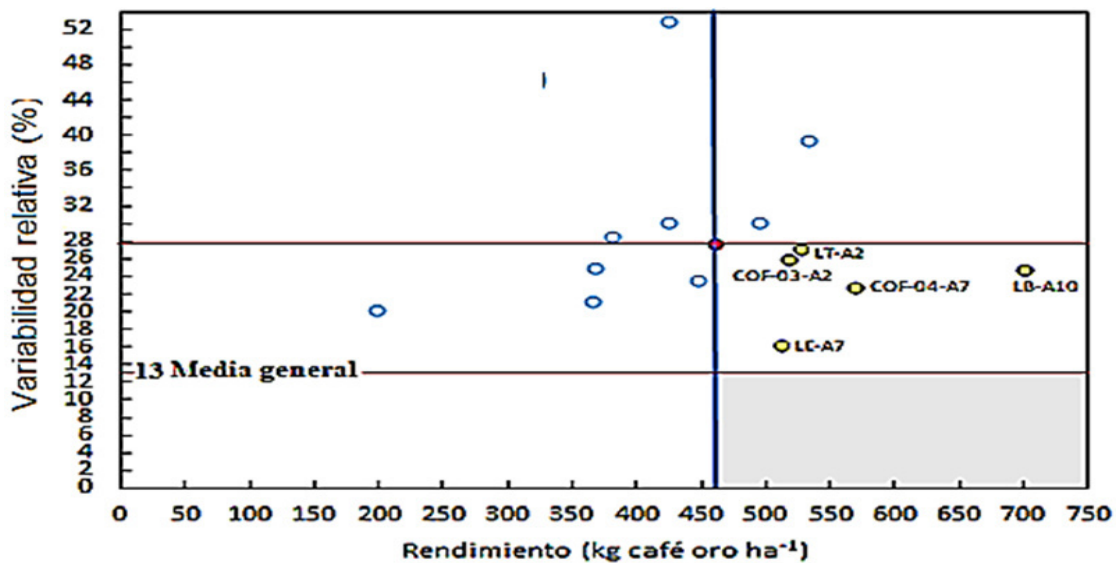


Figura 5.11. Diagrama de cuatro celdas en clones de café robusta de Loreto.

- Modelo PROMVAR en la localidad de Macas

Se determinó que el clon LT-A2 es el único que se enmarca en los parámetros de referencia:  $\text{PROM}=1.236 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  y  $\text{VAR}=13\%$ . Los clones con un comportamiento que se aproxima a los parámetros de referencia, en la media general de rendimiento y en la variabilidad relativa, fueron: LB-A10 y LE-A7 que cumplen la condición de tener mayor valor que la media de rendimiento, pero sobrepasan el límite de variabilidad relativa (Figura 5.12). Los tres clones indicados tienden a mostrar un comportamiento aproximadamente similar en Loreto y Macas. Esto conlleva a deducir que en la localidad Macas, también se requiere de más tiempo de información productiva para tomar una decisión definitiva.

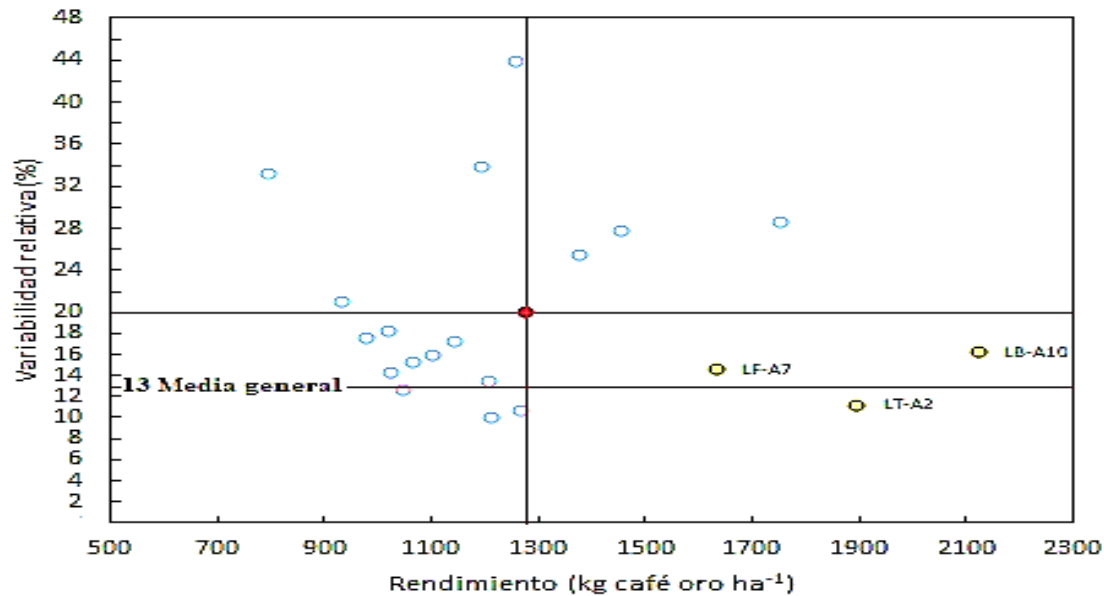
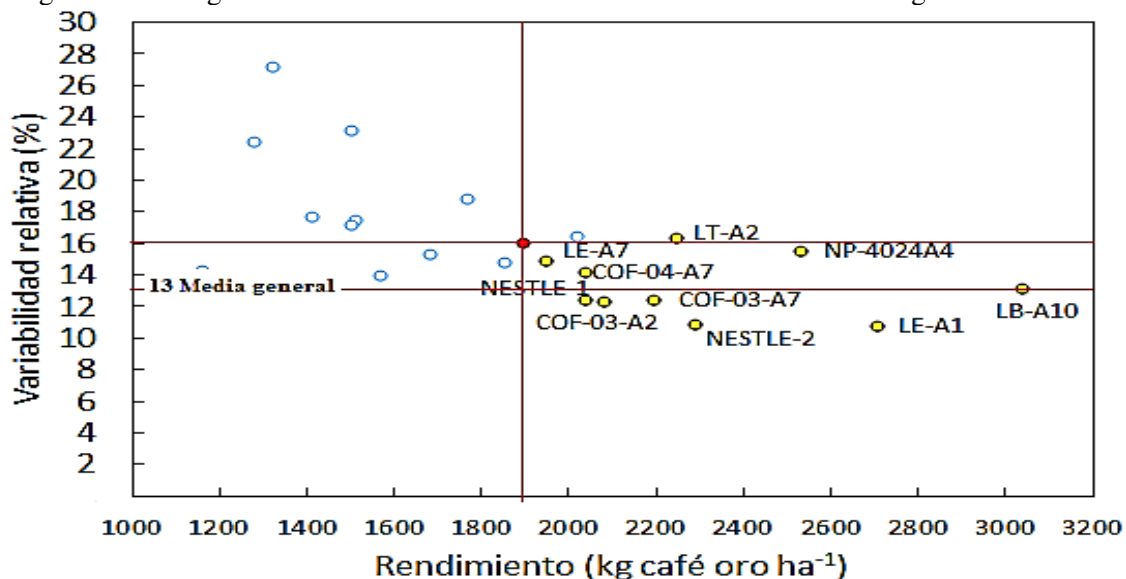


Figura 5.12. Diagrama de cuatro celdas en clones de café robusta de Macas.

- Modelo PROMVAR en la localidad Pichilingue

Se determinó que los clones: LB-A10, LE-A1, COF-03-A7, COF-03-A2 y Nestlé-1 y Nestlé-2, se enmarcan en los parámetros de referencia: PROM > 1236 kg·ha<sup>-1</sup> y <VAR = 13%. Los clones que sobrepasan el promedio de rendimiento usado como referencia general, pero tienen una variabilidad relativa ligeramente mayor que nivel crítico del 13% (hasta el 16%) fueron: LE-A7, COF-04-A7, LT-A2 y NP4024-A4 (Figura 5.13).

Figura 5.13. Diagrama de cuatro celdas en clones de café robusta de Pichilingue.



Modelo PROMVAR en la localidad Portoviejo. - Se destacan, cumpliendo los parámetros de referencia: promedio de rendimiento  $>\bar{Y}= 1\ 236\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  y  $< \text{VAR}=13\%$  los siguientes clones: LB-A10, NP-3013 y COF-03-A7. Los clones: LE-A1, LQ-A3 y LE-A7, sobrepasan el promedio de rendimiento usado como referencia, pero tienen una variabilidad relativa que supera ligeramente  $<\text{VAR}=16\%$  (Figura 5.14).

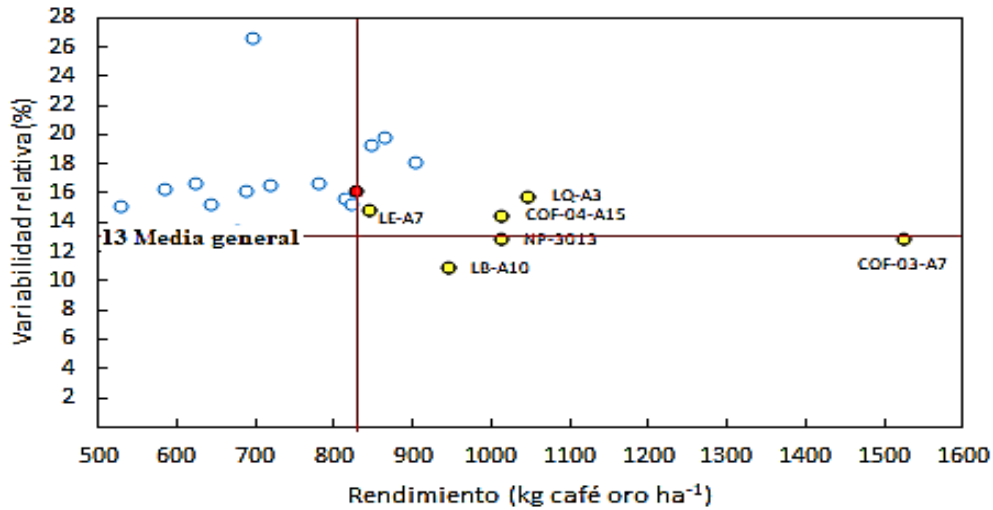


Figura 5.14. Diagrama de cuatro celdas en clones de café robusta de Portoviejo.

- Modelo PROMVAR en la localidad Santo Domingo de los Tsáchilas

Se evidenció que había clones de rendimientos altos, sin embargo, la variabilidad relativa fue muy alta. Los clones que sobresalen en producción con la menor variabilidad relativa fueron: LE-A7 y COF-03-A2 (Figura 5.15). Los clones con altos rendimientos y reducida estabilidad (alta variabilidad relativa) que deberían continuarse evaluando son: LF-A7, LB-A10, LQ-A3 y NP-3018-A19.

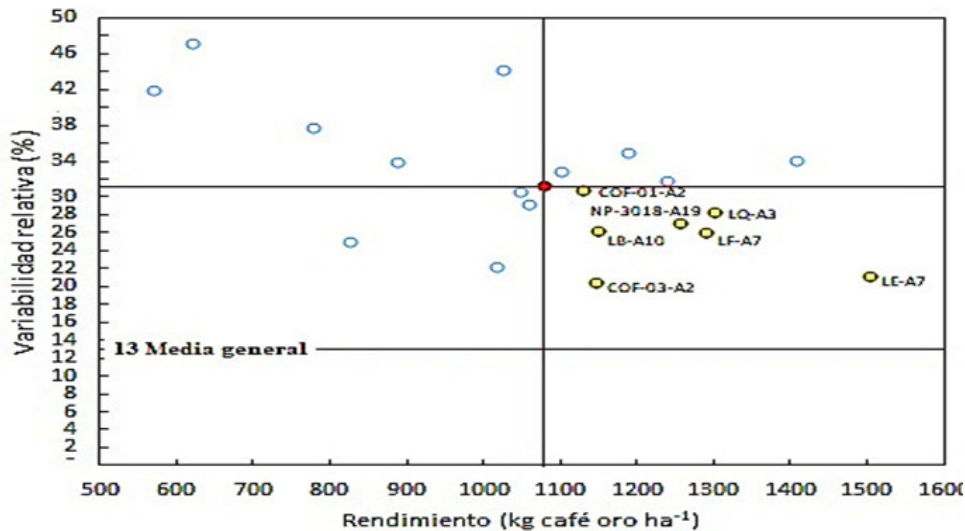


Figura 5.15. Diagrama de cuatro celdas en clones de café robusta de Santo Domingo.

### 5.1.8. Comparación entre modelos estadísticos usados para la estimación del parámetro estabilidad

La comparación de los modelos usados para calcular el parámetro estabilidad del rendimiento de los 22 clones en las cinco localidades y la prueba ji cuadrada, se expone en el Cuadro 5.12. Los resultados del modelo PROMVAR se compararon con los de otros modelos, considerando que tuvo la frecuencia absoluta más alta, similar al obtenido usando el ANDEVA de Kruskall y Wallis. Estos dos modelos mostraron el 100% de coincidencia. El modelo PROMVAR con el modelo Finlay y Wilkinson coincidió en 50%: Los modelos PROMVAR, Eberhart y Russel, Lin y Binns y AMMI coincidieron en el 62,5%.

Cuadro 5.12. Comparación entre modelos estadísticos usados para estimar la estabilidad del rendimiento de clones de café robusta.

	Kruskall y Wallis	Finlay y Wilkinson	Eberhart y Russell	Lin y Binns	AMMI	PROMVAR	Frecuencia	Coincidencia del clon y modelos (%)
LE-A7	LE-A7	LE-A7	LE-A7	LE-A7	LE-A7	LE-A7	6	100
COF-03 A7	COF-003-A7			COF-003-A7	COF 03-A7	COF-03-A7	5	83
LT-A2			LT-A2	LT-A2	LT-A2	LT-A2	5	83
NP-3018-A19	NP-3018-A19				NP 3018 A19	NP-3018-A19	4	67
LQ-A3	LQ-A3				LQ-A3	LQ-A3	4	67
LE-A1			LE-A1	LE-A1		LE-A1	4	67
LB-A10			LB-A10	LB-A10		LB-A10	4	67
NP-4024-A4			NP-4024-A4			NP-4024-A4	3	50
<b>Frecuencia</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>8</b>		
<b>Coincidencia con PROMVAR (%)</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>62,5</b>	<b>62,5</b>	<b>62,5</b>			
<b>p chi cuadrado</b>	<b>1,00</b>	<b>0,046</b>	<b>0,180</b>	<b>0,180</b>	<b>0,180</b>			
<b>Significación respecto de PROMVAR</b>	<b>NS</b>	<b>*</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>			

NS: Diferencia no significativa; \* Diferencia estadística significativa ( $p < 0,05$ )

Según el Análisis de Kruskall y Wallis y el modelo PROMVAR, los clones con mayor estabilidad fueron: LE-A7, COF-03 A7, LT-A2, NP-3018-A19, LQ-A3, LE-A1, LB-A10 y NP-4024-A4. El con LE-A7 fue identificado con alta estabilidad genética en todos los modelos. El clon COF-03-A7 no fue identificado en el modelo de Eberhart y Russel. LT-A2 no fue identificado en el modelo Finlay y Wilkinson. Los clones NP-3018-A19 y LQ-A3 no fueron identificados con los modelos Eberhart y Russell y Lin y Binns. LE-A1 y LB-A10 no fueron identificados con los modelos Finlay y Wilkinson y AMMI. El clon NP-4024-A4 no fue identificado como estable por los modelos Finlay y Wilkinson y Lin y Binns. Al respecto, González y col. (2007) informan que al comparar tres modelos de análisis de estabilidad en variedades algodón, no hubo coincidencias, los modelos Eberhart y Russell y AMMI dieron resultados distintos. Córdova (1991), señala

que, en híbridos de maíz, los modelos Eberhart y Russell y AMMI solo coincidieron en un 40%, en la identificación de genotipos estables.

Los parámetros estabilidad y adaptabilidad resultaron útiles para identificar cultivares, sin embargo, cabe tomar en consideración lo sugerido por Cattaneo y col. (2015), usando una combinación de métodos se pueden obtener mejores resultados. Adicionalmente, hay que tomar en cuenta que las poblaciones vegetales tienen una alta capacidad para adaptarse a los cambios ambientales (Cheng y col., 2016). En todos los casos, se evidenció cambios en las condiciones climáticas, que sin duda afectan por igual a todos los clones, en las localidades específicas. Según Mistro (2013), las condiciones climáticas adversas perjudican el proceso de selección, sugiriendo no incluir el período afectado en el análisis; sin embargo, la no inclusión de un segmento de la serie datos por adversidad climática, motivaría una reformulación de la hipótesis de investigación, pues se buscaría seleccionar genotipos solo condiciones de clima favorables.

## 5.2. Caracterización morfológica de 22 clones de café robusta

En el análisis descriptivo se enfatiza en dos variables: la altura de planta (AP) y la producción de café oro por planta (PCOP). La característica producción de café oro por planta, identificada como la de mayor importancia, se consideró como criterio fundamental del proceso de selección. En esta característica biológica, el mayor promedio fue registrado en Pichilingue con PCOP = 1 175 g, seguido de Macas (PCOP= 787 g), Santo Domingo (700 g), Portoviejo (514 g) y Loreto (282 g). Los promedios de las características morfológicas, en las cinco localidades, las unidades de medida y el tipo de variable, se exponen en el Cuadro 5.13. Las variables analizadas fueron: altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), número de ramas (NR), número de ramas productivas (NRP), longitud de rama productiva (LRP), número de nudos por rama (NNR), distancia entre nudos (DEN), grado de compactación (GC) y producción de café oro por planta (PCOP). Considerando PCOP como eje del proceso de selección, se ordenaron estas medias en forma descendente, observándose que hay un grupo de clones con PCO > 736 g, que corresponde a la media general, y fueron: LE-A1, LB-A10, COF-3-A7, NP-4024-A4, Nestlé 2, LQ-A3, LT-A2 y NP-3018-A19.

Cuadro 5.13. Promedios de las características fenotípicas: altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), número de ramas (NR), número de ramas productivas (NRP), longitud de rama productiva (LRP), número de nudos por rama (NNR), distancia entre nudos (DEN), grado de compactación (GC) y producción de café oro por planta (PCOP) de 22 clones de café robusta.

Clones	AP	DT	NR	NRP	LRP	NNR	DEN	GC	PCOP
	(cm) menor es mejor	(cm) mayor es mejor	mayor es mejor	mayor es mejor	(cm) mayor es mejor	mayor es mejor	(cm) menor es mejor	menor es mejor	(g) mayor es mejor
LE-A1	297	6,5	66	26	141	25	5,0	6,0	1.001
LB-A10	276	5,7	57	27	122	25	4,6	5,7	962
COF-003-A7	244	5,9	50	22	118	23	4,4	5,9	939
NP-4024-A4	283	5,8	61	24	110	21	4,5	5,8	916
NESTLE-2	281	5,2	81	38	138	27	5,4	3,6	870
LQ-A3	372	6,6	69	28	133	26	4,8	6,0	851
LT-A2	307	5,8	68	32	112	23	4,6	5,5	829
NP-3018-A19	337	6,4	75	28	126	24	4,6	5,3	820
LE-A7	258	5,3	57	22	108	22	4,3	5,2	772
LF-A7	246	5,3	53	21	103	22	4,3	5,5	730
NESTLE-1	223	4,1	75	31	111	20	5,9	3,1	728
COF-003-A2	266	5,6	56	22	118	21	4,8	5,8	670
LB-A11	338	6,4	67	34	128	22	5,7	6,4	649
COF-004-A7	289	5,9	61	25	123	23	5,2	6,3	640
COF-001-A2	311	6,0	73	30	129	24	4,8	5,3	636
NP-3013	282	5,5	62	25	124	25	4,4	5,6	633
NP-2024	275	5,7	56	25	115	21	5,1	5,7	613
COF-004-A15	242	5,6	56	25	118	24	4,8	4,9	612
COF-003-A15	304	5,9	77	28	125	24	4,3	5,2	608
COF-005-A16	316	6,4	74	23	140	24	4,9	5,5	590
LI-A13	322	6,4	76	26	136	23	5,4	5,1	556
NP-2024-A10	291	5,7	74	27	130	22	5,6	4,5	555
Media	289	5,8	66	27	123	23	4,9	5,4	736

Los estadísticos de las variables altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), número de ramas (NR), número de ramas productivas (NRP), longitud de rama productiva (LRP), número de nudos por rama (NNR), distancia entre nudos (DEN), grado de compactación (GC) y producción de café oro por planta (PCOP) de 22 clones de café robusta, a los 48 meses de edad, en cinco las localidades cafetaleras, se exponen en detalle en el Cuadro 5.14. La altura de planta (AP), en el caso del cultivo de café, se describe como “menor es mejor”, que se torna en un criterio fundamental para seleccionar genotipos de robusta.





Los cafetos de menor altura se observaron en Loreto (AP=209 cm) y los de mayor altura en Portoviejo (AP=330 cm). El diámetro del tallo o grosor, en cm, se considera del tipo “mayor es mejor” y en Santo Domingo los cafetos tuvieron mayor grosor (DT=6,84 cm). El número de ramas es una variable discreta del tipo “mayor es mejor”, en Pichilingue se registró el promedio más alto (NR=88). El número de ramas productivas por cafeto resultó con promedios más altos en Macas y Pichilingue (NRP=35).

La longitud de la rama productiva, en cm, también del tipo “mayor es mejor”, alcanzó el mayor promedio (LRP=142 cm) en Pichilingue. El número de nudos por rama, una variable discreta del tipo “mayor es mejor”, en Pichilingue alcanzó el mayor promedio (NNR=28). La distancia entre nudos, en cm, definida en el tipo “menor es mejor” alcanzó su promedio más alto en Macas (DEN=2,2). El Grado de compactación, un índice que se basa en la relación entre altura de planta y número de ramas del cafeto, se enmarca en el tipo “menor es mejor”, siendo Loreto y Pichilingue las localidades con menores promedios (GC=3,5 y GC=4,1, respectivamente).

Algunos investigadores como: Plaza y col. (2015) y Duicela y col. (2016) enfatizan en la selección de clones de café robusta por alta productividad y de porte bajo del cafeto. Los clones de reducida altura de planta (AP<250 cm) deben ser seleccionados para cada localidad, siempre que, además, reúna las características productivas y de calidad. Un cultivar de porte bajo y alta producción individual por planta puede cultivarse en mayores densidades poblacionales, en la perspectiva de incrementar la productividad por hectárea, además, se facilita las podas y cosecha. Sin embargo, en los procesos de selección de clones de café robusta no se ha considerado la estimación del parámetro genético estabilidad del rendimiento, por consiguiente se evidencia los riesgos inherentes a la inestabilidad en localidades y cambios en el entorno.

Considerando a la característica Altura de planta, como una de las variables críticas claves en la selección de clones de café robusta. En Loreto, los clones de robusta con promedios AP <200 cm, fueron: Nestlé 1, LE-A7, LF-A7, LB-A10 y COF-03-A2 (Figura 5.16). En Macas, los clones con promedios AP<200 cm fueron: COF-03-A7, LE-A7 y LF-A7 (Figura 5.17). En Pichilingue, la altura de planta, en general, alcanzó valores promedios altos, siendo los clones de menor tamaño, con AP <300 cm: COF-03-A7, COF-04-A7, LF-A7, LE-A7, NP-4024-A4 y Nestlé-1 (Figura 5.18). En Portoviejo, los promedios de altura de planta también fueron altos. Los clones de menor porte (AP <300 cm), fueron: COF-03-A7 y COF-04-A15 (Figura 5.19). En Santo Domingo, los clones con AP < 300 cm, fueron: LE-A1, LF-A7, LE-A7, NP-4024-A4, COF-03-A7 y COF-04-A15 (Figura 5.20). El comportamiento de los clones, en altura de planta (AP), varía entre las localidades. Para los programas de fitomejoramiento de café robusta, se consideran inconvenientes los genotipos con AP>400 cm.

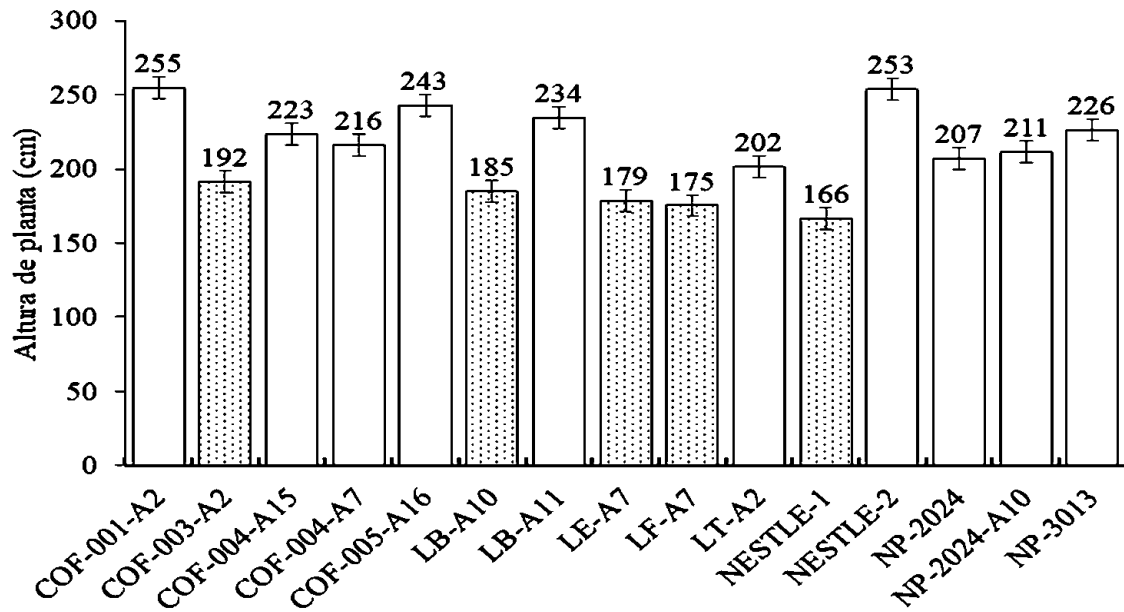


Figura 5.16. Altura de planta en clones de café robusta en Loreto, Provincia Orellana.

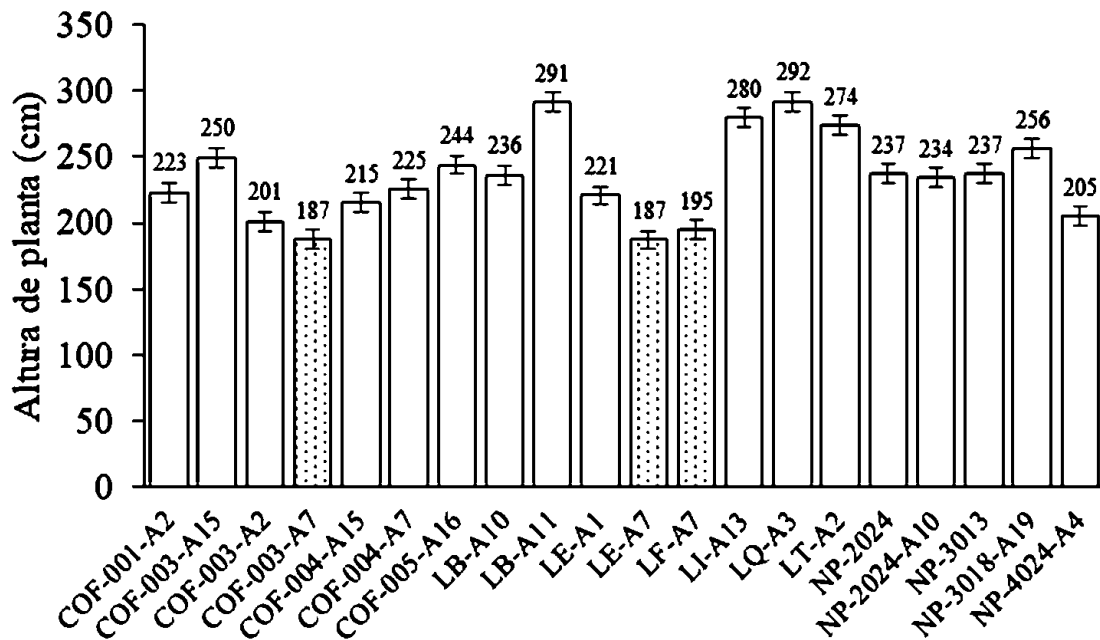


Figura 5.17. Altura de planta en clones de café robusta en Macas, Provincia Morona Santiago.

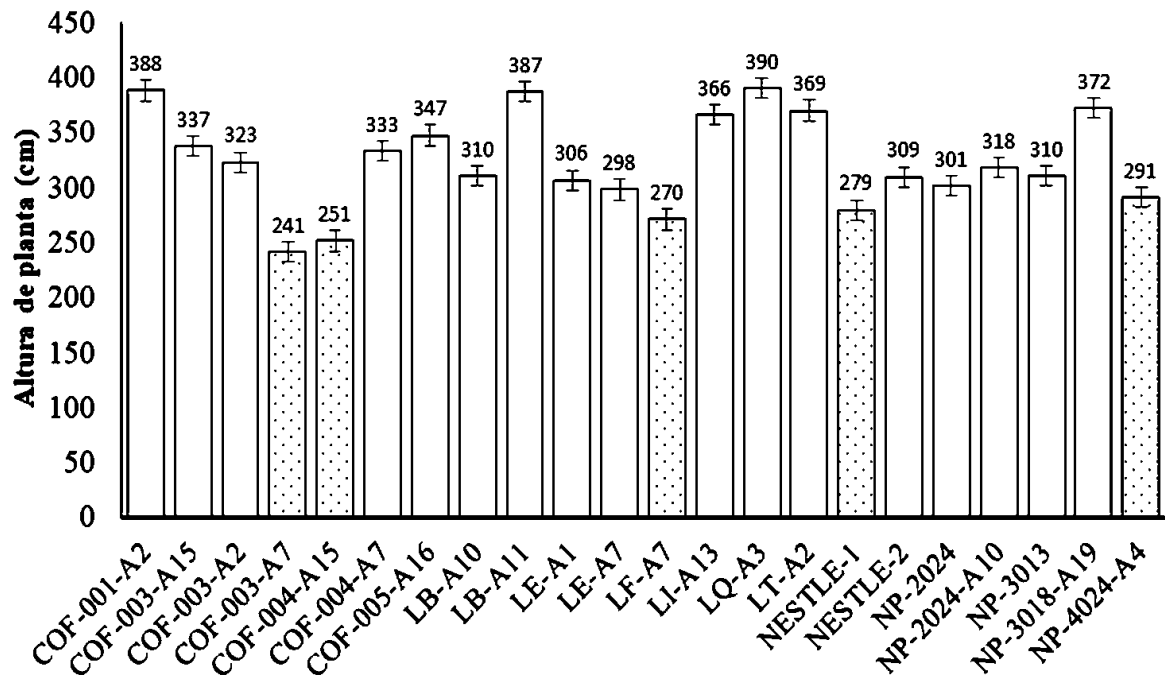


Figura 5.18. Altura de planta en clones de café robusta en Pichilingue, Provincia Los Ríos.

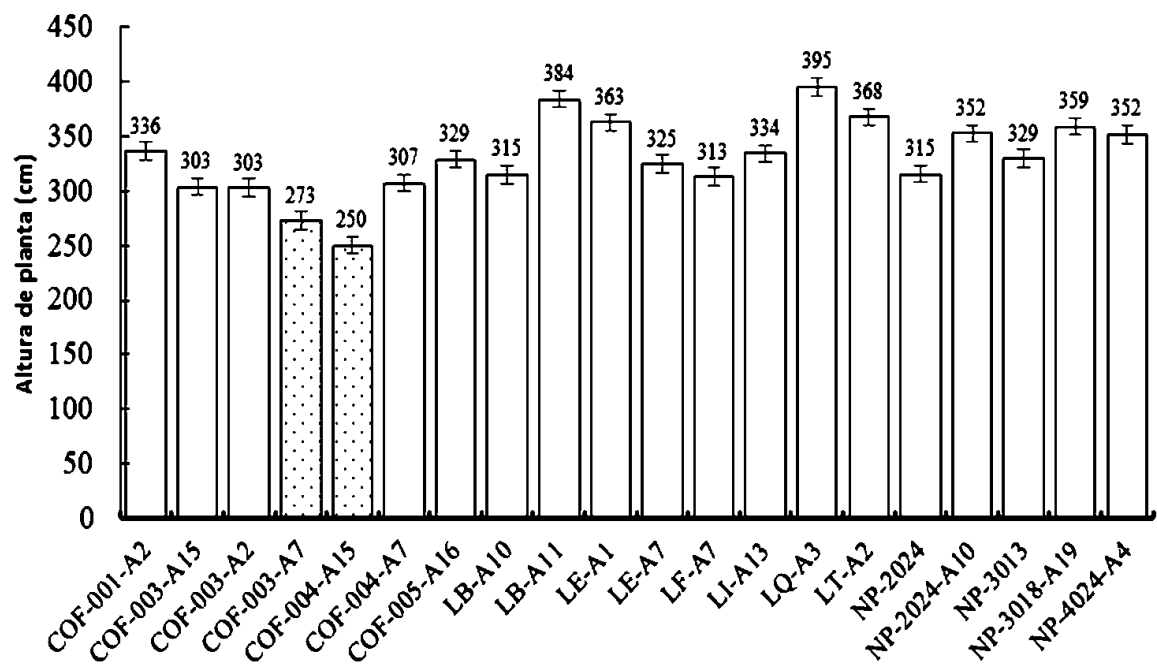


Figura 5.19. Altura de planta en clones de café robusta en Portoviejo, Provincia Manabí.

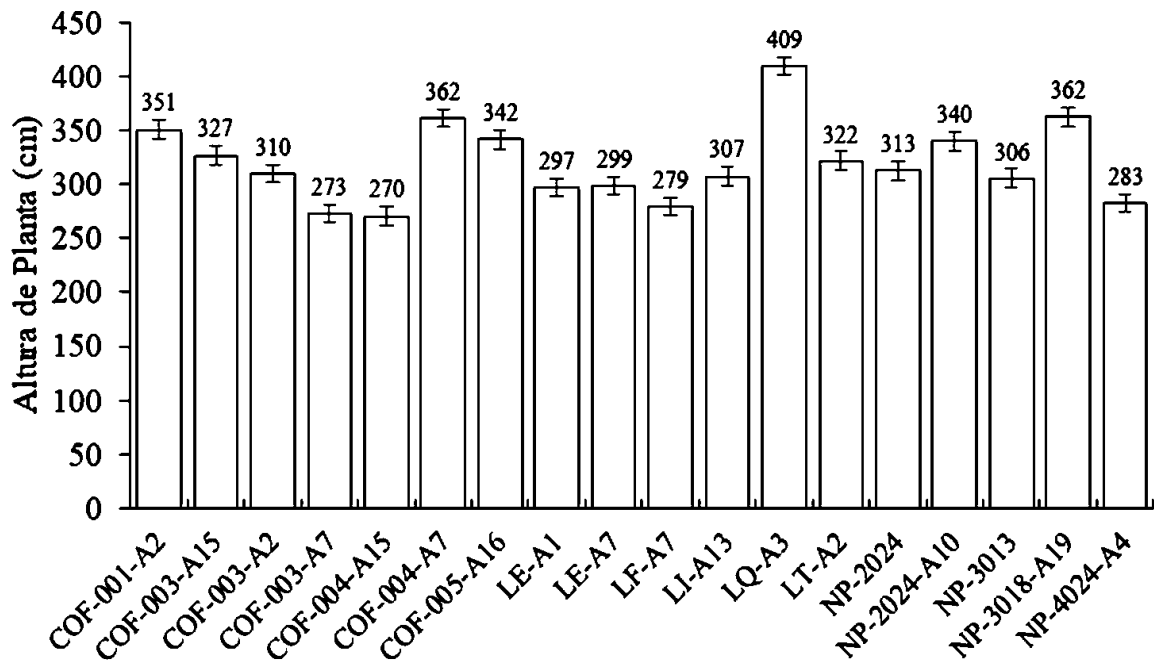


Figura 5.20. Altura de planta en clones de café robusta en Santo Domingo, Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas.

En el Cuadro 5.15 se detallan los estadísticos de la variable AP de los 22 clones, ordenando en función de los promedios en forma ascendente, de menor a mayor. Se indica el número de observaciones ( $n$ ) de las cuales se calcula la media general ( $\bar{Y}$ ), el error estándar (EE), el coeficiente de variación (CV%), la variación relativa (VR%), el coeficiente de asimetría de Fisher ( $g_2$ ), la curtosis ( $g_2$ ), el límite inferior de  $\mu$  (95%), el límite superior de  $\mu$  (95%) y los tipos de distribución y de varianza. Considerando que, en AP, la respuesta deseable es “menor es mejor” y habiendo calculado la media de medias en 283 cm, se deduce que hay un grupo de 12 clones con AP <283 cm, que equivale al 55%. Sin embargo, el clon de promedio más bajo, Nestlé 1 mostró un coeficiente de variación (26,5%) y variabilidad relativa (11,9%) más altos en comparación de los demás, que se explica por un coeficiente de curtosis=-3,24, catalogándose la distribución como platicúrtica, por lo tanto, la curva tiende a aplanarse, alejándose de la normalidad.

Cuadro 5.15. Estadísticos de la variable morfológica Altura de planta (cm) de 22 clones de café robusta: Número de observaciones (n), Media general ( $\bar{Y}$ ), Error estándar (EE), Coeficiente de variación (CV%), Variación relativa (VR%), Coeficiente de asimetría de Fisher ( $g_1$ ), Curtosis ( $g_2$ ), Límite inferior de  $\mu$  (95%), Límite superior de  $\mu$  (95%) y tipos de distribución y de varianza.

Clones	N	$\bar{Y}$	EE	CV	VR	$g_1$	$g_2$	LI de $\mu$ $\alpha=0,05$	LS de $\mu$ $\alpha=0,05$	Distribución normal	Varianza homogénea
NESTLE-1	5	234	28	26,5	11,9	-0,555	-3,24	180	288	No	Si
COF-003-A7	11	243	12	15,7	4,7	-0,888	-0,30	221	266	Si	Si
COF-004-A15	13	243	9	13,1	3,6	-0,569	-0,08	226	261	Si	No
LF-A7	13	245	17	24,9	6,9	0,323	-0,64	212	278	Si	Si
COF-003-A2	12	254	19	25,8	7,4	0,050	-1,31	216	291	Si	Si
LB-A10	11	257	18	22,9	6,9	-0,270	-1,60	222	292	No	Si
LE-A7	14	257	19	27,0	7,2	0,108	-1,70	221	294	No	--
COF-004-A7	11	273	16	19,5	5,9	0,459	-1,49	241	304	No	Si
NP-2024-A10	10	277	22	24,9	7,9	0,028	-1,45	234	320	Si	Si
NP-2024	12	278	14	16,9	4,9	-0,256	-0,91	251	304	Si	Si
NP-3013	13	280	13	16,9	4,7	-0,139	-1,59	254	305	No	Si
NP-4024-A4	9	282	22	23,9	8,0	-0,326	-1,71	238	325	No	Si
NESTLE-2	5	287	15	11,9	5,3	-0,113	-1,02	257	317	Si	Si
LT-A2	11	295	22	24,5	7,4	-0,005	-1,03	252	338	Si	Si
LE-A1	9	297	22	22,0	7,3	-0,216	-0,86	254	339	Si	Si
COF-003-A15	9	299	15	15,5	5,2	-0,038	-1,76	268	329	No	Si
COF-005-A16	9	299	20	19,6	6,5	-0,107	-1,99	261	337	No	Si
COF-001-A2	13	305	18	21,8	6,0	-0,064	-1,78	269	341	No	Si
LI-A13	9	320	16	15,2	5,1	1,117	-0,13	288	352	Si	Si
LB-A11	11	332	20	20,4	6,2	-0,439	-1,03	292	372	Si	Si
NP-3018-A19	10	335	18	17,4	5,5	-0,559	-1,39	299	371	Si	Si
LQ-A3	10	364	19	16,2	5,1	-0,359	-1,54	327	400	No	Si
AP (cm)	230	283	4	20,1	6,3	-0,128	-1,77	275	291	No	Si

El análisis de los límites de confianza, inferiores (LI) y superiores (LS), de la media de la población  $\mu$  (confianza de 95%), permitió verificar que el parámetro  $\mu$ , de altura de planta, está expandida de 180 a 288 cm. Al realizar la prueba de la normalidad de las series de datos, del clon Nestlé 1, se verificó que la distribución era de tipo “no normal”, por lo tanto, la inferencia sobre el parámetro  $\mu$  (población), pierde precisión. La distribución de los datos, en una variable cuantitativa continua, como el rendimiento, en los distintos clones, puede atribuirse a los efectos del ambiente y del manejo del cultivo, pues, el análisis se realizó con los datos de los clones en función de las repeticiones, años y localidades, por lo tanto, la información es muy consistente para derivar información estadística.

Además, se realizó la prueba de homogeneidad de las varianzas, considerando, para todos los casos que la varianza mayor correspondió al clon LE-A7 ( $S^2=48149721$ ), que se usó para contrastar todos los otros genotipos. Las hipótesis nulas, para las pruebas de Levene y F, se formulan como “las varianzas

poblacionales” son estadísticamente iguales. Esta es la condición para aplicar las técnicas paramétricas, como el ANDEVA y análisis de regresión y correlación de Pearson, sin cuyo cumplimiento, las decisiones se tornan no confiables, aumentando la probabilidad de cometer error tipo I, rechazar  $H_0$  cuando en realidad es verdadera (Manterola y Pineda, 2008). Un grupo de clones si cumplían el supuesto de normalidad: COF-03-A7, COF-04-A15, LF-A7, COF-03-A2, NP-2024-A10 y NP-2024. De este conjunto, el clon COF-04-A15 no cumplió el supuesto de homocedasticidad.

En la característica AP, los clones con porte bajo y estadígrafos adecuados de EE, CV%, VR%, g1 (asimetría), g2 (curtosis), distribución normal y varianza homogénea fueron: COF-03-A7, COF-03-A2, LB-10, NP-2024-A10 y NP-2024.

Al realizar un análisis con la técnica llamada ‘distribución empírica’, que es la representación gráfica de las frecuencias relativas acumuladas, se describe una aproximación a las distribuciones poblacionales por cada localidad en estudio. Este análisis se aplicó a las variables, producción de café oro por planta (PCOP) y para altura de planta (AP), que se consideran caracteres claves en el proceso de selección, en el primer caso, se procura una respuesta “mayor es mejor” y en el segundo caso se procura “menor es mejor”.

La distribución empírica de la producción (Figura 5.21), en Loreto se registró el promedio PCOP =  $292 \pm 21$  g con un valor máximo = 429 g. En Pichilingue, PCOP =  $1175 \pm 65$  g y valor máximo = 1.803 g. En Macas se observó un grupo de clones de alta producción, PCOP =  $787 \pm 49$  g y valor máximo = 1.325 g. En Santo Domingo y Portoviejo, PCOP se aproximan en sus valores máximos, 901 y 952 g, respectivamente.

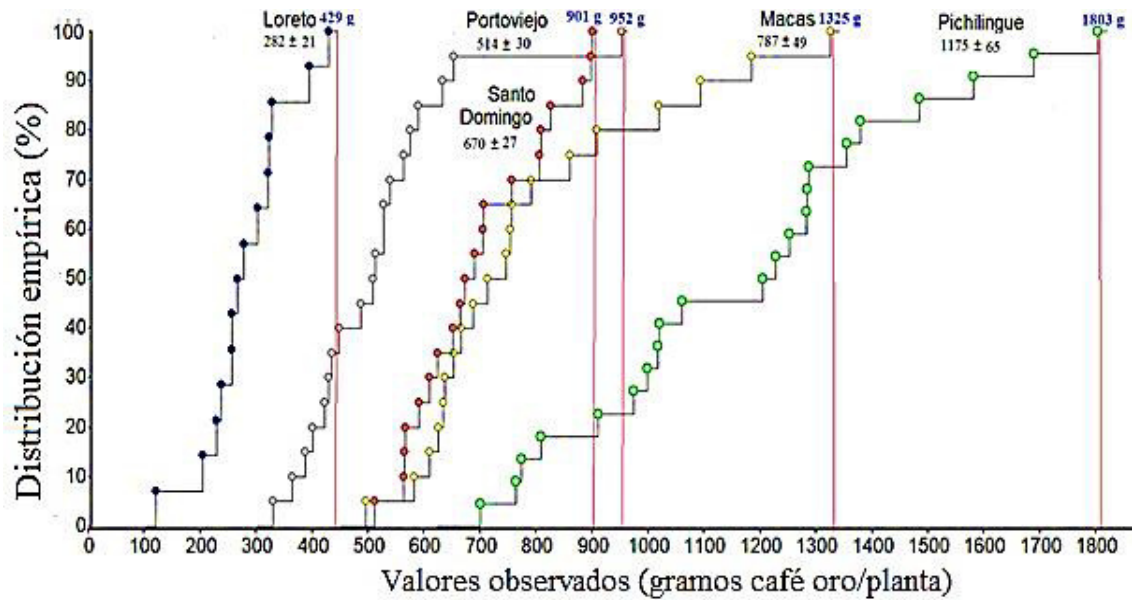


Figura 5.21. Distribución empírica de la producción de café oro/planta de 22 clones de café robusta.

En cuanto a la distribución empírica de la variable altura de planta (Figura 5.22), se observa que en las localidades Loreto y Portoviejo, tiende a mostrar menores valores comparado con las observadas en Macas, Pichilingue y Santo Domingo. La altura de planta se relaciona con el ambiente de cada localidad y la distribución empírica, describe el comportamiento, proporciona información valiosa para tomar decisiones. En las localidades Macas, Pichilingue y Santo Domingo el comportamiento de la altura de planta tiende a mostrar similar comportamiento, llegando a observarse cafetos con AP > 400 cm.

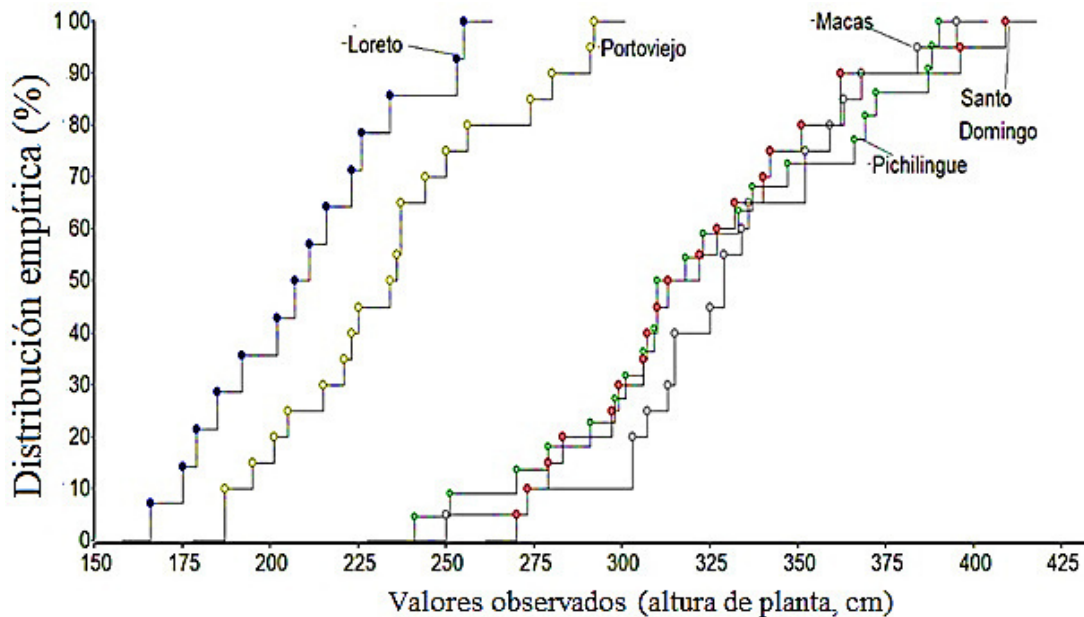


Figura 5.22. Distribución empírica de la altura de planta (cm) de 22 clones de café robusta.

Las correlaciones Momento producto de Pearson ( $r$ ) posibilitan obtener información acerca de la asociación estadística entre las variables: altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), número de ramas (NR), número de ramas productivas (NRP), longitud de rama productiva (LRP), número de nudos por rama (NNR), distancia entre nudos (DEN), grado de compactación (GC) y producción de café oro  $\text{g.planta}^{-1}$  (PCOP) de 22 clones de café robusta. El análisis de correlaciones lineales, con  $p < 0,05$  y grados de libertad=94, expuesta en la matriz de  $r$  (Cuadro 5.16), permite determinar que PCOP se correlaciona positiva y significativamente con las variables: AP ( $r=0,233^*$ ), NR ( $r=0,475^{**}$ ), NRP ( $r=0,326^{**}$ ), LRP ( $r=0,454^{**}$ ) y NNR ( $r=0,458^{**}$ ).

Cuadro 5.16. Matriz de correlaciones lineales  $r$  entre caracteres fenotípicos del café robusta: Altura de planta (AP), Diámetro de tallo (DT), Número de ramas (NR), Número de ramas productivas (NRP), Longitud de rama productiva (LRP), Número de nudos por rama (NNR), Distancia entre nudos (DEN), Grado de compactación (GC) y Producción de café oro por planta (PCOP).

Variabes	AP	DT	NR	NRP	LRP	NNR	DEN	GC	PCOP
AP	1								
DT	0,779**	1							
NR	0,250*	0,072	1						
NRP	-0,190	-0,188	0,710**	1					
LRP	0,370**	0,418**	0,735**	0,521**	1				
NNR	0,170	0,211*	0,673**	0,587**	0,814**	1			
DEN	0,573**	0,297**	-0,078	-0,462**	-0,043	-0,194	1		
GC	0,336**	0,437**	-0,648**	-0,567**	-0,305**	-0,482**	0,101	1	
PCOP	0,233*	0,170	0,475**	0,326**	0,454**	0,458**	-0,116	-0,153	1

Valores críticos de  $r$ :  $r_{0,05} = 0,201$  y  $r_{0,01} = 0,262$

\* Hay correlación con el 95% de confianza, \*\* hay correlación con el 99% de confianza

La asociación estadística en variables morfológicas es amplia. Considerando que la variable altura de planta, es la característica de mayor importancia, después de la producción, se determinó que AP está asociada positiva y significativamente con los caracteres DT ( $r=0,779^{**}$ ), NR ( $r=0,250^*$ ), LRP ( $r=0,370^{**}$ ), DEN ( $r=0,573^{**}$ ) y GC ( $r=0,336$ ). El grado de compactación (GC), índice que resulta de la relación AP/NR, que configura la arquitectura del cafeto, muestra correlación positiva con AP ( $r=0,336^{**}$ ) y DT ( $r=0,437^{**}$ ) y correlación negativa con NR ( $r=-0,648^{**}$ ), NRP ( $r=-0,567^{**}$ ), LRP ( $r=-0,305^{**}$ ) y NNR ( $r=-0,482^{**}$ ). Los resultados de las correlaciones proporcionan amplia información sobre el comportamiento fenotípico, la producción se asocia principalmente al número de ramas (NNR), a la longitud de rama (LRP) y al número de nudos por rama (NNR).



En el dendrograma elaborado con datos ajustados a la escala: 1= bajo (cuartil 1), 2= medio-bajo (mediana o Q2), 3= medio-alto (Q3) y 4=alto (del cuartil 3 al valor máximo), con el criterio que PCOP “mayor es mejor”, altura de planta “menor es mejor” y las otras variables morfológicas son del tipo “mayor es mejor”. Los promedios PCOP > 736 g (media de medias) fueron: LE-A1, LB-A10, COF-03-A7, NP-4024-A4, Nestlé 2, LQ-A3, LT-A2 y NP-3018-A19. La variable PCOP, se considera “mayor es mejor” y la AP “menor es mejor”, en función del tipo de variable se ordenan los datos ordinales. El análisis conlleva a determinar similitud morfológica entre clones de mayor productividad: LT-2 es fenotípicamente similar a NP-4024-A4, COF-03-A7 tiende a diferenciarse, aunque comparten atributos por lo cual están en el mismo grupo de clones (1), el clon LB-A10 morfológicamente resultó similar a COF-04-A15 (2), sin embargo, son diferentes en productividad, que se puede atribuir a genes determinantes de la adaptabilidad (Figura 5.23). Los clones Nestlé 1 y Nestlé 2 morfológicamente resultaron similares. Los clones LQ-A3 y NP-3018-A19 resultaron similares en los aspectos morfológicos y productivos, muy próximo a LE-A1 que también fue productivo. La correlación cofenética, estadístico que mide la intensidad de la asociación entre matrices de datos fue 0,536 con un coeficiente alfa de Cronbach  $\alpha=0,704$ , por lo tanto, se deduce existe confiabilidad en la información estadística generada mediante el análisis de conglomerados jerárquicos (ACJ).

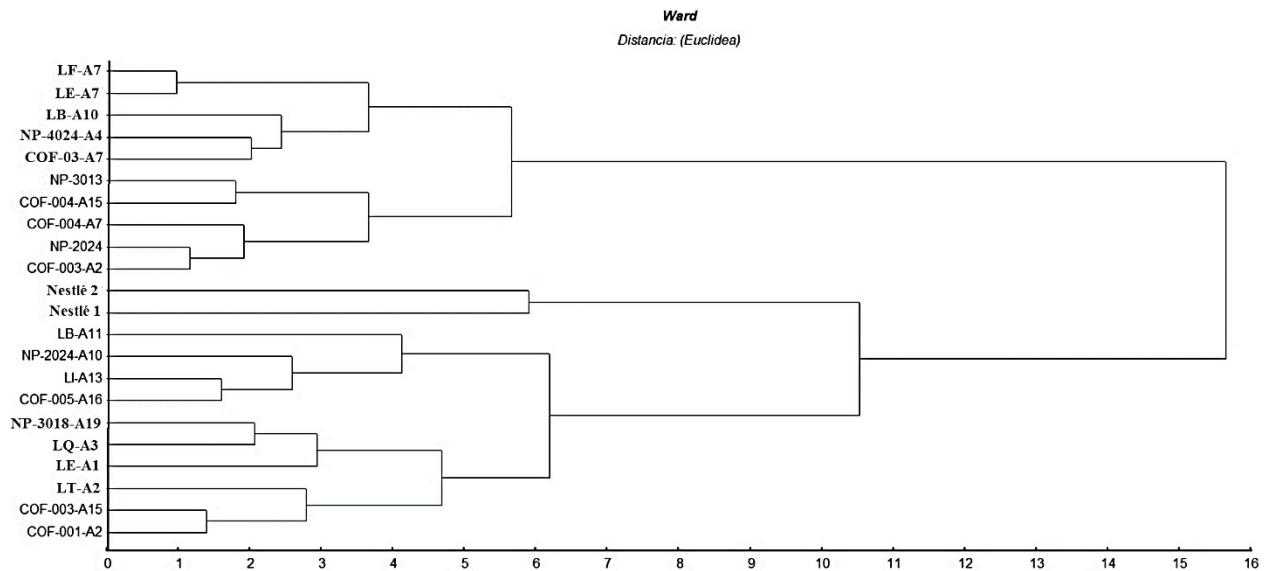


Figura 5.23. Similitudes morfológicas de los clones de café robusta a partir de los datos en escala ordinal 1-4, en función de los cuartiles.

En una modelación automatizada de SPSS v 22, considerando  $n = 96$  datos de las características morfológicas, se determinó que el número de ramas aporta a la importancia ponderada en 0,51 (51%), es decir que se puede predecir la producción en base de la variable mencionada (Cuadro 5.17). En el Cuadro 5.18, se observa que PCOP se explica adecuadamente con la regresión múltiple en función del número de ramas total (NR) y el número de ramas productivas (NRP), con una confianza estadística significativa ( $p < 0,01$ ). En el Cuadro 5.19, se expone los coeficientes del modelo multivariado y la significación estadística para cada variable independiente. Un aspecto importante es destacar que el intercepto en el modelo se considera 0, porque se asume que si no hay ramas no existe producción.

Cuadro 5.17. Características del modelo de la función producción.

Términos del modelo	Coefficientes	Significación	Importancia	Criterio de información	
Número de ramas	9,17	0,001	51%	1.103,89	+++
Grado de compactación	60,31	0,013	26%	1.100,81	++
Número de nudos por rama	19,07	0,020	23%	1.097,36	+
Intercepto	-635,47	0,021			

Cuadro 5.18. Regresión multivariada de la producción en función del número de ramas y número de ramas productivas por café.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	F0,05	F0,01	p
Regresión múltiple	2	53838970	26919485	291,8	3,09	4,84	0,00001
Residuos	94	8670573	92240				
Total	96	62509543					

Cuadro 5.19. Coeficientes del modelo multivariado, error típico, estadístico t y probabilidad.

Términos del modelo	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	0	-	-	-
Número de ramas por café (NR)	5,8	2	2,52	0,01 (**)
Número de nudos por rama (NNR)	15,5	6	2,39	0,02 (*)

Modelo matemático:  $PCOP = 5,8(NR) + 15,5(NNR)$

El sesgo hacia la derecha, que se observa en el histograma de residuos estudentizados comparado con la distribución de frecuencias esperada y la distribución normal (Figura 5.24), significa que hay variabilidad en la producción entre genotipos, por tanto, potencial de producción, muy por encima del promedio, que posibilitaría tener ganancias genéticas. Con el modelo de regresión se tiene un pronóstico de la producción en un nivel aceptable, con un coeficiente de determinación equivalente al 87% (Figura 5.25). La contribución de las variables morfológicas sobre la producción de café oro  $\text{kg.planta}^{-1}$  (PCOP), se expone en la Figura 5.26: el número de ramas (NR) en 51% y con el 23% la variable número de nudos por rama

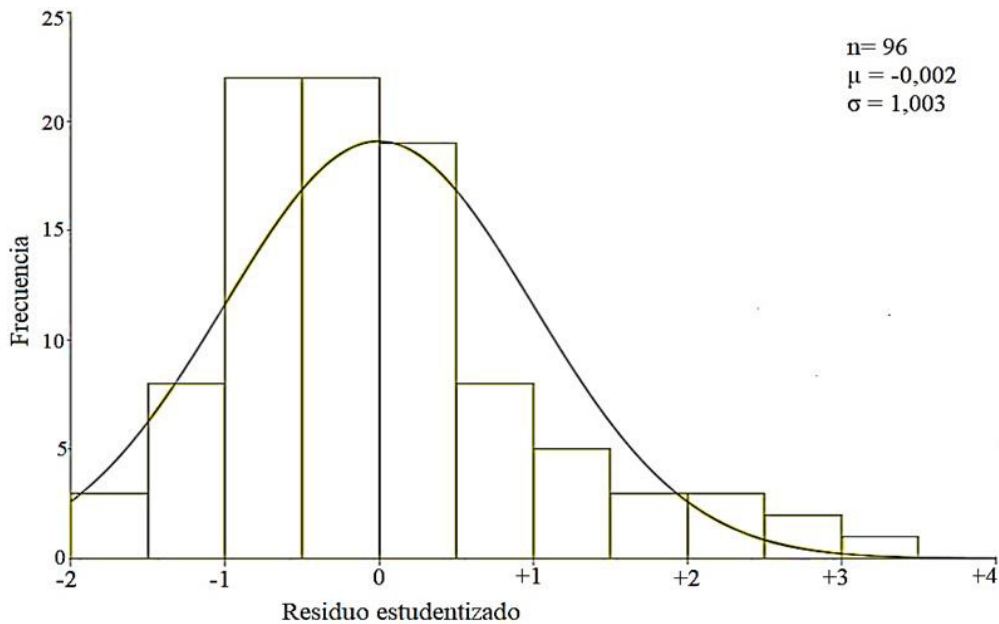


Figura 5.24. Histograma de residuos estudentizados y distribución de frecuencias esperadas.

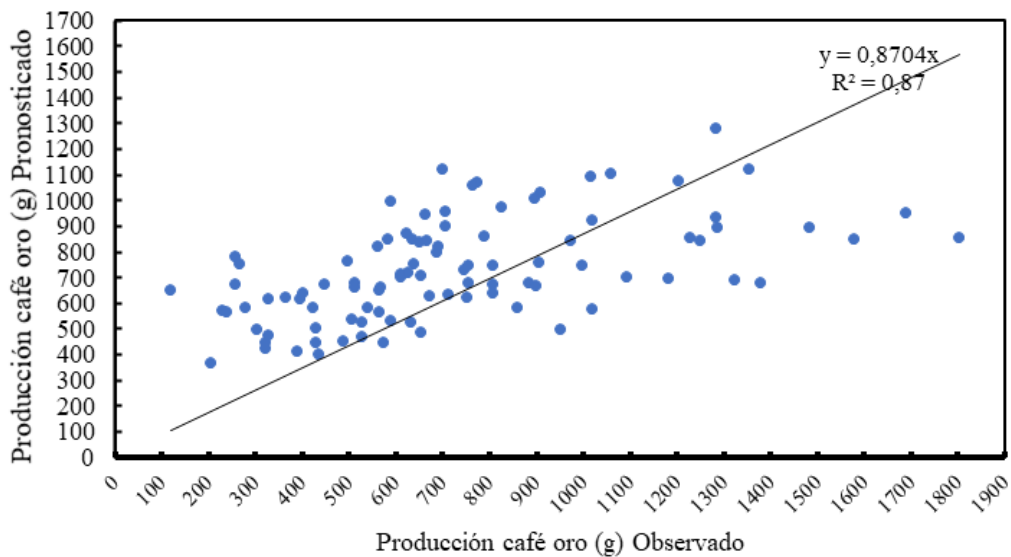


Figura 5.25. Valores pronosticados y relación con los observados en función del modelo.

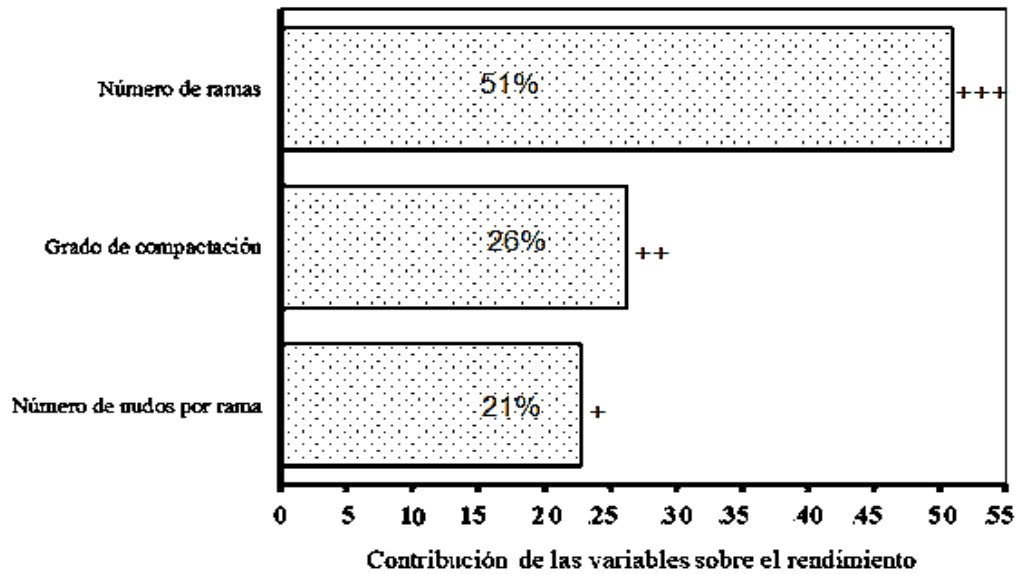


Figura 5.26. Contribución (%) de las variables morfológicas sobre la producción de café oro g.planta<sup>-1</sup>.

La regresión lineal PCOP= f (NR), resulta ser el modelo más apropiado para pronosticar la producción de café oro por planta. Del análisis se deduce que cada rama productiva puede producir 11,1 g café oro.planta<sup>-1</sup> (equivale de 55 a 60 g café cereza/rama). De este análisis se infiere que la producción del café depende del número de ramas, pudiéndose explicar hasta el 81% de la variación (Figura 5.27).

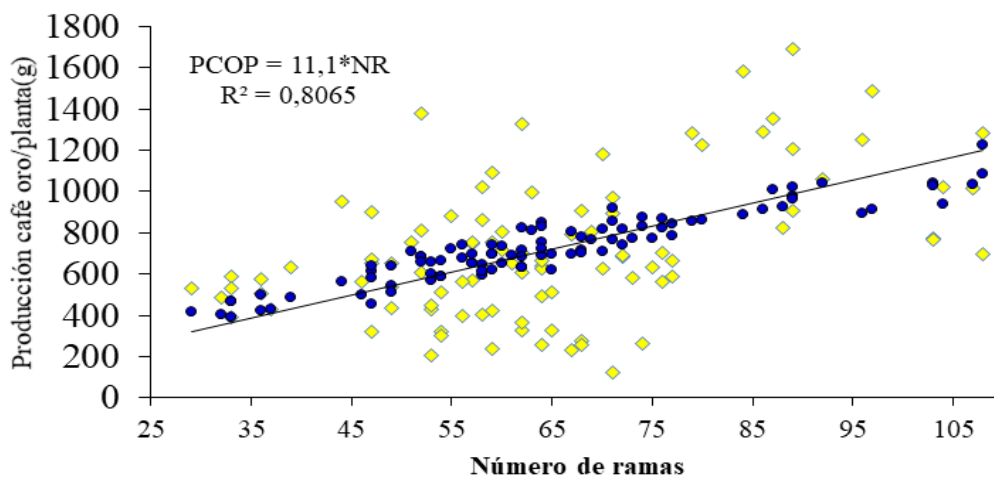


Figura 5.27. Regresión lineal de la producción en función del número de ramas.

### 5.3. Calidad sensorial de 22 clones de café robusta beneficiados por vía seca

Los resultados han evidenciado una alta diferenciación en atributos sensoriales entre los clones de café robusta evaluados, cuyos estadísticos, ordenados en forma descendente, se exponen en el Cuadro 5.20, destacándose que siete de los 22 clones (32%), tienen puntajes mayores que 80 puntos. Cabe indicar, que los clones COF-05-A16 y LE-A7, a pesar de que muestran un promedio mayor que 80 puntos, tienen una alta variabilidad, que se expresa en altos valores en sus errores típicos y desviaciones estándar.

En la Figura 5.28, se puede observar los promedios de las calificaciones sensoriales y sus errores típicos, de los 22 clones, destacándose en forma nítida un grupo que tiene alto potencial para la producción de cafés finos ( $\geq 80$  puntos SCAA), conformado por los clones: LE-A1, COF-03-A15, NP-3018-A19 y NP-4024-A4 y Nestlé-2. La media fue 79,03 puntos SCAA, cercano al promedio obtenido por Zambrano y col. (2018) que fue 80,68 puntos, al evaluar un grupo de clones tipo Congolensis, en Quevedo, Ecuador.

Cuadro 5.20. Media de calidad sensorial ( $\bar{Y}$ ), Error estándar (EE) y valores máximos (Max), mínimos (Min), rangos (Rn), y desviaciones estándar (S) de las calificaciones sensoriales de 22 clones de café robusta.

Clones	$\bar{Y}$	$\pm$ EE	Max	Min	Rn	S
LE-A1	83,56	$\pm 0,33$	84,25	83,00	1,25	0,66
COF-03 A15	82,69	$\pm 0,24$	83,00	82,00	1,00	0,47
Nestlé 2	82,19	$\pm 0,19$	82,75	82,00	0,75	0,38
NP-3018 A19	81,63	$\pm 0,24$	82,00	81,00	1,00	0,48
COF-05 A16	81,31	$\pm 0,45$	82,00	80,00	2,00	0,90
NP-4024 A4	80,88	$\pm 0,13$	81,00	80,50	0,50	0,25
LE-A7	80,69	$\pm 0,72$	82,00	79,00	3,00	1,43
COF-01 A2	79,63	$\pm 0,30$	80,25	79,00	1,25	0,60
Nestlé 1	79,63	$\pm 0,38$	80,50	79,00	1,50	0,75
LT-A2	79,56	$\pm 0,37$	80,25	78,50	1,75	0,75
LB-A10	79,44	$\pm 0,74$	81,00	77,50	3,50	1,48
NP-2024 A10	79,31	$\pm 0,51$	80,25	78,00	2,25	1,03
LI-A13	78,81	$\pm 0,45$	80,00	78,00	2,00	0,90
NP-3013	78,13	$\pm 0,36$	79,00	77,25	1,75	0,72
NP-2024	77,94	$\pm 0,44$	79,00	77,00	2,00	0,88
LF-A7	77,63	$\pm 0,55$	79,00	76,50	2,50	1,11
COF-03 A2	77,31	$\pm 0,61$	78,00	75,50	2,50	1,21
COF-04 A15	76,88	$\pm 0,30$	77,25	76,00	1,25	0,60
COF-03 A7	76,13	$\pm 0,39$	77,00	75,25	1,75	0,78
LQ-A3	75,56	$\pm 0,91$	77,25	73,75	3,50	1,82
LB-A11	75,38	$\pm 0,83$	77,00	73,50	3,50	1,65
COF-04 A7	74,44	$\pm 0,40$	75,00	73,25	1,75	0,80
General	79,03		84,25	73,25		

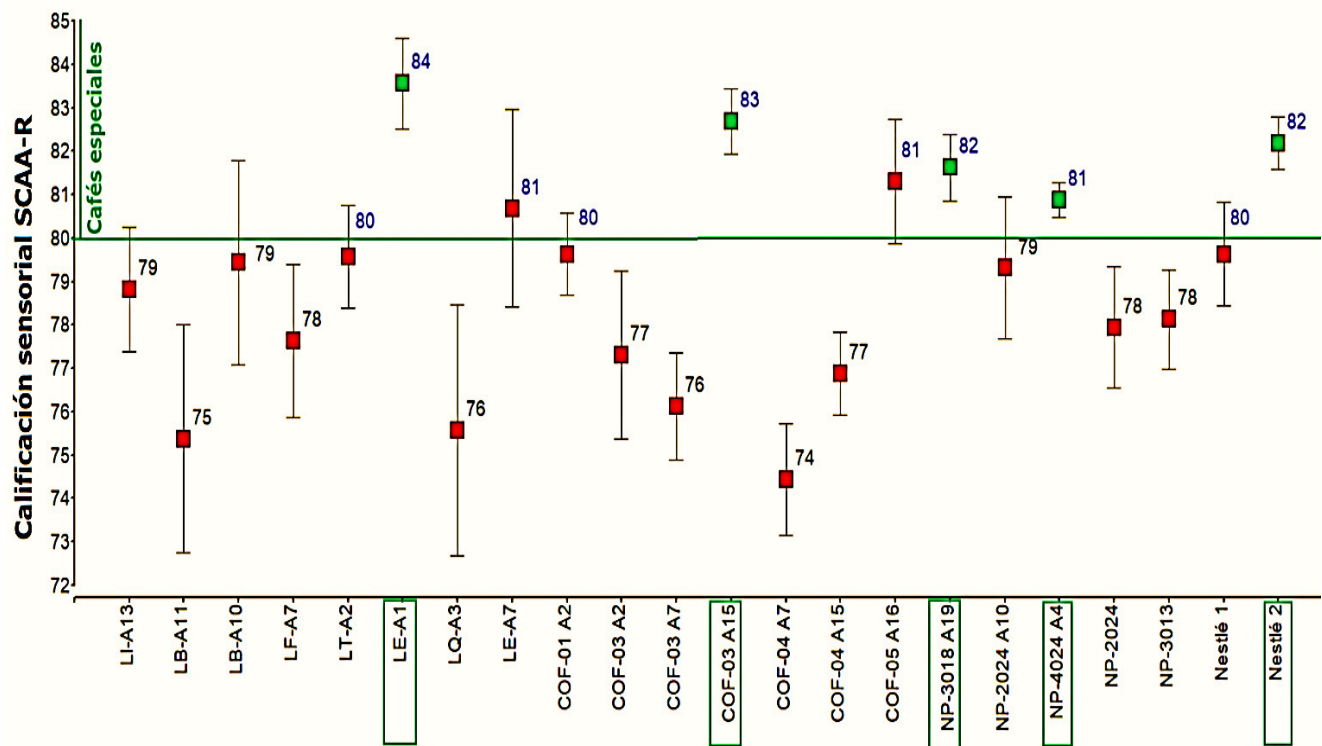


Figura 5.28. Calificaciones sensoriales en 22 clones de café robusta preparados mediante el beneficio por vía seca procedentes de Pichilingue, Los Ríos.

El haber seleccionado genotipos de alta productividad y calidad, genera la oportunidad de propagarlos y establecer nuevos cafetales para elevar la oferta de café, pero Muntaner (2019) advierte que el sector agrario en general y el cafetalero en concreto, dependen de factores externos como: precios en el mercado internacional, cambio climático o bajo valor añadido, entre otros. Los resultados de la catación por cada atributo organoléptico, se exponen en el Cuadro 5.21, observándose que la uniformidad y limpieza de la taza obtuvieron las más altas puntuaciones (10/10).

Cuadro 5.21. Medias de los atributos sensoriales de los 22 clones de cafés robustas: fragancia/aroma (FAARO), gusto (GUS), regusto (REGU), equilibrio sal/acidez (ESACID), equilibrio amargo/dulce (EAMDUL), sensación en la boca (SENBO), uniformidad (UNI), equilibrio (EQUIL), limpieza (LIM), puntaje de catador (PCAT) y calificación sensorial (EVSEN).

Clones	FAARO	GUS	REGU	ESACID	EAMDUL	SENBO	UNI	EQUIL	LIM	PCAT	EVSEN
LE-A1	7,75	7,94	7,88	8,00	7,94	7,94	10,00	8,13	10,00	8,00	83,56
COF-03 A15	7,56	7,81	7,88	7,75	7,88	7,94	10,00	7,88	10,00	8,00	82,69
Nestlé 2	8,00	7,88	7,88	7,56	7,56	7,81	10,00	7,69	10,00	7,81	82,19
NP-3018 A19	7,50	7,75	7,75	7,81	7,69	7,63	10,00	7,56	10,00	7,94	81,63
COF-05 A16	7,63	7,50	7,63	7,63	7,63	7,88	10,00	7,69	10,00	7,75	81,31
NP-4024 A4	7,44	7,63	7,75	7,63	7,50	7,63	10,00	7,63	10,00	7,69	80,88
LE-A7	7,56	7,44	7,44	7,69	7,63	7,69	10,00	7,56	10,00	7,69	80,69
COF-01 A2	7,25	7,50	7,44	7,38	7,50	7,63	10,00	7,44	10,00	7,50	79,63
Nestlé 1	7,44	7,50	7,38	7,25	7,38	7,56	10,00	7,63	10,00	7,50	79,63
LT-A2	7,50	7,44	7,38	7,56	7,50	7,56	10,00	7,31	10,00	7,31	79,56
LB-A10	7,44	7,44	7,38	7,44	7,44	7,63	10,00	7,38	10,00	7,31	79,44
NP-2024 A10	7,31	7,50	7,38	7,50	7,50	7,38	10,00	7,50	10,00	7,25	79,31
LI-A13	7,25	7,31	7,19	7,50	7,44	7,44	10,00	7,38	10,00	7,31	78,81
NP-3013	7,25	7,31	7,19	7,19	7,19	7,31	10,00	7,31	10,00	7,38	78,13
NP-2024	7,25	7,19	7,13	7,19	7,19	7,38	10,00	7,19	10,00	7,44	77,94
LF-A7	7,19	7,19	7,00	7,19	7,31	7,31	10,00	7,19	10,00	7,25	77,63
COF-03 A2	7,19	7,19	7,06	7,31	7,13	7,19	10,00	7,13	10,00	7,13	77,31
COF-04 A15	7,19	7,00	7,06	7,06	7,06	7,25	10,00	7,19	10,00	7,06	76,88
COF-03 A7	7,44	6,75	6,88	7,00	6,94	7,06	10,00	7,06	10,00	7,00	76,13
LQ-A3	7,31	6,81	6,75	6,94	6,94	7,00	10,00	6,88	10,00	6,94	75,56
LB-A11	7,25	6,94	6,88	7,00	6,75	6,88	10,00	6,94	10,00	6,75	75,38
COF-04 A7	7,06	6,75	6,44	6,94	7,00	6,88	10,00	6,88	10,00	6,50	74,44
Media	7,40	7,35	7,30	7,39	7,37	7,45	10,00	7,39	10,00	7,39	79,03

Fuente: INIAP (2019)

El análisis de correlaciones ( $r$ ), permitió conocer las relaciones entre atributos organolépticos. La calificación sensorial (suma de los atributos) estaba correlacionada positivamente con ocho características organolépticas, coincidiendo con estudios similares realizados por Zambrano y col. (2018) y Duicela y col. (2018) siendo las de mayor importancia: PCAT ( $r=0,888^{**}$ ), EQUIL( $r=0,859^{**}$ ), EAMDUL ( $r=0,839^{**}$ ), REG ( $r=0,845^{**}$ ) y GUS ( $r=0,893^{**}$ ). La uniformidad y la limpieza, que son características que fueron valoradas con los puntajes máximos, por no presentar variación se excluyeron de este análisis (Cuadro 5.22).

Cuadro 5.22. Correlaciones entre atributos: fragancia/aroma (FAARO), gusto (GUS), regusto (REGU), equilibrio sal/acidez (ESACID), equilibrio amargo/dulce (EAMDUL), sensación en la boca (SENBO), equilibrio (EQUIL) y puntaje de catador (PCAT) y calificación sensorial (EVSEN).

Atributos	FAARO	GUS	REGU	ESACID	EAMDUL	SENBO	EQUIL	PCAT	EVSEN
FAARO	1								
GUS	0,335**	1							
REGU	0,280**	0,868**	1						
ESACID	0,396**	0,675**	0,632**	1					
EAMDUL	0,366**	0,734**	0,583**	0,827**	1				
SENBO	0,478**	0,639**	0,563**	0,579**	0,645**	1			
EQUIL	0,350**	0,727**	0,718**	0,701**	0,645**	0,691**	1		
PCAT	0,369**	0,787**	0,772**	0,647**	0,687**	0,705**	0,744**	1	
EVSEN	0,529**	0,893**	0,845**	0,832**	0,839**	0,815**	0,859**	0,888**	1

Nota: NS no hay correlación, \* correlación significativa con 95% de confianza, \*\* correlación significativa con 99% de confianza.

En el análisis de varianza (Cuadro 5.23), se observa diferencia estadística significativa entre clones (\*\*), pero no hubo diferencias estadísticas entre catadores (NS), esto equivale a que todos se ajustaron a la normativa de evaluación sensorial del CQI. Por otra parte, el 89,1% se atribuye de la variabilidad por causa genética, por los clones (efecto genético).

En términos de heredabilidad ( $H^2$ ), la relación entre la varianza genética y la varianza total, representa 95,6%, que es un indicativo de que, al seleccionar clones con atributos sensoriales altos, > 80,0 SCAA, definitivamente se mantendrían esos atributos en las generaciones futuras. El error experimental en este experimento (%) equivale al 10,8%, que se considera aceptable. No se aplicó la prueba de rangos de Tukey ( $\alpha=0,05$ ) para separar las medias de clones, porque el ANDEVA tenía el propósito de evaluar el comportamiento de los catadores y cuantificar la contribución de la variabilidad genética de los clones en el análisis organoléptico.



Cuadro 5.23. Análisis de varianza de las calificaciones sensoriales de 22 clones de café robusta: grados de libertad (GL), suma de cuadrados (SC), cuadrados medios (CM), estadístico F, probabilidad de F y significación estadística (SE), en Pichilingue, 2020.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F <sub>calculada</sub>	F <sub>0,05</sub>	F <sub>0,01</sub>	p	SE	Variación (%)
Clones	21	519,05	24,72	24,78	1,73	2,16	<0,0001	**	89,10%
Catador	3	0,45	0,15	0,15	2,75	4,11	0,92907	NS	0,10%
Error	63	62,85	0,998						10,80%
Total	87	582,35							100,0%
Coefficiente de variación=	1,26								
Media=	79,03								

SE: NS= no hay diferencia estadística; \*\* Diferencia altamente significativa.

La prueba de confiabilidad usando el coeficiente Alfa de Cronbach dio los siguientes coeficientes: para la primera parte (AARO, GUS, REGU, ESACID, EAMDUL),  $\alpha = 0,871$ ; y para la segunda parte (SENBO, UNI, EQUIL, LIM, PCAT),  $\alpha = 0,733$ . En la matriz de datos sensoriales, la Correlación cofenética = 0,66, por tanto, se deduce existe significativa confiabilidad en la serie de datos (22 clones x 4 catadores n = 88).

En la Figura 5.29, se exponen los perfiles sensoriales de los clones de cafés robusta de Pichilingue, preparados por vía seca, con puntajes mayores que 80 puntos SCAA: NP-4024 A4, NP-3018 A19, LE-A7, COF-05 A16, Nestlé 2, LE-A1 y COF-03 A15 que se contrastan con el clon COF-04-A7 que presentó el puntaje más bajo (74,44 puntos). El clon LE-A1 tuvo la calificación sensorial más alta, con 83,56 puntos SCAA que significa una diferencia de 9,12 puntos arriba de COF-04-A7.

El dendrograma de los 22 clones de café robusta en función de los 10 atributos sensoriales, resultante del ACJ, se expone en la Figura 5.30, donde se observa que los siete clones con puntuaciones sensoriales >80 puntos SCAA, conforman un grupo específico, ubicado en la parte superior: NP-4024 A4, NP-3018 A19, LE-A7, Nestlé 2, LE-A1, COF-03-A15 y COF-05-A16. En el dendrograma se puede observar que hay otros tres grupos de clones, con similitudes y disimilitudes, pero con puntajes <80 puntos SCAA.

En los Concursos “Taza Dorada” Robusta, un evento competitivo que se desarrolla anualmente desde 2016, promovidos por la ANECAFE, el puntaje más alto fue 85,63 correspondiente a un café amazónico (ANECAFE, 2020). En Brasil, en un experimento con café natural, usando una escala de 0 a 10, según informa Lima y col. (2013), se obtuvo una media general de 7,3 puntos, que equivaldría a 73 en la escala de 100, calificación muy próxima a la obtenida en el clon COF-04-A7.

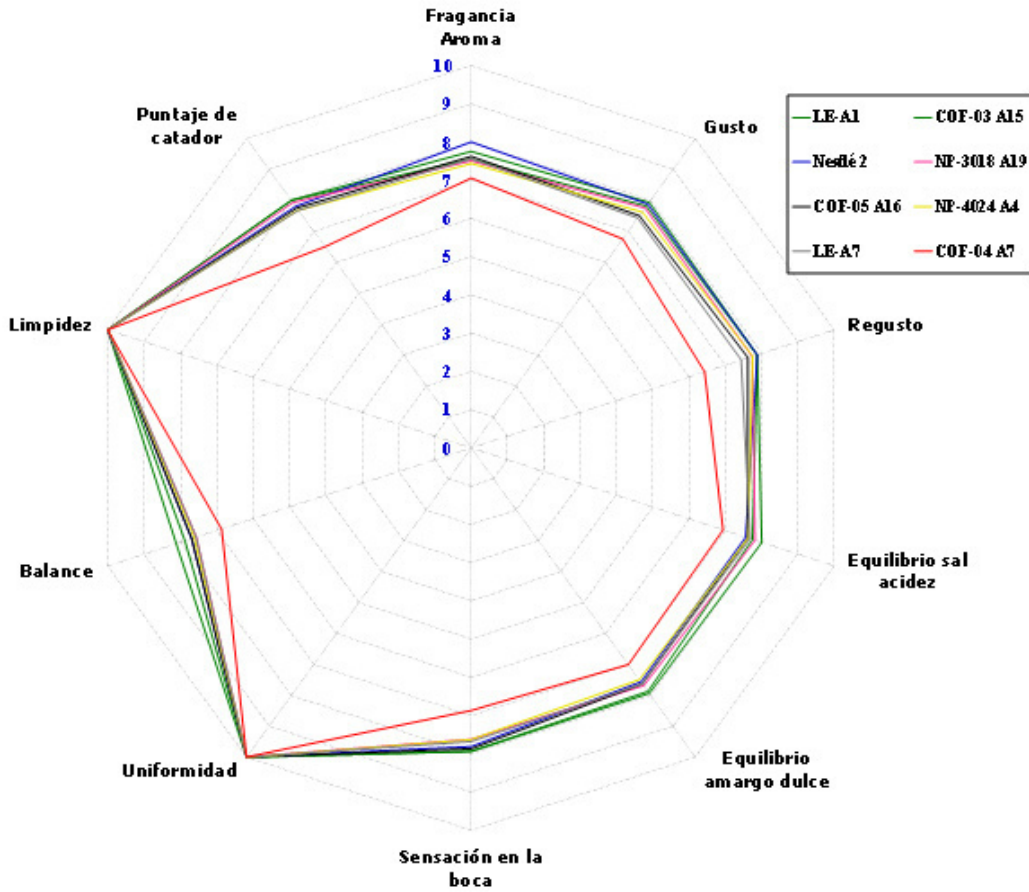


Figura 5.29. Perfiles sensoriales de los clones de cafés robusta de Pichilingue, preparados por vía seca, con puntajes mayores que 80 puntos SCAA.

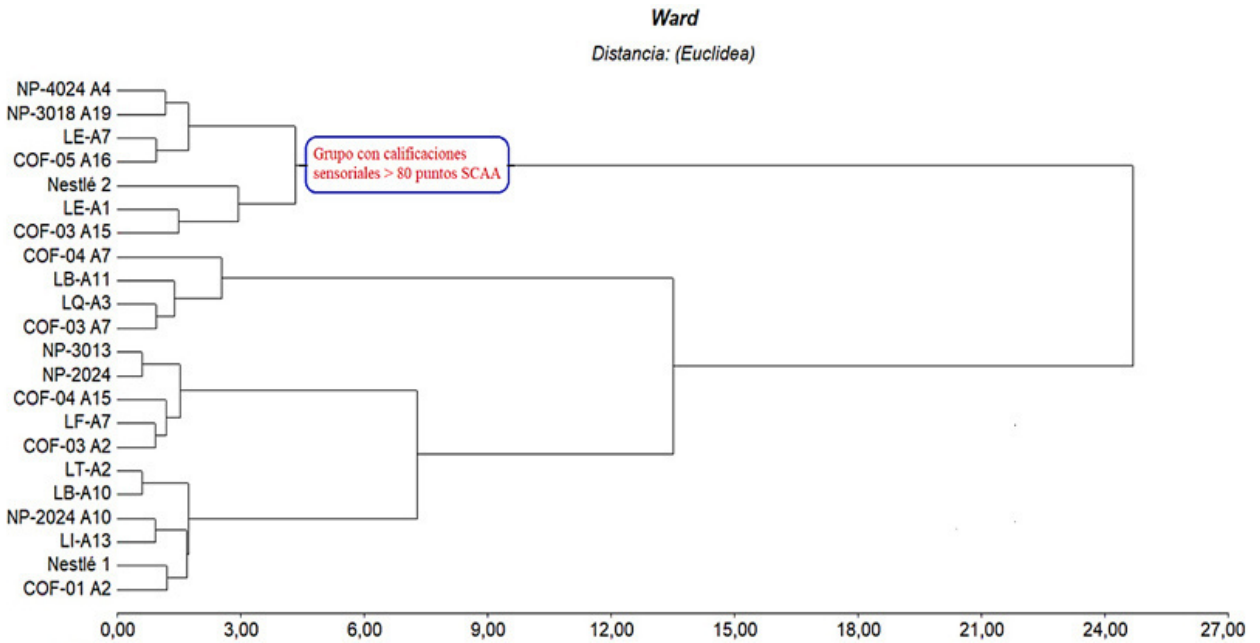


Figura 5.30. Similitud en atributos sensoriales entre clones de café robusta beneficiados por vía seca.

Los resultados del estudio conllevan a afirmar que hay genotipos de café robusta, que además de reunir las características de alta productividad, poseen las cualidades de taza que exigen los mercados de cafés especiales, con calificaciones sensoriales >80 puntos SCAA. El estudio demostró que es posible obtener altos estándares de calidad organoléptica en cafés naturales, coincidiendo con Lima y col. (2013) quienes consideran, además, un proceso menos costoso con respecto a los cafés lavados y semilavados.

El Ecuador, en la actualidad, no puede competir en volumen con otros países productores de café robusta del mundo, sin embargo, el estudio de calidad sensorial, indica que hay genotipos competitivos para impulsar la producción de cafés finos e incursionar en los mercados de especialidades. La crisis de producción y de precios, que atraviesa el sector cafetalero ecuatoriano, puede convertirse en la oportunidad para reorientar la caficultura por el camino de la productividad, la calidad y la competitividad.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La evidencia experimental permitió establecer las conclusiones y recomendaciones siguientes:

### 6.1. Conclusiones

- Los modelos de análisis de estabilidad genética de la producción contribuyen, junto con la valoración de las características morfológicas y organolépticas de interés, a seleccionar los clones de café robusta, en forma segura.
- Los modelos PROMVAR y Kruskal y Wallis resultaron más eficientes en la identificación de genotipos superiores en productividad y estabilidad.
- Los modelos PROMVAR y Kruskal y Wallis con el modelo de Finlay y Wilkinson solo coincidieron en el 50 (%) de identificación de genotipos estables y de alto rendimiento ( $p=0,046$ ).
- Los modelos PROMVAR y Kruskal y Wallis comparados con los modelos AMMI y Finlay y Wilkinson, mostraron una coincidencia de 62,5%, siendo estadísticamente iguales con el 95% de confianza ( $p=0,18$ ).
- El método basado en la relación entre promedios y variabilidad relativa (VR%), identificado como PROMVAR, apoyado en un diagrama de cuatro celdas, posibilita la identificación ágil de los genotipos estables y de alto rendimiento.
- Los clones de café identificados por buen rendimiento y alta estabilidad (reducida variabilidad relativa), fueron: LE-A1, LB-A10, COF-03-A7, NP-4024-A4, LE-A7, LT-A2, LQ-A3 y NP-3018-A19.
- Los clones de café robusta, que muestran caracteres morfológicos adecuados, principalmente de baja altura de planta, fueron: COF-03-A7, LB-10, NP-2024-A10 y NP-2024 y COF-03-A2.
- El modelo apropiado para predecir la producción tuvo como variable independiente al número de ramas con un valor de la pendiente  $b= 1,11$  que permite tener el 81% de coeficiente de determinación.
- Los clones LE-A1, COF-03-A15, NP-3018-A19, NP-4024-A4 y Nestllé-2 evidencian una alta potencialidad para la producción de cafés finos ( $\geq 80$  puntos SCAA).
- Los clones LE-A1 y COF-03-A15 reúnen las características productivas y organolépticas más idóneas para ser seleccionados.

## 6.2. Recomendaciones

- Ampliar el uso del modelo PROMVAR para validarlo en otras localidades y en cultivos perennes, anuales y de ciclo corto.
- Seleccionar y propagar para su entrega a los caficultores los clones LE-A1 y COF-03-A15 por sus adecuadas características productivas y organolépticas.

## VII. 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*). *Agriscientia*, 28(2), 109-117.
- Acevedo Barona, Marco; Silva Díaz, Rubén; Álvarez Parra, Rosa; Torres Angarita, Orlando; Reyes Ramone, Edicta 2020. Estratificación ambiental de arroz por análisis de la interacción genotipo x ambiente con cinco métodos. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 43-57.
- Actis Di Pasquale, Eugenio; Balsa, Javier. 2017. La técnica de escalamiento lineal por intervalos una propuesta de estandarización aplicada a la medición de niveles de bienestar social. *Revista de métodos cuantitativos para la economía y empresa*, (23):164{193.
- AGROCALIDAD (Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la calidad del Agro). 2013. Guía de Buenas Prácticas Agrícolas para Café: Resolución DAJ-20134CB-0201.0281. Quito, Ecuador. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Diciembre 27 de 2013. pp. 14-26, 42.
- Aguate, Fernando Matías. 2018. Desarrollo de herramientas estadístico-computacionales para el análisis de ensayos agrícolas multiambientales. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. pp. 1-2, 106.
- Allard, R.W.1975. Principio de la mejora genética de las plantas. 2<sup>da</sup> ed. Trad. J.L. Montoya. Barcelona, España. Omega. pp. 102-110, 473.
- ANECAFÉ (Asociación Nacional de Exportadores de Café). 2020. Estadísticas 2020. Manta, Ecuador. En línea. [www.anecafe.org.ec](http://www.anecafe.org.ec): <http://www.anecafe.org.ec/exportaciones> 2020. Recuperado el 11 de febrero del 2021.
- Arcila Pulgarín, Jaime. 2007. Factores que determinan la productividad del cafetal. EN: Sistemas de producción de café en Colombia, Capítulo 3. Colombia. Cenicafe. pp. 61- 86.
- Argote Olivera, Marciano. 1998. Introducción al análisis de los parámetros de estabilidad. Tesis de maestría, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. pp. 3, 6, 13, 30-33.
- Arzube Mayorga, Mercedes; Orrala Borbor, Néstor; León Mejía, Ángel; Ramírez Flores, Lenni. 2017. Comportamiento productivo de clones de café robusta (*Coffea Canephora* P.) en Manglaralto, Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 4(1), 34-38.
- Badii, M. H.; Castillo, J.; Landeros, J.; Cortez, K. 2007. Papel de la estadística en la investigación científica. *InnOvaciOnes de NegOciOs*, 4(1), 107-145.
- Balzarini, Mónica; Bruno, Cecilia; Peña, Andrea; Teich, Ingrid; Di Rienzo, Julio. 2010. Estadística en biotecnología. Aplicaciones en Info-Gen. Córdoba, Argentina. Encuentro, Grupo editor. pp. 90-92-117.
- Balzarini, Mónica; Di Rienzo Julio Alejandro. 2016. Info-Gen versión 2016. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. En línea. <http://www.info-gen.com.ar> (software estadístico aplicado a genética). Recuperado el 7 de febrero de 2020.
- Bandera Fernández, Evelyn; Pérez Pelea, Leneidy. 2018. Los modelos lineales generalizados mixtos. Su aplicación en el mejoramiento de plantas. *Cultivos Tropicales*, 39(1), 127-133.
- Barrantes Aguilar, Luz Elena. 2019. Diferencias en la estimación del coeficiente de curtosis en diferentes softwares estadísticos. *E-Agronegocios*, 5(2), 1-11. En línea. <https://doi.org/10.18845/rea.v5i2.4456> Recuperado el 25 de enero de 2020.
- Benítez E., Ariel; Valencia A., Jairo; Estrada S., Edgar Ivan; Baena, Diosdado. 1988. Caracterización fenotípica de algunas introducciones del banco de germoplasma de lulo, *Solanum quitoense* Lam. *Acta Agron.*, 38(3-4), 34-49.

- Caicedo Villafuerte, Marlon Brainer; Ledesma Dávila, Ivette Brigitte; Villavicencio Linzán, Jean Paúl; Saltos Rivera, Ezequiel Arístides; Alarcón Cobeña, Francisco Daniel. 2017. Estabilidad ambiental en híbridos de maíz usando el modelo AMMI en el Litoral Ecuatoriano. *ESPAMCIENCIA*, 8(1), 23-32.
- Cattaneo, Romina M.; Gatti, Ileana; Cointry, Enrique L. 2015. Evaluación de la estabilidad y adaptabilidad de la variable rendimiento de 23 variedades de *Pisum sativum* L. a partir de diferentes metodologías. *Ciencias Agronómicas*, 25(15), 27-32.
- Cazau, Pablo. 2006. Introducción a la investigación en las ciencias sociales. 3<sup>ra</sup> ed. Buenos Aires, Argentina. pp. 6, 25-30.
- Cheng, Bing; Furtado, Agnelo; Smyth, Heather E.; Henry, Robert J. 2016. Influence of genotype and environment on coffee quality. *Trends in Food Science & Technology*, 57 (Part A, November 2016), 20-30.
- Chiguano F., Cristóbal; Játiva R., Mario. 1998. Plantaciones clonales de café robusta en sistemas agroforestales para la amazonía ecuatoriana; Guía Técnica. Francisco de Orellana, Ecuador, INIAP, Estación Experimental Central Amazónica. pp. 47.
- CIBIOGEM (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados). 2018. Nuevas técnicas de mejoramiento de plantas (NPBTs): Elementos de análisis y recomendaciones sobre su enfoque regulatorio. Documento elaborado por el Grupo de Trabajo de Reguladores y Evaluadores Técnicos en Bioseguridad. México. pp. 5, 41.
- Climate-data.org. 2021. Clima de Loreto. En línea. Disponible en <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-orellana/loreto-25434/> Recuperado el 9 de abril del 2021.
- Climate-data.org. 2021. Clima de Morona. En línea. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-morona-santiago/nueva-tarqui-180144/> Recuperado el 9 de abril del 2021.
- COFENAC (Consejo Cafetalero Nacional). 2013. Situación del sector cafetalero ecuatoriano. Portoviejo, Manabí, Ecuador. pp. 1, 14.
- Comunicaffe International. 2017. SCAE and SCAA unify to form SCA, the new Specialty Coffee Association. En línea. <https://www.comunicaffe.com/scae-and-scaa-unify-to-form-sca-the-new-specialty-coffee-ssociation/> Recuperado el 25 de abril de 2020.
- Córdova, Hugo S. 1991. Estimación de parámetros de estabilidad para determinar la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a ambientes contrastantes de Centroamérica, Panamá y México. *Agronomía Mesoamericana*, 2, 1-10.
- Corral Dávalos, Leonardo. 2019. Estadística y Técnicas experimentales. Quito, Ecuador. ABYA YALA. pp. 194, 247, 479, 480-486, 502.
- CQI (Instituto de la Calidad del Café, US). 2010. Protocolos de prueba de taza de cafés robusta. En línea. <http://www.ico.org/documents/pscb-123c-robusta.pdf> Recuperado el 20 de Febrero de 2020.
- Cuadras, Carles M. 2014. Nuevos métodos de análisis multivariante. Barcelona, España. CMC Editions. pp. 92-94.
- Cubero, José Ignacio. 2013. Introducción a la mejora genética vegetal. 3<sup>ra</sup> ed. Madrid, España: Mundi Prensa. pp. 55-57, 100-103.
- Dagnino S., Jorge. 2014. Correlación. *Rev. Chil. Anest*, 43, 150-153.
- De Franceschi, Lucía; Benin, Giovany; Marchioro, Volmir Sérgio; Newton Martín, Thomas; Rossi Silva, Raphael; Lemes Da Silva, Cristiano. 2010. Métodos para análise da adaptabilidade e estabilidade em cultivares de trigo no estado do Paraná. *Bragantia*, 69(4), 797-805.
- De Souza, Carolina Augusto; Lara Teixeira, Alexsandro; Dávila Torres, Josemar; Andrade Silva, Camila; Curitiba Espindula, Marcelo; Barros Rocha, Rodrigo. 2019. Adaptability and stability of *Coffea arabica*

lines in the western amazon. *Coffee Science*, Lavras, 14(2), 240-249.

Duicela Guambi, Luis Alberto. 2017. Café robusta: Producción y poscosecha. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Calceta, Ecuador. Humus. pp. 9, 41.

Duicela Guambi, Luis Alberto; Andrade Moreano, Jairo; Farfán Talledo, Diana Sofía; Velásquez Cedeño, Sofía del Rocío. 2018. Calidad organoléptica, métodos de beneficio y cultivares de café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) en la amazonía del Ecuador. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2), 240-253.

Duicela Guambi, Luis Alberto; Corral Castillo, Gianni Rubén; Chilán Villafuerte, Willian Paúl. 2016. Selección de "Cabezas de clon" en café robusta (*Coffea canephora*) en el trópico seco, Ecuador. *ESPAMCIENCIA*, 7(1), 23-35.

Eberhart, S. A.; Russell, W. A. 1966. Stability Parameters for Comparing Varieties. *Crop Science*, 6, 36-40.

EKOS. (8 de febrero del 2019). Top 20 principales productores de café en el mundo. *Ekos: Negocios y economía*. En línea. <https://www.ekosnegocios.com/articulo/top-20-principales-productores-de-cafe-en-el-mundo> Recuperado 30 de noviembre de 2020.

Ferrão, Romário Gava. 2004. Biometria aplicada ao melhoramento genético do café Conilón. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento). Universidade Federal de Viçosa, Brasil. pp. 250-252

Finlay, K.W. y Wilkinson, G.N. 1963. The analysis of adaptation in a Plant-Breeding Programme. *Australian Journal of Agricultural Research* 14, 742-754.

Giménez, F.; Lúquez, J.; Suárez, J.C. 2000. Estabilidad y adaptabilidad de cultivares de soja para rendimiento en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 2(104), 93-103.

Gonçalves Ivoglo, Milana; Fazuoli, Luiz Carlos; Baião de Oliveira, Antonio Carlos; Boller Gallo, Paulo; Mistro, Júlio César; Bernadete Silvarolla, María; Toma-Braghini, Masako. 2008. Divérgencia genética entre progênies de café robusta. *Bragantia, Instituto Agrônomo de Campinas*. 67(4), 823-831.

González, Tehuni; Monteverde, Edgardo; Marín, Carlos; Madriz, Petra M. 2007. Comparación de tres métodos para estimar estabilidad del rendimiento en nueve variedades de algodón. *Interciencia*, 32(5), 344-348.

Hernández Sampieri, Roberto; Fernández Collado, Carlos; Baptista Lucio, Pilar. 2010. Metodología de la Investigación. 5<sup>a</sup> ed. México. Mc-Graw Hill. pp. 4, 19-22, 546.

Hetzel, Andrew. 2015. Fine Robusta Standards and Protocols. Coffee Quality Institute. En línea. <https://www.coffeestrategies.com/wp-content/uploads/2015/04/compiled-standards-distribute1.1.pdf> Recuperado el 30 de marzo del 2019.

Hidalgo Troya, Arsenio. 2019. Técnicas estadísticas en el análisis cuantitativo de datos. *Sigma*, 15(1), 28-44.

IBM. 2013. SPSS Statistics versión 22. Chicago, USA. IBM. Programa estadístico.

INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). 2016. Anuario meteorológico: Estaciones meteorológicas M005 Portoviejo, M006 Pichilingue y M025 La Concordia. Quito, Ecuador. pp. 25, 26, 32.

INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias). 2019. Café robusta: Ensayos 2016-2019. Programa de Investigación en Cacao y Café. En línea. <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcafec/rcafer> Recuperado el 9 de abril del 2021.

IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). 1996. Descriptores del café. IPGRI. Rome, Italy. pp. 6, 29-30.

Jarque, Carlos M. y Bera, Anil K. 1987. A test for normality of observations and regression



residuals. *International Statistical Review*, 55(2), 163-172.

Jiménez Contreras, Johnny José. 2006. Determinación y aplicación de métodos estadísticos para medir estabilidad genética en vegetales. Caso banano. 427. Tesis en Ingeniería Estadística Informática, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Guayas, Ecuador. pp. 360-361, 381.

Jiménez, Roberto. 2014. Estudio de mercado y tendencias de las certificaciones agrícolas relevantes para el grano de café ecuatoriano. Informe de Consultoría, VECO. Quito, Ecuador. p. 12.

Kumagai, Etsushi; Homma, Koki; Kuroda, Eiki; Shimono, Hiroyuki. 2016. Finlay-Wilkinson's regression coefficient as a pre-screening criterion for yield responsiveness to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration in crops. *Physiologia Plantarum*, 158(3), 312-317.

Lagos, Tulio César; Criollo Escobar, Hernando. 2001. Eficiencia relativa del diseño en látice con respecto al diseño bloques al azar e irrestrictamente al azar en un ensayo de maíz de clima medio. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 18(1), 140-149.

Leroy, Thierry; De Bellis, Fabien; Legnate, Hyacinthe; Musoli, Pascal; Loor Solórzano, Rey Gastón; Cubry, Philippe. 2014. Developing core collections to optimize the management and the exploitation of diversity of the coffee *Coffea canephora*. *Genética*, 142(3), 185-199.

Lima Filho, Tarcísio; María Della Lucia, Susana María; Henriques Saraiba, Sérgio; Sartori Marco Antonio. 2013. Composição físico-química e qualidade sensorial de café conilon produzido no Estado do Espírito Santo e submetido a diferentes formas de processamento. *Ciencias Agrarias*, 34(4), 1723-1730.

Lin, C. S.; Binns, M. R. 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Can. J. Plant Science*, 68(1), 193-198.

Lin, C. S.; Binns, M. R.; Lefkovich, L. P. 1986. Stability Analysis: Where Do We Stand? *Crop science*, 26(5), 894-900.

Loor Solórzano, Rey Gastón; De Bellis, Fabien; Leroy, Thierry; Plaza, Luis; Guerrero, Hilton; Subía, Cristian; Calderon, Darío; Fernández Fabián; Garzón, Iván; López, Diana; Vera, Danilo. 2017. Revealing the diversity of introduced *Coffea canephora* germoplasm in Ecuador: Towards a national strategy to improve robusta. *The Scientific World Journal*, 2017, 1-12.

López Morales, Fernando; Vásquez Carrillo, María Griselda; Molina Galán, José D.; García Zavala, J. Jesús; Corona Torres, Tarcísio; Cruz Izquierdo, Serafín; López Romero, Gustavo; Reyes López, Delfino; Esquivel Esquivel, Gilberto. 2017. Interacción genotipo-ambiente, estabilidad del rendimiento y calidad de grano en maíz Tuxpeño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1035-1050.

Lozano Ramírez, Águeda; Santacruz Varela, Amalio; San Vicente García, Félix; Crossa, José; Burgueño, Juan; Molina Galán, José D. 2015. Modelación de la interacción genotipo x ambiente en rendimiento de híbridos de maíz blanco en ambientes múltiples. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(4), 337-347.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 1987. Primer Diagnóstico Cafetero. Programa Nacional del Café. Portoviejo, Manabí, Ecuador. pp. 6-12, 18, 31.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2002. Tercer Censo Nacional Agropecuario: Resultados nacionales y provinciales. Quito, Ecuador. INEN-MAG. Vol. 1. pp. 15-17.

Manterola D., Carlos; Pineda N., Viviana, 2008. El valor de "p" y la "significación estadística": Aspectos generales y su valor en la práctica clínica. *Revista chilena de cirugía*, 60(1), 86-89.

Meneses, Julio. 2019. Introducción al análisis multivariante. Universidad Oberta de Catalunya. Barcelona, España. pp. 22-24.

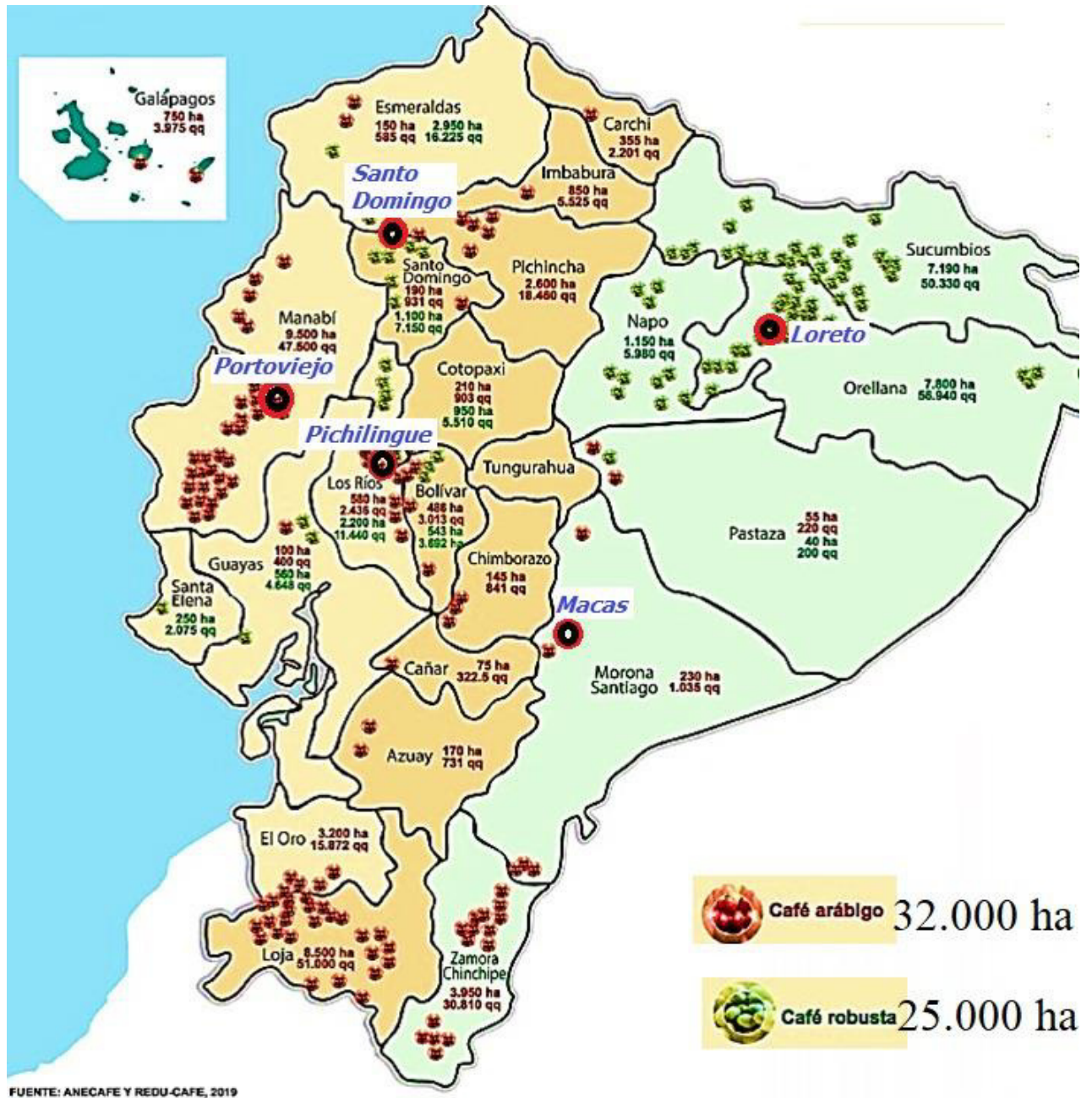
Mesén, Francisco. 1994. Ensayos de procedencias en especies forestales: Establecimiento, manejo, evaluación y análisis. EN Manual sobre mejoramiento genético forestal, Capítulo 3. J.P. Cornelius, J.C. Mesén y E.A. Corea, Comp. CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp. 25-43.

- Missouri Botanical Garden. 2010. *Coffea*: Species in *Coffea*. En línea. <http://www.theplantlist.org/browse/A/Rubiaceae/Coffea/> Recuperado el 30 de marzo de 2017
- Mistro, Júlio César. 2013. Estimativas de parâmetros genéticos visando o melhoramento do café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner). Tese Doctor en Ciencias, Universidade de São Paulo. Piracicaba, Brasil. pp. 133.
- Monteros Guerrero, A. 2017. Rendimientos de café grano seco en el Ecuador. Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información. Quito, Ecuador. MAGAP. p. 8.
- Muntaner, Soledad Peregrina. 2019. Análisis de la situación de la industria cafetalera ecuatoriana. Propuesta de un modelo de indicadores de sostenibilidad. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid. p. 107
- Muñoz, Belén; Romana, Manuel. 2019. Espacios métricos y métodos de decisión multicriterio. *Pensamiento matemático*, 9(1), 41-54.
- Nascimento, Moysés; Ferreira, Adésio; Gava Ferrão, Rómario; Mota Campana, Ana Carolina; Lopes Bhering, Leonardo; Cruz, Cosme Damião; Gava Ferrão, Maria Amélia; Almeida da Fonseca, Aymbiré Francisco. A. 2010. Adaptabilidade e estabilidade via regressão não paramétrica em genótipos de café. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(1), 41-48.
- Navarro, Juan Ramón; Vargas, Jorge Claudio. 2015. Eficiencia relativa del diseño de bloques completos al azar para ensayos de arroz en Bagaces, Guanacaste, Costa Rica. *InterSedes*, 16(34), 1-9.
- Navas López, José Francisco. 2019. Mejora de olivo para adaptación a diferentes condiciones ambientales y sistemas de cultivo. Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba. Córdoba, España. UCOPress. p. 3.
- OIC (Organización Internacional del Café). 2021. Word Coffee Statistics. En línea. [http://www.ico.org/ES/trade\\_statistics.asp](http://www.ico.org/ES/trade_statistics.asp) Recuperado el 11 de marzo de 2021
- Panhuisen, Sjoerd; Pierrot, Joost. 2014. Barómetro de café 2014. Plataforma de Comercio Sostenible. En línea. <http://hivos.org/coffee/> Recuperado el 2 de Marzo de 2020.
- Perfect Daily Grind. 2020. ¿Por qué la productividad del café varía según el país? En línea. <https://perfectdailygrind.com/es/2020/07/10/por-que-la-productividad-del-cafe-varia-segun-el-pais/> Recuperado el 12 de marzo de 2021.
- Plaza Avellán, Luis Fernando; Llor Solórzano, Rey Gastón; Guerrero Castillo, Hilton Ecuador; Duicela Guambi, Luis. 2015. Caracterización fenotípica del germoplasma de *Coffea canephora* Pierre base para su mejoramiento en Ecuador. *ESPAMCIENCIA*, 6(1), 7-14.
- Plaza, Luis; Llor, Rey Gastón; Guerrero, Hilton; Quijano, Grisnel; Quiroz, James; Párraga, Johan; Subía, Cristian; Calderón, Darío; Fernández, Fabián. 2016. Características agronómicas: Protocolo 1, rubro café. EN Mejoramiento y homologación de los procesos y protocolos de investigación, validación y prestación de servicios en cacao y café. Estación Experimental Tropical Pichilingue, Programa Nacional Cacao y Café. Publicación miscelánea N° 433: INIAP-MAGAP. 37 p.
- Ponce Vaca, Luciano Abelardo; Orellana Suárez, Kléber Dionicio; Acuña Velázquez, Isidro Rolando; Alfonso Alemán, Juan Luis; Fuentes Figueroa, Tomas. 2018. Situación de la caficultura ecuatoriana: perspectivas. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 6(1), 307-325.
- Robles Rakov, Marcos Andrei; Valverde Campos, Marilyn Ysable. 2021. Sistema de predicción para incrementar las ventas de accesorios y repuestos automotrices en la empresa GGP Automotriz. Tesis Ingeniero en computación y sistemas, Universidad San Martín de Porras. Lima, Perú. pp. 166-175. Disponible en <https://repositorioacademico.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/7424> Recuperado 5 de abril del 2021.
- Rocha, Rodrigo; Ramalho, André; Teixeira, Alexsandro; Souza, Flavio; Cruz, Cosme. 2015. Adaptabilidade e estabilidade da produção de café beneficiado em *Coffea canephora*. *Ciencia Rural*, 45(9), 1531-1537.

- Rojas C., Marcelo. 2002. Manual de investigación y redacción científica. 3<sup>ra</sup>. ed. Lima, Perú. Book Xx press. pp. 6, 15.
- Rojo Jiménez, Elena; Pérez-Urria Carril, Elena. 2014. Café I (G. Coffea). *Reduca (Biología). Serie Botánica*. 7(2), 113-132.
- Royal Coffee. 2018. Procedimientos y Protocolos de Catación. Guía. En línea. <https://royalcoffee.com/procedimientos-y-protocolos-de-la-catacion/> Recuperado el 25 de Abril de 2020.
- Sa'diyaha, Halimatus; Futuhul-Hadi, Alfian. 2016. AMMI Model for Yield Estimation in Multi-Environment Trials: A Comparison to BLUP. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, 163-169.
- Sabaghnia, Naser. 2015. Identification of the most stable genotypes in multienvironment trials by using nonparametric methods. *Acta agriculturae Slovenica*, 105(1), 103-110.
- Santana Moraes, Marcos; Barros Rocha, Rodrigo; Lara Teixeira, Alexsandro; Curitiba Espindula, Marcelo; Andrade Silva, Camila; Pereira, Aurenny Lunz. 2020. Adaptability and stability of *Coffea canephora* Pierre ex Froehner genotypes in the Western Amazon. *Ciência Rural, Santa María*, 50(1), 1-10.
- SCA (Specialty Coffee Association). 2020. Protocolo Modificado de Taceo SCA. Protocolo, 1. En línea. <https://static1.squarespace.com/static/584f6bbef5e23149e5522201/t/5e73a3034201be450121522a/1584636693702/Modified+SCA+Cupping+Protocol+Release+v1+SCA+Spanish+Translation.pdf>. Recuperado el 25 de abril de 2020.
- Siegel, Sidney. 1990. Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta. 3<sup>ra</sup> ed. México, México. Trillas. pp. 25-37, 64-66, 215-223-242.
- Silva Díaz, Rubén J.; Pérez Colmenares, Alberto A.; Medina Montilla, Sol A.; Viloría Díaz, Juan E.; García Mendoza, Pedro J.; Duarte, Ana; Tablante, Jacinto; Pacheco, Tirzo. 2014. Estabilidad fenotípica de híbridos de maíz en Venezuela utilizando el índice de superioridad y la regresión lineal bisegmentada. *Agronomía Tropical*, 64(1-2), 107-120.
- Spiegel, Murray R. 2000. Estadística. 2<sup>da</sup> ed. Rafael Hernández, Trad. México. McGraw-Hill. pp. 60, 413-416.
- Tiessen Favier, Axel. 2009. Fundamentos y Metodologías Innovadoras para el Mejoramiento Genético del Maíz. México. Ciencia Activa. pp. 25, 225.
- UNC (Universidad Nacional de Córdoba). 2018. INFOSTAT versión 2018. Córdoba, Argentina. Brujas. Programa estadístico.
- Vargas Escobar, Ever Andrés; Baena García, Diosdado; Vargas Sánchez, José Ever. 2016. Análisis de estabilidad y adaptabilidad de híbridos de maíz de alta calidad proteica en diferentes zonas Agroecológicas de Colombia. *Acta Agronómica*, 65(1), 72-79.
- Ward, Joe H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American statistical association*, 58(301), 236-244.
- Williams Alanís, Héctor; Pecina Quintero, Víctor; Zavala García, Francisco; Montes García, Noé; Gámez Vázquez, Josué; Arcos Cavazoz, Gerardo; García Gracia, Miguel, A.; Montes Hernández, Salvador; Alcalá Salinas, Leticia. 2010. Modelo de Finlay y Wilkinson vs el modelo AMMI para analizar la interacción genotipo-ambiente en sorgo. *Revista Fitotecnica mexicana*, 33(2), 117-123.
- Zambrano Flores, Fanny G.; Loo Solórzano, Rey G.; Plaza Avellán, Luis F.; Jaimez Arellano, Ramón E.; Guerrero Castillo, Hilton E.; Casanova Mendoza, Teresa DJ.; López, Diana A; Rodríguez Zamora, Gladys A. 2018. Relación entre productividad y calidad integral del grano en selecciones avanzadas de café robusta (*Coffea canephora*) en Ecuador. *Agrociencia*, 52(4), 593-607.
- Zobel, Richard W.; Wright, Madison J.; Gauch Jr., Hugh G. 1988. Statistical Analysis of a Yield Trial. *Agronomy Journal*, 80, 388-393.

**ANEXOS**

ANEXO 1. Distribución geográfica de las localidades cafetaleras en estudio





ANEXO 2. Clon de café robusta LT-A2

