INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO
DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

ESTACIÓN EXPERIMENTAL TROPICAL PICHILINGUE

BOLETÍN TÉCNICO Nº 135

ENTORNO AMBIENTAL, GENÉTICA, ATRIBUTOS DE CALIDAD Y SINGULARIZACIÓN DEL CACAO EN EL NOR ORIENTE DE LA PROVINCIA DE ESMERALDAS

Freddy Amores
Angela Palacios
Juan Jiménez
Dapeng Zhang

QUEVEDO-LOS RÍOS-ECUADOR
MAYO-2009

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO
DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

ESTACIÓN EXPERIMENTAL TROPICAL PICHILINGUE

BOLETÍN TÉCNICO N° 135

ENTORNO AMBIENTAL, GENÉTICA, ATRIBUTOS DE CALIDAD Y SINGULARIZACIÓN DEL CACAO EN EL NOR ORIENTE DE LA PROVINCIA DE ESMERALDAS

Freddy Amores (EET-Pichilingue)
Angela Palacios (EET-Pichilingue)*
Juan Jiménez (EET-Pichilingue)
Dapeng Zhang**

* Becaria INIAP durante el período 2006-2008
** Biólogo molecular USDA

QUEVEDO-LOS RÍOS-ECUADOR
MAYO-2009

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

GOBIERNO NACIONAL
DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR

Rafael Correa Delgado
PRESIDENTE CONSTITUCIONAL

Walter Poveda Ricaurte
MINISTRO DE AGRICULTURA, GANADERIA,
ACUACULTURA Y PESCA

Julio César Delgado Arce
DIRECTOR GENERAL DEL INIAP

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

MUESTRA NOR ORIENTE PROV. ESMERALDAS

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

MUESTRA NOR ORIENTE PROV. ESMERALDAS

CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN 1
Planteamiento del problema 2
Justificación 3
Objetivo de Desarrollo 3
Objetivos específicos 4

MARCO TEÓRICO 5
Origen y grupos genéticos de cacao 5
Entorno climático 7
Temperatura 8
Luminosidad 8
Humedad atmosférica (HR) 10
Precipitación 10
El ambiente edáfico 10
Indicadores de fertilidad 12
¿Qué es el pH? 12
Materia orgánica (M.O) 13
Capacidad de intercambio catiónico (CIC) 13
Conductividad eléctrica (CE) 14
Requerimientos nutricionales del cultivo de cacao 14
Marcadores moleculares para estudiar la genética del cacao 19
Construcción de la calidad integral del cacao 19
Beneficiado del cacao 20
Cosecha 20
Apertura de la mazorca y extracción de almendras 21
Fermentación 21
Métodos de fermentación 22
Tiempo de fermentación 23
Temperatura en la fermentación 24
Secado del cacao 24
Secado natural (al sol) 24
Secado artificial 25
Almacenamiento del cacao 25
Evaluación de la calidad 26
Calidad física 26
Prueba de corte para el análisis de fermentación 27
Composición química del grano de cacao 28
Perfil sensorial del cacao 34
Normas para controlar la calidad de cacao 37

MATERIALES Y MÉTODOS 39
Entorno agro-climático 39
Delimitación y diagnóstico de las huertas cacaoteras estudiadas 40

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Análisis de la información histórica de parámetros climáticos 41
Muestreo de suelos y análisis de la fertilidad 42
Muestras foliares y análisis de ADN 42
Muestreo y fermentación del cacao 44
Manejo de las muestras en el laboratorio 47
Torrefacción (tostado), descascarillado y preparación del licor de cacao 48
Análisis físicos 50
Prueba de Corte y porcentajes de fermentación 50
Días requeridos de fermentación 50
Índice de semilla 50
Número de Almendras en 100 gramos 50
Porcentaje de testa 51
Distribución del peso de las almendras 51
Color de los cotiledones de cacao 51
Análisis químicos 51
Porcentaje de grasa 52
Polifenoles totales 52
Acidez titulable 52
Potencial de hidrógeno (pH) 52
Contenido de teobromina y cafeína y relación teobromina/cafeína 53
Análisis sensorial 53
Manejo estadístico y presentación de la información 53

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN 55
Caracterización de las huertas cacaoteras 55
Entorno climático 57
Entorno edáfico 59
Análisis Molecular 62
Resultados para las variables físicas, químicas y sensoriales 68
Variables físicas 68
Porcentaje de fermentación 68
Tiempo de fermentación 70
Índice de semilla, número de semillas en 100 gramos y porcentaje de testa 71
Distribución de peso de las almendras 73
Color de las almendras 76
Variables químicas 76
Contenido de grasa 77
Polifenoles totales 78
pH y acidez titulable 78
Evolución del pH a través de la fermentación y secado 79
Teobromina y Cafeína y relación Teobromina/Cafeína 79
Variables organolépticas 80

CONCLUSIONES 84

BIBLIOGRAFÍA 87

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Pag.
1	Guía para la interpretación de los resultados del análisis de fertilidad del suelo	16
2	Requerimientos nutricionales del cultivo del cacao desde el estado de plántulas hasta la producción	17
3	Nutrientes absorbidos por una tonelada métrica de almendras de cacao seco y fermentado de la variedad nacional	17
4	Peso de las almendras y número de almendras en 100 gramos	27
5	Composición química de almendras de cacao fermentadas y secas	29
6	Porcentaje de grasa y punto de fusión de muestras de tres grupos genéticos de cacao	29
7	Contenido de ácidos orgánicos en muestras de cacao fermentado y seco de distintos orígenes internacionales	31
8	Promedios de acidez titulable en cotiledones de almendras de cacao provenientes de fincas comerciales de varias zonas productoras del Ecuador	32
9	Evolución del contenido de teobromina en la cáscara y cotiledón del grano de cacao durante 10 días de fermentación	33
10	Valores de la relación Teobromina/Cafeína para diferentes grupos genéticos de cacao	34
11	Normas de calidad para evaluar y clasificar el cacao en grano beneficiado	38
12	Fincas seleccionadas, superficie, propietarios, ubicación geográfica, altitud y edad de las huertas en el sector estudiado	39
13	Poblaciones cacaoteras y genotipos comparados para estimar su similitud y distancia genética con la población de Colón Eloy – Maldonado	44
14	Algunas características de las huertas cacaoteras en el sector de Colón Eloy – Maldonado	55
15	Especies arbóreas intercaladas, plantas comestibles y otras presentes en las huertas cacaoteras	56
16	Promedios mensuales de precipitación, temperatura y humedad relativa, correspondientes al período 2000 – 2005	58
17	Resultados del análisis de muestras de suelos del sector de Colón Eloy – Maldonado en el nor oriente de la provincia de Esmeraldas	60
18	Comparación de la diversidad genética de poblaciones de cacao en el nor oriente de la provincia de Esmeraldas, con tres poblaciones referenciales	65
19	Influencia de las épocas lluviosa y seca sobre algunas características químicas de las almendras provenientes de fincas en el nor-oriente de la provincia de Esmeraldas	77
20	Resultados sensoriales obtenidos por tres paneles distintos que evaluaron muestras de cacao producido en el sector Colón Eloy-Maldonado	82

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

LISTA DE FIGURAS

Figura		Pag.
1	Ubicación de la zona seleccionada para el estudio en el nor oriente de la provincia de Esmeraldas	40
2	Ubicación de las fincas cacaoteras seleccionadas para el estudio en el sector de Colón Eloy – Maldonado	41
3	Muestreo foliar en fincas cacaoteras seleccionadas para el estudio	43
4	Fermentación de muestras de cacao de las fincas seleccionadas	46
5	Proceso de secado para el cacao fermentado	47
6	Ilustración del proceso de preparación de la pasta o licor de cacao	48
7	Proceso de preparación de las muestras para su almacenamiento	49
8	Comparación entre el número promedio de mazorcas sanas y enfermas por árbol	57
9	Análisis del Componente Principal (ACP) para comparar la información genética de la población de Colon Eloy – Maldonado con varios clones y poblaciones de referencia	64
10	Dendograma de la relación genética entre poblaciones de cacao con distinto origen genético	66
11	Probabilidad (representada como LNP) para las estimaciones del número de poblaciones de cacao (K) en Ecuador, calculada mediante el método Bayesian Markov Chain Monte Carlo	69
12	Comportamiento del porcentaje de almendras fermentadas en función del tiempo de fermentación	70
13	Respuesta del porcentaje de almendras fermentadas frente al número de días de fermentación	71
14	Comparación de los índices de semilla de cacao en las épocas lluviosa y seca	72
15	Número de almendras por 100 gramos y porcentaje de testa registrados durante las épocas seca y lluviosa	73
16	Distribución de frecuencias para el peso de las almendras fermentadas y secas al 7% de humedad durante las épocas lluviosa y seca	75
17	Porcentaje promedio de almendras de color blanco marfil y rosado pálido en muestras de cacao colectadas en el nor oriente de la provincia de Esmeraldas	76
18	Perfiles sensoriales de licor de cacao proveniente de muestras de almendras colectadas durante las épocas lluviosa y seca en el sector Colon Eloy – Maldonado en el nor oriente de la provincia de Esmeraldas	83

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

ENTORNO AMBIENTAL, GENÉTICA, ATRIBUTOS DE CALIDAD Y SINGULARIZACIÓN DEL CACAO EN EL NOR ORIENTE DE LA PROVINCIA DE ESMERALDAS

RESUMEN

La presente investigación fue conducida por el INIAP durante el periodo 2006-2008, en el sector de Colon Eloy-Maldonado, nor oriente de la provincia de Esmeraldas, con los siguientes objetivos: 1) Caracterizar el entorno ambiental (clima, suelos, vegetación, etc.) y las condiciones de producción del cacao, 2) Explorar la estructura genética de los árboles que componen la población predominante, y 3) Determinar indicadores físicos, químicos y sensoriales, con base a una caracterización previa, para facilitar la identificación del origen comercial proveniente del sector estudiado. Los resultados mostraron que la generalidad de las huertas cacaoteras son sistemas de cultivo extremadamente extensivos, sin control tecnológico. El entorno climático, relativamente homogéneo durante todo el año, está caracterizado por un exceso de precipitación en relación con la demanda hídrica del cacao, combinado con promedios de temperatura y humedad ambiental que se encuentran dentro de los rangos normales para el cultivo. Los suelos tienen naturaleza aluvial y son francos, de mediana profundidad, con índices de fertilidad que varían de moderado a bajo. La composición genética de los árboles, aunque distinta al de otras poblaciones de cacao ecuatoriano, comparten con éstas niveles similares de riqueza alélica y heterocigosis. La presencia de componentes genéticos de cacao Nacional y Criollo resultó mucho menos conspicua de lo esperado, pero en cambio el estudio develó una importante presencia estructural de los cacaos Scavina, genotipos alto Amazónicos, en el 14% de los árboles de la muestra. Además, la mayoría de los árboles presenta un componente genético sin vinculación con los genotipos referenciales en el estudio, especulándose que podría provenir de otros cultivares alto Amazónicos, que intervinieron como parentales en los primeros programas de mejoramiento genético de cacao en el Ecuador, allá en los años 50´s. El índice promedio de almendra igual a 1.35 g, supera al promedio de un grupo de muestras de lotes de exportación, así como al promedio de varios orígenes comerciales de otros países productores. La proporción de cascarilla (testa) en relación al peso total de la almendra es igual al 15%, cifra considerada moderadamente alta. El 11% de las almendras carece de antocianina (dotadas de color blanco marfil) o su concentración es baja (color rosado pálido), sugiriendo la existencia de arboles acriollados en la población estudiada. El 71.9% de las almendras tienen pesos que les permiten distribuirse en las categorías de mayor calidad, a saber: ASS, ASSS y ASSPS. La concentración de grasa se ubica claramente dentro del rango 45.4% a 50.1% obtenido para un grupo de muestras provenientes de distintas zonas del país. Pero el nivel de acidez de las almendras fermentadas y secas, así como su contenido de polifenoles, caen fuera del extremo inferior del rango para ambos

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

parámetros en las mismas muestras. La relación teobromina/cafeína, un índice que aporta a la diferenciación entre los cacaos finos o de aroma y los cacaos ordinarios, con un valor de 4.59, se enmarca en el rango de 4 a 6 que caracteriza al cacao ecuatoriano. El análisis sensorial develó un perfil con sabor intermedio a cacao y notas sensoriales de tipo frutal, floral y nuez, con calificaciones de 4.3, 3.1 y 2.4, en el mismo orden, contrastando con la predominancia del sabor floral que caracteriza al cacao de otras zonas del país. En otras palabras, el origen señalado posee un perfil sensorial suave y balanceado, donde el sabor a cacao se complementa con notas sensoriales típicas de los cacaos finos o de aroma, en la secuencia frutal-floral-nuez. Como conclusión, los resultados alcanzados confirman la singularidad del origen producido por el sector de Colon Eloy-Maldonado en el nor oriente de la provincia de Esmeraldas; además son útiles para definir y describir su identidad comercial en los ámbitos genético, físico, químico y sensorial. La información obtenida podría convertirse en el punto de partida para construir una Denominación de Origen.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

ENTORNO AMBIENTAL, GENÉTICA, ATRIBUTOS DE CALIDAD Y SINGULARIZACIÓN DEL CACAO EN EL NOR ORIENTE DE LA PROVINCIA DE ESMERALDAS

INTRODUCCIÓN

El cacao es uno de los productos más tradicionales del Ecuador. La actividad cacaotera en la región Costa es de larga data, casi 400 años, mientras que en la región Amazónica comenzó a desarrollarse desde hace un cuarto de siglo. Por esta razón, el 90% de la superficie cultivada se encuentra en la Costa, en su mayor parte sembrada con la variedad conocida como complejo Nacional x Trinitario, responsable de la producción de cacao fino o de aroma que identifica a las exportaciones que salen del país hacía Europa y EE.UU., principales destinos de las ventas del cacao ecuatoriano.

Hay un interés creciente en el sector cacaotero local por el desarrollo tecnológico y expansión del cultivo del cacao, en respuesta a su importancia en aumento como generador de ingresos para el país, en montos de 178, 248 y 291 millones de dólares en el 2006, 2007 y 2008. Las cifras reflejan el constante crecimiento de la cadena de valor basada en este rubro de exportación, crecimiento con gran significación social ya que el 75% de la producción proviene de pequeñas fincas, donde el cacao complementa a otros cultivos en la dinamización de la economía familiar.

La demanda creciente de orígenes comerciales identificados mediante características particulares que los distinguen, representa una fuerza vigorosa en el proceso de creación de oportunidades para agregar valor a la producción de orígenes especiales. Sin embargo, su aprovechamiento requiere del conocimiento necesario para entender y describir claramente los rasgos que definen un origen comercial de interés. Es que una identidad correctamente definida, mejor aún si está protegida con mecanismos de propiedad intelectual como una Denominación de Origen, se convierte en el punto de partida para reforzar o iniciar nuevos procesos de creación de valor para aumentar los ingresos provenientes de las ventas del cacao.

Según opiniones de operadores en el mercado internacional, existen zonas y sectores en el país que son el origen de cacaos con diferencias en los perfiles de sabor y aroma. Tal es el caso del cacao "Arriba" procedente de la parte media y baja de la cuenca del río Guayas (Quevedo, Valencia, Buena Fe, Vinces, Babahoyo, etc.); el cacao de Manabí procedente en gran parte de la cuenca del Río Portoviejo (Poza Honda, Santa Ana, Rocafuerte, Junín, Calceta, Chone, etc.); el cacao producido en el sur de la provincia del Guayas y norte de la provincia del Oro (Milagro, Naranjal, Balao, Tenguel, Santa Rosa, etc.) y el cacao de Esmeraldas, provincia

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

que hasta hace poco tiempo no producía grandes volúmenes. La posible presencia de híbridos de cacao tipo Criollo con cacaos locales en la provincia de Esmeraldas, es un supuesto bastante difundido y factor de importancia en la apreciación de la calidad sensorial de este origen, y además es una de las inquietudes atrás del presente estudio.

La posibilidad de construir identidades para reforzar el posicionamiento comercial de cacaos especiales, puede extenderse a orígenes enmarcados en escalas geográficas reducidas, incluso de unos pocos cientos de kilómetros cuadrados. Es decir que dentro de una zona relativamente amplia, puede existir uno o más sectores que por causa de la interacción genotipo x ambiente, se conviertan en el origen de cacaos particulares, con interés para operadores de nichos de mercado con alto valor.

Un ejemplo, es el caso de una empresa europea que desde hace aproximadamente tres años compra cacao producido en el nor oriente de la provincia de Esmeraldas, particularmente en el sector de Colon Eloy-Maldonado, a través de APROCANE (la asociación que agrupa a los productores cacaoteros del sector), para la elaboración de chocolates finos, con base a sus atributos distintivos de sabor.

Con precios atractivos en el mercado local, este origen hace una valiosa contribución a la economía local. Sin embargo, excepto por el nombre del sector donde se produce el origen, éste carece de identidad definida y por tanto no es descriptible ni certificable para garantizar su singularidad y calidad. Con esta problemática de fondo, el INIAP planificó y condujo la presente investigación para producir el conocimiento necesario que permita llenar el vacío de identidad descrito.

Planteamiento del problema

La identidad de cualquier origen comercial es clave para ser reconocido por parte de los operadores del mercado, más aun si ya es considerado un cacao especial. Además, la protección de su identidad mediante mecanismos de propiedad intelectual, proporciona al mercado herramientas para el aseguramiento de su calidad. Por lo tanto, un origen debidamente definido, reconocido y protegido, promueve la valorización, producción y estabilidad de un suministro calificado de cacao a largo plazo, en condiciones económicas superiores a la comercialización de los cacaos corrientes o sin distinción especial.

APROCANE acopia y exporta el cacao proveniente del sector denominado Colon Eloy-Maldonado, en el nor oriente de la provincia de Esmeraldas. En el 2008 el volumen exportado superó las 150 toneladas de cacao en grano, con perspectivas interesantes para una demanda incrementada en el corto plazo. Desde hace tiempo, los operadores locales e internacionales, vienen señalando a esta provincia como el origen de un cacao con características particulares, en cuanto tiene que ver con sus atributos de sabor y aroma, posiblemente como re-

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

sultado de complejas interacciones genotipo x ambiente. Pero aparte de tales opiniones, dotadas de la consiguiente carga de subjetividad, el origen en mención no dispone de una identidad construida sobre sus características particulares, como base para su descripción y certificación, requisitos importantes para el mercadeo efectivo de cacaos especiales.

Cualquier intento para un reconocimiento comercial ampliado estará limitado sin tales requisitos. Por otro lado, la demanda creciente, seguramente producirá incentivos económicos que alienten comportamientos inconvenientes para la cadena de comercialización, causando controversias, pedidos de arbitrajes y haciendo necesaria la aplicación de normas y estándares para el aseguramiento de la calidad. Se corre el riesgo de que la producción se homogenice con la de otros cacaos, erosionándose la singularidad y recortándose el valor comercial del origen señalado, en perjuicio de la economía de los pequeños productores del sector. La presente investigación se condujo como un primer paso para contribuir a la solución de la problemática descrita, mediante la producción del conocimiento científico y técnico necesario, que permita la construcción de una identidad para el origen en referencia.

Justificación

Los resultados de la presente investigación se convertirán en insumos valiosos para los procesos de búsqueda y desarrollo de mercados diferenciados, como un camino para valorizar la producción cacaotera del sector nor oriental de la provincia de Esmeraldas, uno de los más deprimidos del país. En el corto plazo, la información científica-técnica producida por el proyecto, puede servir de base para impulsar iniciativas que culminen en la certificación del origen y aun en el desarrollo de una marca comercial, como herramientas de valorización, negociación y mercadeo. A su vez, las acciones anotadas, servirán de referente para que los operadores cacaoteros se interesen, formulen y pongan en marcha procesos similares en otras zonas del país.

Complementariamente, la difusión de los resultados del estudio y perspectivas sobre su modo de utilización, proporcionarán al mercado externo y sus nichos especializados, información útil sobre la visión y capacidad creciente del país para estructurar y caracterizar su producción cacaotera, en función de zonas y sectores geográficos específicos, como insumo básico para planificar la oferta y asegurar la calidad. El objetivo final de éste y otros estudios futuros en la misma línea de trabajo, está representado por la descripción y definición precisa de orígenes de calidad, para facilitar su posicionamiento en nichos de mercado con alto valor.

Objetivo de Desarrollo

Describir y sintetizar las características que definen la calidad integral del cacao producido en el sector nor oriental de la provincia de Esmeraldas, considerado un

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

cacao especial, descripción que será complementada con conocimiento genético y ambiental, para construir su identidad como origen comercial.

Objetivos específicos

- Caracterizar el entorno ambiental (clima, suelos, vegetación, etc.) y las condiciones de la producción de cacao en el sector.
- Explorar la estructura genética de los árboles que componen la población de cacao que produce el origen señalado.
- Determinar indicadores físicos, químicos y sensoriales, con base a la caracterización previa, para facilitar la identificación de dicho origen en el mercado.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

MARCO TEÓRICO

Origen y grupos genéticos de cacao

El cacao (*Teobroma cacao*) es originario de América del Sur, específicamente de las cuencas hidrográficas del alto Amazonas y Orinoco, al este de la cordillera de Los Andes, en territorios que hoy corresponden a Colombia, Ecuador, Perú, Brasil, Venezuela y las Guyanas. En esa amplia zona aún persisten variedades silvestres (*Rohan, 1960*) conservando una gran diversidad genética de la especie, un recurso todavía escasamente explorado (*Bartley, 2005*) y aprovechado económicamente.

Según *Bartley (2005)*, Pound constató la presencia de amplia variabilidad fenotípica en cacaos silvestres colectados cuando exploraba el bajo Amazonas en la década de 1930. Sugirió que el fenómeno había surgido por la diferenciación ocurrida en los valles formados por los ríos Napo, Putumayo y Caquetá, afluentes del Amazonas, cerca de las fronteras orientales de Ecuador y Colombia, así como de algunos tributarios del río Orinoco como el Guaviare.

Hay escasa literatura sobre el cultivo del cacao pre colonial en lo que hoy es la república del Ecuador, quizás por el hecho de que los españoles llegaron primero a México y Centroamérica y allí conocieron sobre el cacao y su uso. Más tarde, al llegar a territorio que hoy es el Ecuador, ya no se interesaron por este fruto. Las crónica dicen que cuando Pizarro llegó a Bahía de Matheus (actualmente la provincia de Esmeraldas) encontró cultivos de cacao en este sector *(Arosemena, 1991)*.

La variedad de cacao Nacional autóctona del Ecuador, comenzó a cultivarse comercialmente a principios del siglo XVIII. El cultivo fue ampliándose hacía el norte, a lo largo de las vías fluviales, a medida que se incrementaba la demanda en Europa y decaía la producción en México y Venezuela, productores importantes de cacao en esa época. Se sugiere *(Enríquez, 1985; Vera, 1993)* que la variedad es originaria de los declives orientales de la Cordillera de Los Andes. En efecto, se ha observado el mismo tipo de mazorca y semilla en plantas nativas en las zonas de Tena, Archidona y Macas, especulándose que los frutos transportados de un lado a otro de la cordillera, posiblemente a través de monos y ardillas, dieron lugar a las primeras plantas de cacao en la Costa. Evidencia científica reciente en base a resultados sobre la genética molecular del cacao ecuatoriano *(Loor, 2007)*, refuerzan esta teoría.

Según *Hardy (1961)*, hay tres grandes grupos genéticos de cacao: Criollos, Forasteros y Trinitarios. Sin embargo, estudios contemporáneos de genética molecular confirman la amplia diversidad genética de la especie, colocando a la variedad de cacao Nacional como un grupo separado de los otros tres *(Crouzillat et al, 2000)*. Estudios más recientes *(Motamayor et al, 2008)*, sugieren inclusive la existencia de 10 grupos genéticos, como base para entender mejor la amplitud y estructuración de la diver-

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

sidad genética del cacao en las poblaciones actuales. La confirmación de esta teoría traería implicaciones beneficiosas para el mejoramiento genético del cacao.

En el grupo del cacao Criollo, están incluidos genotipos con almendras dotadas de cotiledones de color blanco marfil, presentes principalmente en América Central, México y sectores de Venezuela y Colombia *(Soria, 1966; Braudeau, 1970, Vera, 1993)*. Según *Arguello et al (2000)*, algunos de estos cacaos también presentan cotiledones violeta pálido o rosados y estaminoides color rosa pálido. Las mazorcas usualmente tienen una forma alargada, con punta acentuada en el extremo inferior, corteza marcada con diez surcos profundos, pericarpio rugoso y delgado y mesocarpio poco lignificado. En estado inmaduro la cáscara es de color rojo o verde, tornándose amarilla y anaranjado-rojiza a la madurez. Las almendras son gruesas casi redondas, con cotiledones ligeramente pigmentados. Este tipo de cacao requiere de dos a tres días para completar su fermentación, es muy aromático y comercialmente se enmarca dentro de los llamados cacaos finos.

En el grupo de los cacaos Forasteros, se incluyen todos los llamados cacaos corrientes del Brasil y los que se cultivan en el oeste africano, así como otros cultivares encontrados en diferentes países de América Central y norte de América del Sur. Los cacaos Forasteros son originarios de la alta Amazonía *(Enríquez, 2004)*, y se les asigna esta denominación porque se distribuyen naturalmente en la cuenca del río que lleva este nombre. La zona localizada entre los ríos Napo, Putumayo y Caquetá en América del Sur, esta considerada como el centro de origen de este grupo genético *(Soria, 1966)*.

Las flores de los cacaos Forasteros, presentan estaminoides de color violeta y las mazorcas están dotadas de surcos y rugosidad notable, aunque en otros casos son lisas y con extremos redondeados; al madurarse se tornan amarillas. La cáscara es un poco gruesa y el mesocarpio lignificado, mientras que los granos lucen más o menos aplanados con cotiledones de color púrpura. Las almendras producen un chocolate con sabor básico de cacao. Pero el paradigma respecto a los cacaos Forasteros, como sinónimo de cacao corriente o básico está cambiando recientemente. Algunas colecciones de cacao silvestre colectados en la región Amazónica del Ecuador y Perú, contienen accesiones con mazorcas que poseen almendras redondas y blancas *(Calderón, 2004)*. Aunque la investigación sobre sus atributos sensoriales aún no comienza, los futuros resultados podrían deparar muchas sorpresas. Antes se creía que la coloración blanco marfil de los cotiledones, era una característica exclusiva de los cacaos Criollos y por tanto estaba ausente en otros tipos de cacao.

El grupo conocido como cacao Trinitario pertenece botánicamente a un complejo constituido por una población híbrida originada en la Isla de Trinidad. La variedad original (Criollo de Trinidad) se cruzó con cacao Forastero introducido de la cuenca del río Orinoco, para reemplazar las plantaciones que fueron destruidas en 1727

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

por un ciclón *(Vera, 1993)*. Los caracteres botánicos de este grupo son difíciles de definir ya que pertenecen a una población híbrida polimorfa, pudiéndose observar todos los tipos intermedios de Criollos por un lado y Forastero por el otro *(Braudeau, 1970)*. Los cacaos Trinitarios presentan mazorcas de diferentes formas y colores, verdes y rojos cuando están inmaduras, tornándose amarillo y anaranjado rojizo a la madurez. Por lo general, las almendras son de tamaño mediano a grande con cotiledones color violeta oscuro. Al procesarse, desarrollan un sabor a chocolate bastante pronunciado, acompañado en algunos casos de notas sensoriales afrutadas *(Sukha et al, 2005)*.

Lecertau et al (1997), apoyándose en técnicas de biología molecular, encontraron que el cacao Nacional es genéticamente más cercano a los cacaos Forasteros que al grupo Criollo. Los resultados del estudio sugieren que el origen del cacao Nacional, puede ser incluso anterior a la singularización de los grupos Criollo y Forastero. Al final de otro estudio molecular con 320 genotipos de cacao de orígenes distintos, también se concluyó que el cacao Nacional es genéticamente diferente del Forastero, Criollo y Trinitario, ubicándose su origen en una zona bastante específica de la Amazonía *(Loor, 2007)*.

Según *Enríquez (1993)*, la variedad Nacional tal como luce actualmente, es parte del llamado complejo Nacional x Trinitario. Las mezclas de los híbridos naturales que forman este complejo, se iniciaron a fines del siglo XIX y comienzos del siglo XX, con la introducción de cacao Venezolano tipo Trinitario. El mismo autor menciona que en Ecuador hay cultivares que corresponden a los híbridos Nacional x Trinitario y en menor grado a los híbridos Nacional x Forastero. Pero que la variedad de cacao Nacional genéticamente pura, tal como existía antes del ingreso de cacao foráneo, ahora es prácticamente inexistente *(Enríquez, 2004)*. Sin embargo, la población híbrida predominante, conserva aún el sabor "Arriba" y aroma del cacao Nacional, pero se ha modificado el sistema de fermentación y secado ya que ahora requiere más días de beneficio postcosecha *(Enríquez, 1998; Amores et al, 2007)*.

De la provincia de Esmeraldas se reporta la presencia de cacaos acriollados con buen sabor *(Enríquez, 2004; Jiménez y Amores, 2008)*. Por ello, actualmente la Asociación de productores de cacao del nororiente de dicha provincia (APROCANE) oferta un producto de origen. Las huertas cacaoteras en fincas ubicadas a lo largo de los ríos Bogotá, Cachavi, Wimbi, Santiago, Cayapas, Onzole, Tulubi y Palabi, de donde proviene este producto, tienen poblaciones que parecen compartir rasgos entre el cacao local y el cacao Criollo *(Agama et al, 2007)*.

Entorno climático

Factores externos, internos y complejas interacciones influyen sobre la fisiología del cacao, dificultando la estimación de la influencia del ambiente sobre su producción y calidad. Puesto que el cacao es originario de la selva tropical amazónica, las

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

mejores condiciones para su cultivo deberían parecerse al entorno climático de las poblaciones silvestres. Sin embargo, son varias las experiencias que muestran que se puede obtener buenos rendimientos en huertas cultivadas en entornos ambientales muy diferentes al de las poblaciones nativas *(Bartley, 2005; Amores et al, 2009)*.

El crecimiento y el desarrollo del cacao está determinado por factores ambientales como: temperatura, luz, precipitación, humedad relativa y otros, que varían de acuerdo a la zona de cultivo. Esta variación hace que su comportamiento sea diferente en cada sitio y en ocasiones el entorno climático altera dramáticamente la fenología del cultivo *(Daymond, 2000)*. De los factores ambientales, la disponibilidad de energía y agua juegan un papel clave en la producción, a través de su influencia sobre los procesos físicos y bioquímicos necesarios para el desarrollo de las plantas *(Ritchie, 1991)*.

Temperatura

La temperatura media anual óptima para el cacao se sitúa alrededor de 25°C y no debe ser inferior a 21°C. Los niveles de temperatura son adecuados para el cultivo en las proximidades de la línea ecuatorial y a baja altitud. Hay plantaciones comerciales con buenos rendimientos en ambientes con temperatura promedio de 23°C. La media mínima diaria debe ser superior a 15°C y la mínima absoluta nunca inferior a 10° C; el cacao no soporta temperaturas bajo cero, aunque sea por poco tiempo. Temperaturas muy altas afectan las funciones de la planta, entre ellas la floración y desarrollo foliar que se restringen con temperaturas superiores a 30°C *(Hardy, 1961)*.

La fuerte interacción genotipo x ambiente respecto a la expresión de la floración, dificulta la evaluación de la influencia de la temperatura *(Enríquez, 2004)*. La pérdida de la dominancia apical es otro síntoma del exceso térmico *(Braudeau, 1970; Enríquez, 1985, Vera, 1987)*. Según un estudio conducido por *Ramos (2008)*, la siembra de cacao Nacional a una altitud de 500 msnm combinada con una temperatura media anual de 23°C, produjo una tonelada de cacao seco/ha al quinto año después de establecida la plantación.

La temperatura también influye sobre el desarrollo de los frutos que en los meses más calurosos maduran entre 140 y 175 días, mientras que en los más fríos, la maduración ocurre entre 167 y 205 días. Las bajas temperaturas afectan la calidad de la manteca de cacao, porque son responsables de un aumento en la proporción de grasas no saturadas. Como resultado la manteca exhibe un bajo punto de fusión *(Enríquez, 1985)*, una característica indeseable para la industria de los chocolates.

Luminosidad

La energía solar radiante ilumina y calienta las plantas. El componente luminoso

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

de esta energía se relaciona con la fotosíntesis, apertura estomática, crecimiento de las células, entre otros procesos fisiológicos de las plantas. Los factores que influyen en la cantidad total de radiación que recibe una zona determinada son: latitud, tiempo y nubosidad. La latitud determina el número de horas de luz diaria que se recibe en un sitio directamente encima de la capa de nubes *(Arcila et al, 2007)* y que es diferente de la heliofania, es decir el número de horas de luminosidad efectiva que llega a la superficie sin interferencia de las nubes.

La radiación recibida en el Ecuador al nivel del límite superior de la atmósfera, es casi constante durante el año. Pero la variación de la nubosidad influye sobre la cantidad e intensidad de la radiación fotosintéticamente activa que llega a las plantas, es decir aquella que se mueve en el rango de 400 a 700 nm (el nm es la unidad de medida de la longitud de onda de cualquier tipo de radiación), es diferente para distintas zonas cacaoteras. En la mayoría de las localidades cacaoteras del Litoral ecuatoriano, el brillo solar efectivo sin interferencia de nubosidad, oscila entre 800 y 1200 horas/año.

Para su crecimiento normal, el cacao joven requiere de una sombra relativamente densa que permita el paso del 30 a 50% de la luminosidad total recibida en el sitio *(Sánchez, 1994)*, ya que a temprana edad las plantas no producen suficiente autosombreamiento. Entre los beneficios del sombreamiento se cuentan la regulación térmica de las hojas, que de otro modo transpirarían agua en exceso para atenuar y disipar el excedente de energía recibida y transformada en calor. Varios días después del transplante de plántulas de cacao, es común observar las hojas superiores "quemadas" por exceso de insolación, particularmente en ausencia de especies que les provean sombra temporal o permanente *(Amores et al, 2009)*. Además, la sombra ejerce un efecto regulador de la temperatura del suelo que si se eleva demasiado, por ejemplo arriba de 38°C, deprime la actividad microbiana, actúa contra el rol absorbente de los pelos radicales *(Taiz y Zeiger, 1999)*, y acelera la pérdida de humedad.

Una vez desarrollado, el cacaotal se provee de autosombreamiento y en este escenario la intensidad lumínica media recibida por unidad de superficie foliar, disminuye sobre el conjunto del árbol. Por esta razón, a medida que crece la planta, es recomendable reducir progresivamente la sombra para permitir el paso del 70% de luminosidad, o más, si se trata de plantaciones sembradas con alta densidad y dotadas de copas densas que se traslocan en diversa medida *(Braudeau, 1970)*. Sin embargo, es conveniente, para mejorar la funcionalidad de la huerta, individualizar cada árbol en su propio espacio, reduciendo al mínimo las interferencias con los árboles vecinos.

En entornos climáticos con precipitación marcadamente estacional, si el cacao se cultiva a plena exposición solar, alcanzará máximos rendimientos únicamente combinando altas dosis de abonamiento con el abastecimiento de agua suficiente me-

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

diante el riego artificial. Caso contrario, la falta de sombra causará efectos depresivos sobre la productividad *(Braudeau, 1970 y Arévalo et al. 2004)* y la muerte a largo plazo de un porcentaje importante de árboles. En la zona de Quevedo, con un clima marcadamente estacional y estación seca prolongada, una huerta de híbridos naturales de cacao a plena exposición solar, perdió un tercio de su población inicial en los siguientes 40 años después de la siembra, como consecuencia del estrés hídrico sufrido cada año durante los meses secos.

Humedad Relativa (HR)

Sin suficiente agua en el suelo las plantas se benefician de una alta humedad relativa en la atmósfera, circunstancia que restringe la transpiración foliar excesiva *(Braudeau, 1970)*. Según *Arévalo et al (2004)*, los niveles de humedad relativa superiores al 70% favorecen el establecimiento del cacao después del transplante, y una media de 75 a 80% parece ser la humedad relativa más conveniente para el cultivo. Pero valores superiores al 85%, combinados con abundante precipitación y altas temperaturas, estimulan la presencia de enfermedades fungosas como la escoba de bruja y la moniliasis *(Suárez, 2007)*, que destruyen la mitad de la producción de cacao en el Ecuador.

Precipitación

La precipitación anual para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo del cacao, oscila entre 1,500 a 2,500 mm en zonas bajas y cálidas, y entre 1,200 a 1,500 mm en las zonas más frescas de pie de monte, como por ejemplo en los sectores de las Naves y Echeandia, provincias de Cotopaxi y Bolívar. En zonas con exceso de lluvia, por ejemplo más de 3000 mm al año, la explotación comercial del cacao sólo resulta económica en suelos bien drenados o accidentados, donde el agua no se acumula por mucho tiempo. El anegamiento y estancamiento del agua en la huerta por más de cinco días, provoca la asfixia y muerte de las raíces y finalmente la muerte de las plantas *(Amores, 1992; Arévalo et al, 2004)*.

En zonas con un período seco prolongado por la marcada estacionalidad de las lluvias, el cacao necesita de riego frecuente para su desarrollo normal. Los suelos arenosos requerirán de mayor cantidad de agua durante períodos cortos, mientras que los arcillosos se riegan con más agua, pero dejando intervalos más largos entre cada evento de riego *(Motato et al, 2008)*. En este punto es necesario señalar que los suelos franco-limosos son los mejores para cultivar cacao porque maximizan la retención de agua disponible después de un evento de riego.

El ambiente edáfico

La planta de cacao se adapta a los más variados tipos de suelos, incluso llega a producir en suelos con baja fertilidad. En el último caso, aunque la producción es

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

limitada, se lograrán rendimientos aceptables, solo si se practica el cultivo con sombreamiento suficiente para atenuar el efecto de los rigores climáticos *(Braudeau, 1970)*, que debilitan e incluso causan la muerte de las plantas.

Sin embargo, el cacao prefiere los suelos fértiles con alto contenido de materia orgánica. Además tienen que ser francos, profundos, bien drenados y con buena retención de agua disponible. Tales condiciones son típicas de las tierras ribereñas, o de "banco", en la parte media y baja de la Cuenca de río Guayas *(Amores, 2005)*. La profundidad efectiva del suelo, de al menos 1.5 m, promueve el buen desempeño del cultivo, al permitir el desarrollo normal de un amplio sistema radicular. La presencia de obstrucciones físicas como capas endurecidas o un nivel freático alto limitan grandemente el crecimiento de las raíces.

Entre las características que se examinan al evaluar la calidad del suelo para cultivar cacao se cuentan: cantidad de hojarasca en la superficie, espesor de la capa de suelo húmico y la porosidad de la capa inmediatamente inferior. No se recomienda la siembra de cacao en suelos pantanosos o anegadizos, con pendientes fuertes, pedregosos, poco profundos, infértiles y muy cercanos al mar por el riesgo de salinidad. El cacao es muy susceptible al problema de alta concentración de sales en el suelo *(Amores et al, 2009)*.

La presencia de piedras o gravas dificultan el desarrollo radicular, más aún si la presencia de esos materiales es excesiva o si hay capas de suelo densas que impiden no solo el avance de la raíz principal, sino también el de las raíces secundarias y laterales. La mayoría de las raicillas absorbentes, proliferan entre los 10 a 20 cm superiores del suelo y por ello las condiciones más favorables para su crecimiento se encuentran en este horizonte *(Wood, 1982)*. De hecho, en cultivos de tipo semiarbóreo como el cacao, sólo alrededor del 30% de la masa radicular, está constituida por raicillas absorbentes. La mayor parte ejerce más bien la función de anclaje de la planta al suelo.

La textura del suelo es una propiedad de gran importancia para la agricultura. En el caso del cacao, la mejor textura corresponde a la llamada "tierra fina" compuesta por 30 a 40% de arcilla, alrededor del 50% de arena y 10 a 20% de limo *(Wood, 1982; Thompson y Troeh, 1982)*. Pero los suelos más aptos para el cultivo del cacao son los aluviales de textura franco-arcillosa, franco-limosa y franco-arenosa *(Amores, 2005)*. Los suelos francos y franco-arcillosos, usualmente permiten una buena penetración y retención de agua y su fertilidad natural va de media a alta, con excepción de los ultisoles y oxisoles de baja fertilidad, por ejemplo los suelos de colinas rojas de la región Amazónica. El mal manejo de los suelos arcillosos, puede terminar en problemas de apelmazamiento, formación de costras y drenaje restringido *(Graetz, 2000)*, dificultando la difusión de aire en el horizonte superficial donde se concentran las raíces absorbentes, con gran demanda de oxígeno en el proceso de captación de nutrientes.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Indicadores de fertilidad

Según *Wood (1982) y Braudeau (1970)*, los suelos con capacidad para sostener con éxito una plantación de cacao, tienen las siguientes características:

1. Capacidad de intercambio de bases (CIC) en la capa superficial, no menor de 12 meq. /100 cc de suelo y en el subsuelo no menor de 5 meq. /100 cc.

2. Contenido medio de materia orgánica en los 15 cm superiores del perfil del suelo, no menor del 3.0 % (1.5% de carbono orgánico).

3. Saturación de bases en las capas sub-superficiales en un porcentaje que no sea inferior al 35% (a menos que la capacidad de intercambio de bases sea excepcionalmente alta).

4. Potencial de Hidrogeno (pH) en el rango de 6.0 a 7.5 en la capa superficial, sin ser excesivamente ácido (pH menor a 4.0) o alcalino (pH mayor a 8.0), hasta una profundidad de un metro.

El incumplimiento de estos estándares, de ninguna manera quiere decir que allí no crecerá el cacao, pero es posible que se presenten problemas de nutrición difíciles de corregir.

¿Qué es el pH?

La acidez del suelo refleja la concentración del hidrógeno expresada mediante el parámetro denominado potencial de hidrógeno, es decir el pH, que es dependiente de las concentraciones relativas de los cationes promotores de la acidez (H y Al) y de las bases (Ca, Mg, K) adheridos a la superficie de las partículas de arcilla y coloides húmicos. El pH sube al aumentar las concentraciones de bases y baja al incrementarse las concentraciones de H y Al (Thompson y Troeh, 1982). La escala del pH varía de 0 a 14.

En respuesta al pH, a medida que se aumenta la acidez del suelo se reduce la disponibilidad del Ca, Mg, Mo y P, y se incrementa la del Fe, Mn, B, Cu y Zn *(INPOFOS, 1993)*. La acidez también influye sobre la disponibilidad del N que se torna más asequible a las plantas con el pH entre 6.0 y 7.0, rango que además es el mejor para la mayoría de los cultivos, entre ellos el cacao. Valores inferiores a 7 se traducen en diferentes intensidades de acidez, mientras que valores superiores representan diferentes grados de basicidad. Aunque el cacao es tolerante a la acidez, en el peor de los casos el pH para el cultivo no debería ubicarse debajo de 5.5.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Materia orgánica (M.O)

La materia orgánica del suelo se compone del conjunto de residuos vegetales y animales descompuestos y transformados por acción de los microorganismos. Procede de los cultivos, arvenses (malezas), biomasa de plantas proveedoras de sombra, estiércol y abonos orgánicos, así como también de los restos de hongos, insectos, algas, bacterias y otros que hacen del suelo su hábitat. Por ello es un componente clave, con influencia directa sobre la estructura, retención de agua, aireación, contenido y disponibilidad de nutrientes, pH y capacidad de intercambio catiónico del suelo. Además, la materia orgánica incrementa la habilidad del suelo para retener nutrientes y oponerse a la compactación, entre otros beneficios *(Sánchez, 1981)*.

La descomposición de la materia orgánica, produce la liberación de N y S, como única abastecedora natural de ambos nutrientes *(Graetz, 2000)*, además de su importante contribución al P al suelo. Los agregados (gránulos), particularmente los más grandes, imparten una estructura conveniente a las capas superiores de los suelos con alta productividad. La estructura se mantiene estable por los compuestos orgánicos y residuos secretados por la micro fauna y micro flora que habita el suelo. Estos compuestos unen las partículas de arena, limo y arcilla para formar los agregados, lo que a su vez conduce a la formación de la estructura granular que es la ideal para la mayoría de los cultivos.

La tala del bosque para sembrar cacao, expone el suelo a la radiación solar, acelerando la descomposición de la materia orgánica. Aún si el cacao se siembra inmediatamente después de la tala, se producirán pérdidas importantes de humus, a menos que se provea al terreno de una cubierta mediante la siembra de árboles de sombra *(Urquhart, 1963)*. La rápida descomposición del humus desestabiliza la estructura del suelo y la recuperación del contenido de materia orgánica después de su agotamiento, es un proceso lento. Como contrapartida, se deben tomar medidas correctivas a través de la producción e incorporación de abonos verdes y residuos de animales, dirigidas principalmente a los suelos más frágiles y expuestos.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La habilidad del suelo para retener cationes protegiéndolos de la lixiviación y manteniéndolos como reserva para la nutrición de las plantas, se llama Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y se expresa en mil equivalentes/100 g de suelo. La CIC es variable y se encuentra estrechamente asociada a la fracción arcillosa y materia orgánica del suelo. Con mayores contenidos de arcilla y materia orgánica, la CIC se incrementa. Esta propiedad también recibe influencia directa del pH, ya que disminuye al aumentar la acidez del suelo *(Thompson y Troeh, 1982)*. Para su mejor desempeño, el cacao requiere suelos con un valor alto de CIC pues es un signo de buena fertilidad. Los suelos del sector de Buena Fe en la provincia de Los Ríos con

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

una capacidad de intercambio catiónico igual a 20 meq. /100 cc, se encuentran entre los mejores para el cultivo de cacao en el país.

Conductividad eléctrica (CE)

La medición de la salinidad se realiza indirectamente a través de la determinación de la conductividad eléctrica (CE) en un extracto de la solución del suelo, cuya unidad de medida se expresa en mmhos/cm; a mayor CE la concentración de sales es mayor. La magnitud de este parámetro es variable, dependiendo del origen del suelo y el entorno climático en que se encuentra, particularmente de la cantidad de lluvia. Los valores de conductividad eléctrica oscilan desde menos de 1 hasta 20 mmhos/cm. Suelos salinos son aquellos cuya conductividad eléctrica supera los 2 mmhos/ cm, aunque hay especies tolerantes que pueden soportar valores altos *(Domínguez, 1984)*, pero ciertamente el cacao no es una de ellas.

El cacao es un cultivo muy sensible a la salinidad tal como lo demuestran los síntomas (quemazón del borde de las hojas) observados en algunas plantas de cacao en la Península de Sta. Elena *(Amores et al, 2009)*, creciendo en suelos con valores de CE superiores a 4 mmhos/cm. Según *Ibáñez (2007)*, los principales factores ambientales que contribuyen a la formación de los suelos salinos son los siguientes:

1. Climas cálidos con altos niveles de evaporación y escasa precipitación, es decir zonas en que la evaporación supera a la infiltración del agua.

2. Fuentes de agua ricas en sales: en el sentido amplio del término, incluyendo niveles freáticos próximos a la superficie y ricos en substancias salinas; cauces fluviales que cruzan previamente substratos ricos en sales, etc.

3. Material parental ricos en sales.

4. Suelos con problemas de drenaje.

5. Suelos generados en determinadas localizaciones fisiográficas bajo ciertos entornos climáticos.

Requerimientos nutricionales del cultivo de cacao

Los suelos minerales contienen entre 90 y 99% de materia mineral y 1 a 10% de materia orgánica, como fuentes primarias de nutrientes. Sin embargo, las fuentes se debilitan con el pasar del tiempo, debilitamiento que es dependiente del tipo de suelo y la intensidad de su uso por la agricultura. Si tal cosa ocurre, surge la necesidad de abonar para agregar los nutrientes que se encuentran en insuficiencia *(Ignatieff, 1950)*.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Las plantas absorben del suelo un elementos nutritivos en proporciones específicas y es importante proporciones se mantengan balanceadas para facilitar su absorción. la intensidad de la demanda, los nutrientes se clasifican en macro eler y K; elementos secundarios: Ca, Mg y S; y micro elementos: Mn, Cu, Z B. Sin embargo, todos son igualmente esenciales para el metabolism o de las plantas.

Previo al desarrollo de un programa ción, es necesario disponer de un diagnóstico del nivel de fertilidad nat , preferiblemente a través de los resultados del análisis de suelo y foli 1 es una guía elaborada por el Centro Agronómico Tropical de Inves nseñanza (CATIE) para facilitar la interpretación del estado de la fertilic elo.

En Malasia se llevó a cabo un estu del análisis de toda la planta de cacao, para estimar su exigencia nutr ferentes etapas de desarrollo; los resultados se exhiben en el Cuadro 2 d de las cifras da cuenta de la intensa demanda nutritiva del cultivo p una alta productividad. Otro estudio *(Cocoa Growers' Bulletin, 198* que durante la etapa de plena producción, los árboles de cacao en u ya han acumulado en sus tejidos alrededor de: 438 Kg de N, 48 Kg de K, 373 Kg de Ca, 129 Kg de Mg, 6.1 Kg de Mn, 1.1 Kg de Zn; entre tes. El mismo estudio reveló que al comercializar una tonelada de caca de la huerta alrededor de 40 Kg de N, 6 Kg de P y 86 Kg de K.

INIAP - Estación ental Pichilingue

Cuadro 1. Guía para la interpretación de los resultados del análisis de fertilidad del suelo.

Parámetro	Rango de fertilidad relativa		
	Alto	Medio	Bajo
pH (en agua 1 : 2,5)	7,5 - 6,5	6,4 - 5,1	< 5,0
Materia orgánica % (combustión húmeda)	> 6,1	6,0 - 3,1	< 3,0
Nitrógeno Total % (Kjeldahl)	> 0,41	0,40 - 0,21	0,2
Relación C/N	9,5 - 10,4	15,5 -10,5	>15,6 ó < 9,4
Fósforo P ppm (Mehlich)	> 16	15,0 - 6,0	< 5
Fósforo P/ ml (Olsen modificado)	> 21	20,0 - 12,0	< 12
Fósforo "disponible" P□O□ ppm (Truog)	> 120	119 - 21,0	< 20
Potasio intercambiable meq / 100g. (Acetato de Amonio 1 N, pH , 7,0)	> 0,41	0,40 - 0,16	< 0,15
Potasio extraíble, meq / 100 ml (Olsen modificado)	> 0,41	0,40 - 0,21	< 0,20
Azufre S - SO□ / ml (Fósforo monocálcico 500 ppm)	> 21	20,0 - 0,13	< 12
Calcio intercambiable meq / 100g. (Acetato de Amonio 1 N, pH , 7,0)	> 18,1	18,1 - 4,1	< 4,0
Calcio extraíble meq / 100 ml. (Clururo de potasio 1 N)	> 4,1	4,0 - 2,0	< 2,0
Magnesio intercambiable meq / 100g. (Acetato de Amonio 1 N, pH , 7,0)	> 4,0	4,4 - 0,9	< 0,80
Magnesio extraíble meq / 100 ml. (Clururo de potasio 1 N)	> 2,1	2,0 - 0,8	< 0,80
Capacidad de intercambio de cationes meq / 100g. (Acetato de Amonio 1 N, pH , 7,0)	> 30,1	30,0 - 12,1	< 12,0
Saturación de Aluminio % (KCl 1 N)	0 - 10	11,0 - 25,0	< 26
Aluminio meq / 100 ml (KCl 1 N)	< 0,30	0,31 - 1,50	> 1,51

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Cuadro 2. Requerimientos nutricionales del cultivo de cacao desde el estado de plántula hasta la producción.

Estado del cultivo	Edad de la planta (meses)	Requerimiento Nutricional - Promedio en Kg/Ha						
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn
Vivero	5 - 12	2.4	0.6	2.4	2.3	1.1	0.04	0.01
Establecimiento	28	136	14	156	113	47	3.9	0.5
Inicio de producción	39	212	23	321	140	71	7.1	0.9
Plena Producción	50 - 87	438	48	633	373	129	6.1	1.5

Fuente original: Thong YNG, citado por Morais, F.I., Santana, M.B. y Santana, Ch. Nutricao Mineral e Adubacao do cacauerio. CEPLAC, Bahía, Brasil.

En un trabajo reportado por *Amores et al (2009)*, se produjeron los datos que aparecen en el Cuadro 3, acerca de las cantidades de nutrientes acumulados en una tonelada métrica de almendras de cacao Nacional fermentado y seco. La proporción nada despreciable de nutrientes presentes en la cáscara de la mazorca, obliga a tomar precauciones para asegurar su retorno a la huerta con el fin de que el cacao se beneficie de los nutrientes que contiene.

Cuadro 3. Nutrientes absorbidos por una tonelada métrica de almendras de cacao seco y fermentado de la variedad Nacional.

	Kg/ha						g/ha				
	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
Cáscara	9.1	2.5	39.4	8.7	4.3	1.5	28.8	35.9	8.8	32.5	58.7
Almendras	15.8	7.3	8.9	3.6	3.7	1.2	20.6	33.8	16.8	50.3	17.6
Maguey	0.4	0.1	0.7	0.2	0.1	0.0	0.9	0.7	0.4	3.5	0.4
Total	**25.3**	**9.9**	**48.9**	**12.5**	**8.1**	**2.7**	**50.4**	**70.4**	**25.9**	**86.2**	**76.6**

La acidez del suelo reduce la disponibilidad del K, Ca, Mg, Mo y P e incrementa la de Fe, Mn, B, Cu y Zn *(INPOFOS, 1993)*. Por ser un catión, la dinámica del Ca en el suelo está gobernada por el fenómeno de intercambio catiónico. General-

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

mente, es el catión dominante, aún en suelos con pH muy ácidos, ocupando el 70% o más de los sitios de intercambio en los coloides del suelo.

Respecto al Mg, en general hay suficiente de este nutriente en el suelo para sostener el crecimiento vegetativo. Sin embargo, su deficiencia ocurre con más frecuencia en suelos ácidos, característicos de zonas con alta precipitación, así como también en suelos arenosos. El K es adsorbido y fijado en el suelo y se pierde por erosión, mientras que en suelos donde el bajo potencial de adsorción y fijación se combina con una alta precipitación, el K se pierde en gran medida por lixiviación *(Murrel, 2003)*. El K es uno de los nutrientes que más sale del terreno exportado por la cosecha de los cultivos. En el caso del cacao, la cáscara de las mazorcas representa un medio importante para exportar cantidades apreciables de K fuera la huerta, a menos que se tome la precaución de retornar prontamente los desechos al campo.

Las principales causas de deficiencias de S son el bajo contenido de materia orgánica del suelo, la acidez que reduce la mineralización de la materia orgánica, lixiviación de los sulfatos, sequía prolongada y el uso generalizado de abonos que no contienen S. El último caso es frecuente ya que existe la creencia equivocada de que la fertilización con urea, el fertilizante nitrogenado más conocido, basta para solucionar las limitaciones nutritivas que a veces muestran las plantas de cacao.

La deficiencia de Fe es común en suelos calcáreos y suelos arenosos con bajo contenido de materia orgánica. La falta de Fe también es inducida por prácticas de sobre encalado o el abonamiento excesivo con Cu, Zn o Mn. La deficiencia de Mn se presenta en suelos ácidos con baja Capacidad de Intercambio Catiónico, sometidos a un alto nivel de lixiviación *(Bruulsema, 2000)* por mucho tiempo.

La materia orgánica es fuente importante de B, nutriente que por su movilidad es vulnerable a la lixiviación, particularmente en suelos arenosos y en zonas con abundante precipitación *(INPOFOS, 1997)*. Plantas de huertas jóvenes de cacao exhiben frecuentes síntomas de deficiencia de B durante la época seca en algunas zonas de la Costa ecuatoriana, básicamente porque la falta de humedad impide la movilidad de este nutriente hacía las raíces. Los síntomas también son visibles en otros cultivos como el plátano.

Usualmente, los suelos con poca materia orgánica presentan baja disponibilidad de Zn, situación que se agrava por la lixiviación que sufre este nutriente en zonas con mucha lluvia. Los suelos arcillosos tienen menos probabilidad de desarrollar deficiencias de este elemento. El Zn se vuelve menos disponible a medida que el pH se incrementa; los síntomas que sugieren su deficiencia, son comunes en plantaciones de cacao de la península de Sta. Elena, con valores de pH superiores a 7.0, típicos de suelos calcáreos *(Mortved et al, 1972)*.

Marcadores moleculares para estudiar la genética del cacao

Con el desarrollo de técnicas modernas de la biología molecular, surgieron métodos para detectar el polimorfismo genético con diferentes tipos de marcadores moleculares que son de gran utilidad para la investigación y el mejoramiento de las plantas. La importancia de esta tecnología radica en la posibilidad que ofrece para estimar las distancias genéticas entre cultivares de una especie, conocer la estructura genética de poblaciones y seleccionar genotipos con características de interés económico *(Solís y Andrade, 2007)*. Se disponen de marcadores específicos para el análisis genético de varias especies vegetales, entre ellas el cacao, cuya genética molecular se ha venido estudiando activamente durante la última década.

Loor (2007), en un estudio reciente, utilizó sesenta marcadores moleculares del tipo micro satélites o SSRs (simple sequence repeat) para la caracterización de 332 accesiones de cacao colectadas en distintas zonas productoras de la Costa ecuatoriana. Los árboles estudiados presentaron diferentes niveles de heterocigosis, mientras que los más homocigóticos resultaron cercanos genéticamente a la variedad nativa de cacao Nacional.

En un estudio previo con marcadores moleculares del tipo RFLP y RAPD, *Lerceteau et al (1997)* encontraron que un grupo de accesiones de cacao presentes en el banco de germoplasma de la E. Pichilingue, poseen una amplia variabilidad en cuanto al grado de heterocigosis, variabilidad que incluye genotipos con niveles bajos para esta característica. Concluyeron que los genotipos más heterocigóticos, provienen de la hibridización entre la variedad nativa de cacao Nacional y el cacao Trinitario importado de Trinidad y Venezuela a inicios del siglo XX.

Construcción de la calidad integral

Clave para el éxito en la comercialización internacional de los "commodities" agrícolas es la calidad integral. La comprensión acerca de los componentes de la calidad de cualquier producto, contribuye a la construcción de mejores estrategias de competitividad en una economía globalizada. El nivel de calidad de un bien determina su mayor o menor demanda y valoración en el mercado, afirmación particularmente cierta para el cacao *(Amores, 1999; Reyes et al, 2004)*.

La calidad final del cacao resulta de un largo proceso que se inicia en la finca con la selección del terreno y la siembra del material genético apropiado, continúa con la aplicación de buenas prácticas agrícolas, combinado con la influencia de los factores climáticos sobre el desarrollo del fruto. Luego prosigue con la fase de beneficio que abarca la cosecha, apertura de mazorcas, extracción de semillas, fermentación y secado, y culmina con la clasificación, empaque y almacenamiento de las almendras *(Moreno y Sánchez, 1989)*. Por otro lado, *Jiménez (2000)* y *Amores (1999)*, concuerdan con esta opinión al referirse a la calidad final del grano como la capacidad para

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

generar sabor y aroma a chocolate, en un contexto de inocuidad y pureza, calidad que es dependiente del material genético y correcto proceso de fermentación y secado. La combinación de diferentes niveles de estos factores produce resultados distintos, unos más ajustados a los requerimientos de la industria que otros.

La calidad de los productos a base de cacao que consumen los usuarios finales, es el resultado de la acción de todos los actores de la cadena productiva que intervienen en el proceso de adicionar valor al cacao, pasando de un eslabón a otro, hasta la manufactura, distribución y venta minorista de los bienes de consumo. Cada eslabón tiene un rol que se sostiene sobre el anterior, confirmándose la estrecha interdependencia entre ellos.

Por lo tanto, todos los actores, desde el productor hasta el minorista de los bienes manufacturados, tienen la responsabilidad de participar en la formación de la calidad que exigen los consumidores finales, para satisfacer su demanda del sabor a chocolate *(Cocoa Beans, 1996)*. La disponibilidad de políticas para incentivar la calidad y sistemas de control que aseguren la aplicación de esas políticas, es condición necesaria para el cumplimiento de esta responsabilidad integral, tanto en los países productores como consumidores. Al final de cuentas, la baja calidad genera consumidores insatisfechos con impacto negativo sobre la demanda y el consumo total. Y la principal consecuencia de una demanda debilitada es el descenso de los precios y la reducción de ingresos.

Beneficiado del cacao

El beneficiado se refiere a la preparación de las almendras como paso previo para su comercialización e industrialización. Con este propósito, se ejecutan una serie de operaciones ordenadas que se inician con la cosecha de las mazorcas en el punto de maduración adecuado para extraer las almendras, seguida por la fermentación y concluyendo con el secado del grano. Las almendras fermentadas y secas representan un producto de mejor calidad cuyo transporte y almacenamiento es más fácil *(Jiménez, 2003)*.

Cosecha

La cosecha consiste en la recolección de las mazorcas sanas y maduras. Si las mazorcas son de color verde adquieren un color amarillo vistoso al madurar, y si son rojas se tornan amarillo naranja. Otra señal de madurez, es el sonido que se produce en la mazorca al golpearla ligeramente, sugiriendo que algo se encuentra suelto en el interior *(Moreno y Sánchez, 1989)*.

La cosecha frecuente evita la sobre maduración de las mazorcas y germinación de las almendras en su interior. La presencia de almendras "picadas" en lotes comerciales de cacao, como resultado de la cosecha de mazorcas sobremaduras con

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

almendras germinadas, es un grave defecto porque los hongos invaden estas almendras, influyendo negativamente sobre el sabor del chocolate y poniendo en riesgo su inocuidad.

En huertas de gran extensión, la cosecha se efectúa cada semana o quincenalmente; si la huerta es pequeña la cosecha es quincenal durante los periodos "pico" de cosecha y mensual *(Enríquez, 1987)* el resto del año. El hecho de cosechar mazorcas pintonas también representa un problema porque las almendras no han alcanzado el desarrollo completo, ni la pulpa contiene la cantidad de azúcar suficiente para la oxidación (fermentación) alcohólica *(Rohan, 1964)*. Con seguridad se obtendrán más almendras violetas al final de la fermentación.

Apertura de la mazorca y extracción de almendras

Una vez cosechadas, las mazorcas se transportan en cajas de madera, sacos plásticos, "chalos", etc., al sitio escogido para su apertura. Allí se abren con machete en mano, o golpeándolas contra un machete fijado a dos trozos de madera clavadas en el suelo. Con las mazorcas abiertas, las almendras se extraen con los dedos o herramientas especiales diseñadas para este propósito, evitando en lo posible su contacto con superficies metálicas.

Es preferible abrir las mazorcas y extraer las semillas lo más pronto que se pueda después de la cosecha, aunque tal cosa no siempre es posible. En caso de que la cosecha no se complete el mismo día, las mazorcas pueden esperar cosechadas hasta tres días antes de abrirlas, particularmente si se trata de cacaos de tipo Forastero o Trinitario. El periodo de espera también se llama "aguante" y es de dos días para los cacaos Criollos. Pero eso sí, hay que tener el cuidado de extraer las almendras el mismo día en que se va a poner a fermentar la masa de cacao, de lo contrario se pierde gran parte del mucílago y azúcares incrementándose el riesgo de sub fermentación *(Ramos, 2004)*.

Fermentación

El uso del término fermentación, aunque bien establecido como parte del léxico cacaotero, no es del todo satisfactorio. La descomposición de la pulpa si es una verdadera fermentación, pero las reacciones que ocurren dentro del cotiledón ya no corresponden a este fenómeno *(Urquhart, 1963)*. Según *Gutiérrez (1988)*, en el amplio sentido de la palabra, el fenómeno de la fermentación incluye la inducción de reacciones y cambios bioquímicos dentro de las almendras, necesarios para producir los precursores del sabor y aroma a chocolate, previo a la industrialización del cacao.

La fermentación es el proceso de transformación de los azúcares de la baba o mucílago en alcohol etílico mediante la acción de las levaduras. Esta fase es seguida por la transformación del alcohol en ácido acético, por la intervención de bacterias

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

lácticas y acéticas. Hasta aquí la fermentación en el estricto sentido de la palabra. El ácido acético atraviesa la testa y se difunde hacía el interior de los cotiledones. Luego, mediante la acción combinada y balanceada de la temperatura, acidez y humedad, ocurre la muerte del embrión. Con el embrión muerto, se rompen las estructuras de almacenamiento en el interior de células de los cotiledones, produciéndose la liberación de los polifenoles y proteínas de reserva, seguida por las reacciones químicas que generan los compuestos precursores del sabor y aroma del sabor a cacao y chocolate. Las almendras no fermentadas o con fermentación insuficiente producen lotes de cacao con baja calidad sensorial *(Ramos, 2004, Rohan, 1964)*.

Para el mejor desarrollo de la fermentación, se requiere que esta se lleve a cabo en un lugar que no se encuentre expuesto a corrientes de viento fuertes, aunque si tiene que estar ventilado. El sitio es especial y destinado solamente para el cacao, teniendo el cuidado de no ubicar en los alrededores materiales como combustibles, agroquímicos o cualquier otro contaminante. Tampoco hay que permitir la entrada de animales como aves, cerdos, perros, etc., al área de fermentación, y cuyos desechos en contacto con el cacao afectan seriamente su calidad final.

Métodos de fermentación

El sistema de fermentación del cacao varía de acuerdo con el volumen de producción de la finca y es complejo y costoso cuando los volúmenes cosechados son grandes. Existen varios tipos de instalaciones para fermentar *(Ramos, 2004; Gutiérrez, 1988; Moreno y Sánchez, 1989; Arévalo et al. 2004)* y los más utilizados se describen a continuación.

1) Cajones de madera a un nivel

Los cajones se construyen con tablones de maderas finas, preferiblemente blancas, resistentes a la humedad tales como el cedro, nogal, etc., que no desprendan sustancias extrañas, taninos por ejemplo, que interfieren con la calidad final del cacao. Descansan sobre patas o largueros separados del suelo a una altura de 0.2 m. Las dimensiones varían de acuerdo a la producción del predio y pueden ser de 0.60 x 0.60 x 0.60 m. ó 1.0 x 1.0 x 1.0 m.

2) Cajones de madera tipo escalera

Este sistema se forma con varias series de tres cajones de madera, colocados a diferentes niveles, como formando una escalera. El cacao recién cosechado se coloca en el cajón superior y durante la primera remoción (a las 24 horas), la masa se vierte en el cajón inmediatamente inferior. Luego de transcurrido igual tiempo la masa se vierte en el último cajón. Este procedimiento propicia la aireación de la masa, condición que es de gran importancia para el normal desarrollo del proceso fermentativo.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

3) Fermentación en montón

Se hace un tendido de hojas de plátano sobre tablas de madera o un piso de caña para amontonar allí las almendras frescas. Luego éstas se cubren con el mismo tipo de hojas para que comience la fermentación. Los montones se tapan adicionalmente con sacos de yute para reducir la pérdida de calor.

4) Fermentación en sacos

Una práctica común del productor es llenar sacos con cacao fresco para luego dejarlos colgando con el fin de facilitar el escurrimiento. Alternativamente, acostumbra amontonar los sacos en el piso por un periodo de 5 a 7 días, o los que sean necesarios según el tipo de cacao. De cuando en cuando mueve la masa dentro de los sacos para promover la aireación y completar la fermentación. Si el método no se maneja bien, da lugar a un alto porcentaje de almendras tipo violeta y pizarra, afectándose seriamente la calidad sensorial del cacao.

5) Micro fermentaciones

Es un sistema útil para fermentar pequeñas cantidades de masa de cacao fresco. Ha sido adaptado para pruebas de investigación acerca del proceso fermentativo y es el que se utilizó en el presente estudio. Se utilizan muestras de cacao hasta de 4 Kg, colocando la masa en pequeños sacos de tela con mallas de 45 cm de largo por 25 cm de ancho. La masa queda holgada dentro de la malla para facilitar la eliminación natural del mucílago y la remoción de las almendras cuando sea necesario. Los pequeños sacos se ubican en el interior de una gran masa fermentante, preferiblemente más de 100 Kg, para simular las condiciones y reacciones normales del proceso de fermentación *(Jiménez, 2003)*.

Tiempo de fermentación

El cacao de la variedad Nacional necesita un tiempo de fermentación más prolongado que el cacao Criollo que usualmente se fermenta por tres días. Los cacaos de tipo Forastero se fermentan por cinco a siete días *(Braudeau, 1970; Moreno y Sánchez, 1989; Ramos, 2004)*. La longitud del tiempo de fermentación está relacionada con la cantidad de pulpa y concentración de polifenoles en las almendras, según el genotipo de que se trate. Por lo general, mientras el color de los cotiledones es más violeta-oscuro, el tiempo de fermentación se prolonga más. La intensidad de la coloración depende a su vez de la concentración de antocianina, un pigmento que es parte de la carga total de polifenoles que contiene el cacao. Los cacaos Criollos tienen menos antocianina y en general polifenoles, por eso fermentan más rápido.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Temperatura en la fermentación

Durante los primeros días de fermentación, la temperatura de la masa varía entre 45 y 50°C, una variación normal dentro de este proceso. Luego empieza a descender lentamente para volver a subir a 48 y 50°C, luego de la primera remoción de la masa. El embrión en el interior de la almendra muere cuando la temperatura llega a 45°C, marcándose el inicio de los cambios bioquímicos que conducirán a la formación de los precursores del sabor y aroma a chocolate *(Wood, 1983; Enríquez, 2004)*.

Las temperaturas más altas se producen en la capa superior de la masa entre el segundo y tercer día a partir del inicio de la fermentación *(Semiglia, 1979)*. Esta afirmación es corroborada por *Saltos (2005)*, quién logró establecer una diferencia de 6°C entre la temperatura de la capa superior de la masa fermentante y la de la capa inmediatamente inferior.

Las condiciones climáticas particulares durante el año, así como el genotipo, ejercen un papel importante en la fermentación y el secado. En zonas con climas calientes, la fermentación tarda menos que en otras con temperaturas más moderadas. Como es de esperarse, tales condiciones influyen sobre la calidad final del producto *(Braudeau, 1970; Moreno y Sánchez, 1989)*.

Secado del cacao

Durante el secado el aire penetra a las almendras a través de la cutícula o testa, oxidándose parte de los polifenoles que aún quedan en el grano. Esta fase es la continuación de las reacciones bioquímicas internas que conducen al desarrollo de los precursores del sabor y aroma del cacao en almendras bien fermentadas. Al final, la oxidación se detiene porque la falta de humedad en la almendra inactiva las enzimas que regulan el proceso oxidante. Cabe señalar que al completarse la fermentación, las almendras terminan con alrededor del 55% de humedad, la que mediante el secado baja hasta 6 o 7%, nivel necesario para su almacenamiento seguro *(Gutiérrez, 1988; Braudeau, 1970 y Wood, 1982)*.

El secado también contribuye a la disminución del amargor y la astringencia del cacao y a reducir el riesgo de que se desarrollen olores no deseados en las almendras *(Mossu, 2002)*. Se utilizan dos métodos para el secado: el natural (secado al sol) y el artificial (secadoras mecánicas). Aunque más aconsejable es el primero por su aporte para la disminución de la acidez volátil del grano.

Secado natural (al sol)

La longitud del tiempo de secado depende de las condiciones climáticas, número de horas de iluminación y de la intensidad de los rayos solares. Durante el primer día el secado se realiza por dos a tres horas, esparciéndose las almendras en una

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

capa de 4 a 5 cm de espesor, la que se remueve varias veces a día. El espesor de la capa disminuye gradualmente a medida que pasan los días *(Gutiérrez, 1988)*; y el último día el espesor es de un cm o el equivalente al diámetro de las almendras. Paralelamente, el periodo de exposición al sol se va ampliando.

Hay que evitar que se produzca el secado rápido de las almendras porque previene la oxidación del ácido acético en su interior, quedando una proporción importante de este compuesto atrapado en las almendras y afectando negativamente la calidad sensorial. Por el contrario, el secado muy lento causa el desarrollo de mohos que pueden penetrar la testa y alcanzar el cotiledón, destruyendo la calidad sensorial y creando serios problemas a la industria. La velocidad del secado depende de tres factores: Transferencia de calor al interior de la almendra, movimiento de vapor de agua desde la almendra al aire circundante, y la cantidad de superficie de las almendras expuesta al aire *(Mossu, 1992)*.

En Ecuador y otros países cacaoteros, el secado natural en tendales de cemento o caña, es el procedimiento más utilizado *(Vera, 1993; Arévalo et al. 2004)*. Las marquesinas con pisos de madera, son estructuras cubiertas de plástico que dejan pasar la luz del sol y protegen las almendras de las lluvias impredecibles. Representan otro método de secado utilizando la energía solar.

Secado artificial

Este tipo de secado es una alternativa necesaria para reducir la humedad del cacao en zonas con lluvias frecuentes, en períodos pico de cosecha, o en plantaciones de gran extensión, donde es difícil el secado natural de toda la producción. Hay varias alternativas de secadoras mecánicas, pero la mayoría se basa en el paso del aire seco y caliente por la masa de cacao *(Enríquez, 2004)*; el calor para calentar el aire proviene usualmente de un quemador a gas. Para la utilización más efectiva de los secadores artificiales, se recomienda que la fuente de calor se sitúe lejos de la superficie donde se ubican las almendras, reduciéndose el riesgo de contaminación del cacao con olores extraños, particularmente de combustible. Con frecuencia se combina el secado artificial con el secado natural, eliminándose gran parte de la humedad con el primer método que luego se complementa con el segundo.

Almacenamiento del cacao

El cacao fermentado y seco se almacena en un lugar cerrado, ventilado y libre de humedad, alejado de productos dotados de algún olor como plaguicidas, desinfectantes y combustibles. Para el almacenamiento, las almendras se colocan en sacos limpios que se ubican sobre repisas o tablas para evitar el contacto directo con el suelo y también con las paredes. El cacao es un producto higroscópico capaz de absorber la humedad del aire *(Moreno y Sánchez, 1989; Jiménez, 2003)*. De allí que puede ser necesario secar cada cierto tiempo los lotes de cacao almacenados,

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

para disminuir el riesgo de la presencia de mohos, sobre todo los que producen ocratoxinas (usualmente, son las especies del genero *Aspergillus spp*), o el ataque de insectos y roedores.

Evaluación de la calidad

La calidad en el cacao se manifiesta a través de características físicas (tamaño, peso, grosor de la cáscara), químicas (contenido de grasa, polifenoles, etc.) y sensoriales vinculadas con el sabor y el aroma *(Reyes et al, 2004)*. Con la excepción del contenido de humedad, la calidad comercial se aprecia con métodos subjetivos, mediante la aplicación de la prueba de corte (un total de 100 almendras se cortan por la mitad para observar el grado de fermentación en los cotiledones), en ocasiones complementada con lecturas de degustación. Esta última práctica se está generalizando y volviendo cada vez más importante para adaptar el comercio a la segmentación creciente del mercado cacaotero.

Un componente valioso de la calidad total, por su influencia en las características de los chocolates negros, es la dimensión aromática. El perfil aromático del cacao depende de la composición bioquímica de las almendras, la que a su vez queda determinada por factores ambientales, genéticos, manejo post cosecha, torrefacción, entre otros *(Cros, 2004)*.

Calidad física

La calidad física es la forma como los países compradores clasifican las almendras de cacao por su apariencia, humedad, contenido de materiales extraños, mohos, insectos, y otros. Hay características afectadas por el ambiente durante el desarrollo de la mazorca; por ejemplo la deficiencia de agua y nutrientes impide que las semillas alcancen su tamaño normal. De allí que el índice de semilla, es más alto al final del periodo lluvioso por las mejores condiciones para el desarrollo de las almendras. La comercialización internacional requiere cacaos con índice de semilla arriba de 1 g. El índice promedio de semilla para el cacao ecuatoriano es de 1.26 g. El de Ghana, considerado el referente mundial para la calidad, particularmente física, en el mejor de los casos llega a 1.15 g *(Amores, 2009)*.

El porcentaje de la testa o cascarilla posee un fuerte componente genético moviéndose en un rango que va desde 6 al 16%. Usualmente, mantiene una relación inversamente proporcional con el tamaño de la almendra *(Alvarado y Bullard, 1961)*, es decir que el porcentaje es más alto en las almendras pequeñas y menor en las más grandes. De la magnitud del porcentaje de cascarilla se derivan importantes implicaciones económicas para el transporte y el rendimiento de "nibs", es decir de los cotiledones triturados. Obviamente, el mercado prefiere almendras con más "nibs" y menos cascarilla.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

En el Cuadro 4 se presenta los datos de distribución del peso de las almendras para muestras comerciales provenientes de Ecuador y otros países cacaoteros (ATLAS del Cacao, 2006). En la mayoría de los casos el cacao ecuatoriano se compara favorablemente con las otras muestras incluidas.

Cuadro 4. Peso de las almendras y número de almendras en 100 gramos.

Muestras Ecuador	Peso (g.) promedio	Rango del peso		# de almendras /100 g.	Muestras de otros países	Peso (g.) Promedio	Rango del peso		# de almendras /100 g.
		Valor máximo	Valor mínimo	Promedio			Valor máximo	Valor mínimo	Promedio
N° 1	1,30	2,14	0,27	77	Trinidad & Tobago	1,12	1,81	0,64	89
N° 2	1,11	1,83	0,29	85	Venezuela	1,14	2,40	0,53	90
N° 3	1,34	2,13	0,64	80	Brasil N° 1	2,15	3,56	0,66	44
N° 4	1,26	2,03	0,59	76	Brasil N° 2	0,98	1,54	0,36	101
N° 5	1,28	1,95	0,68	81	Côte d Ivoirè	0,99	1,78	0,26	104
N° 6	1,29	1,96	0,63	80	Ghana N° 1	1,05	1,64	0,28	87
N° 7	1,15	1,49	0,30	92	Ghana N° 2	1,15	1,82	0,46	87
N° 8	1,25	2,18	0,33	87	Camerún	1,11	2,25	0,44	93
N° 9	1,27	2,30	0,43	80	Madagascar	1,08	1,88	0,44	93
N° 10	1,42	1,77	0,96	68	Nigeria	1,20	2,16	0,46	88
N° 11	1,34	1,99	0,46	77					

Fuente: Atlas de cacao, 2006

Prueba de corte para el análisis de fermentación

Es una prueba subjetiva que requiere de la observación visual y se utiliza para determinar el grado de fermentación de las almendras, por su influencia directa sobre el sabor y aroma a chocolate. Es recomendable su aplicación como máximo a los 30 días después del secado, para aislar en lo posible el efecto de oxidación que continúa en alguna medida durante el almacenamiento. La oxidación de los tejidos en los cotiledones, hace que los colores internos cambien naturalmente, pudiendo estos adquirir un color marrón típico de la fermentación, pero el sabor y aroma de las almendras no mejora *(Stevenson et al, 1993)*.

Según *Stevenson et al (1993)*, la masa de cacao que ha recibido una fermentación normal, debe satisfacer de manera general los siguientes requisitos: 0 – 2% de almendras pizarras, 35% de almendras parcial o totalmente violetas,

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

65% de almendras completamente marrones. Al sobrepasar el último porcentaje se corre el riesgo de una sobre fermentación. Sin embargo, *Ramos (2004)* señala que la proporción de almendras fermentadas en relación con las no fermentadas debe superar el 75%. Cuando las almendras están bien fermentadas son fáciles de reconocer porque su interior es de color marrón y son quebradizas al tacto, como galletas. Las almendras con cotiledones blancos (por ausencia de antocianina) presentan un color pardo marrón claro al final del proceso fermentativo.

Ya se mencionó que la prueba de corte es un instrumento subjetivo de evaluación que sirve para conocer el estado de la fermentación de las almendras, además de otras características físicas y sanitarias (tamaño, peso, porcentaje de humedad, contenido de material extraño, mohos, hongos e insectos) vinculadas con la calidad. Sin embargo, la prueba como tal no es suficiente para determinar con precisión la calidad final de un lote de cacao. Los resultados de la prueba de corte permiten la clasificación de las almendras en las clases que se describen a continuación.

a) Almendras de color marrón o café: poseen una fermentación completa; los ácidos han causado la muerte del embrión y apertura de las vacuolas celulares de pigmentación. Las almendras están hinchadas y la testa se separa fácilmente del cotiledón. La calidad del sabor y aroma del grano es óptimo para la elaboración de chocolates gourmet.

b) Almendras marrón con bordes violetas: han sufrido solo una fermentación parcial; los ácidos no han penetrado completamente y una proporción de las vacuolas está intacta; el cotiledón está algo compacto y la testa moderadamente suelta. La calidad del sabor es regular y aprovechable para producir chocolate.

c) Almendras violetas: son aquellas que no se han fermentado completamente; contienen un exceso de acidez procedente de la pulpa, la que en forma de ácido acético penetró tempranamente a los cotiledones. Las almendras no están hinchadas y la apariencia interna es compacta; son la fuente de un sabor astringente y ácido.

d) Almendras pizarrosas (de color gris oscuro como el de una pizarra escolar): las almendras no han logrado fermentar, entre otras razones porque provienen de mazorcas pintonas; la compactación es extrema y producen sabores amargos y astringentes de alta intensidad; el color gris pizarra es un defecto muy serio para la industria.

Composición química del grano de cacao

La composición química de los granos de cacao depende de varios factores entre los que se pueden citar: tipo de cacao, origen geográfico, grado de madurez, calidad de la fermentación y el secado. El beneficio postcosecha también influye sobre su composición química. Los principales constituyentes químicos del cacao son: agua, grasa, compuestos fenólicos, materia nitrogenada (proteínas y purinas), almidón y

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

otros carbohidratos *(Wakao 2002)*. Ver Cuadro 5 para mayor información.

Cuadro 5. Composición química de almendras de cacao fermentadas y secas.

Componentes	Fermentado y seco (%)	Cáscara (%)	Germen o Radícula (%)
Agua	5,00	4,50	8,50
Grasa	54,00	1,50	3,50
Cafeína	0,20		
Teobromina	1,20	1,40	
Polihidroxifenoles	6,00		
Proteína bruta	11,50	1,90	25,10
Mono- oligosacáridos	1,00	0,10	2,30
Almidón	6,00		
Pentosanos	1,50	7,00	
Celulosa	9,00	26,50	4,30
Ácidos carboxílicos	1,50		
otras sustancias	0,50		
Cenizas	2,60	8,00	6,30

Fuente: Belitz y Grosch, citados por Calderón (2002).

Contenido de grasa

El contenido de grasa usualmente varía del 50 al 55% en cacao fresco y luego de ser tostado dicho contenido oscila entre 48 y 52% en el licor de cacao. La grasa está constituida principalmente por glicéridos como el ácido oleico, laúrico, palmítico y esteárico *(Wakao, 2002; Cocoa Beans, 1996)*. El Cuadro 5 muestra resultados complementarios sobre la composición química de las almendras. Los resultados de un estudio local (Cuadro 6), que incluyen además el punto de fusión de la grasa, arrojaron cifras que caen en el rango mencionado por *Jiménez (2000)*.

Cuadro 6. Porcentaje de grasa y punto de fusión de muestras de tres grupos genéticos de cacao.

Material	Grasa %	Punto de fusión %
Clones Recomendados por el INIAP	52.76	29.63
Complejo Nacional x Trinitario	53.43	31.50
Cacao Trinitario	51.80	30.57

Fuente: Laboratorio de calidad de cacao de la E. Pichilingue. 2000.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Concentración de polifenoles

Los polifenoles de la semilla del cacao están almacenados en células distribuidas en grupos a través de los cotiledones. Son compuestos que participan activamente en las modificaciones bioquímicas en el interior de las almendras durante la fermentación. Una de ellas, la oxidación enzimática, causa la disminución del contenido de polifenoles *(Calderón, 2002)*, a través de la hidrólisis de las antocianinas y la polimerización de los monómeros y oligómeros de flavonoles, transformándolos en compuestos insolubles. Como resultado disminuye la astringencia y el amargor *(Cros, 2004 b)*, influyendo positivamente sobre la calidad sensorial del cacao. En las almendras violetas o pizarras, este fenómeno es incompleto o no se ha producido, por lo que la intensidad de amargor y astringencia se encuentra asociada a una mayor concentración final de polifenoles totales. Si la fermentación es bien llevada, la concentración de polifenoles totales en los granos de cacao, se reduce en un 40% o más *(Calderón, 2002; Amores et al, 2007)*.

Según otro estudio conducido por *Hasing (2004)*, luego de cinco días de fermentación los polifenoles totales disminuyeron hasta un 48%. La determinación de compuestos fenólicos puede servir para la diferenciación entre genotipos, ya que algunos terminan con más compuestos fenólicos que otros al final de la fermentación. Los polifenoles son responsables en gran parte por la astringencia y amargor del cacao *(Calderón, 2004)*, pero la epichatequina, uno de los miembros de este grupo, de hecho el segundo en importancia, produce beneficios para la salud por su función antioxidante y este concepto tiene una creciente inclusión en las estrategias de mercadeo *(Amores y Jiménez, 2006)*. El cacao ecuatoriano se encuentra entre los orígenes comerciales con mayor capacidad antioxidante, superando con en más del 15% a los cacaos africanos (ATLAS de Cacao, 2006).

Acidez

El contenido de ácidos orgánicos, compuestos que aportan a la acidez del perfil sensorial del cacao, varía entre el 1.2% y 1.6%. Algunos, entre ellos el acético, cítrico y oxálico, se forman durante la fermentación *(Armijos, 2002)*. El Cuadro 7 muestra las cifras de seis ácidos diferentes en muestras de cacao fermentado y seco de varios orígenes internacionales. El ácido acético y el ácido cítrico destacan por su mayor presencia.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Cuadro 7. Contenido de ácidos orgánicos en muestras de cacao fermentado y seco de distintos orígenes internacionales.

País	Ácidos orgánicos, g /100g de muestra					
	Acético	Oxálico	Cítrico	Málico	Succínico	Láctico
Brasil	0,81	0,06	0,37	0,19	0,19	0,27
Ecuador	0,51	0,08	0,43	0,28	0,16	0,29
Venezuela	0,62	0,09	0,76	0,33	0,37	0,21
Rep. Dominicana	0,55	0,17	0,86	0,28	0,23	0,30
Ghana	0,51	0,10	0,58	0,14	0,36	0,22
Malasia	0,76	0,08	0,52	0,20	0,26	0,50

Fuente: Armijos (2002).

La escala del pH (rango 0-14) permite cuantificar la acidez o la basicidad de un producto a partir de mediciones en disoluciones acuosas. La acidez de una sustancia también se determina por métodos volumétricos, por ejemplo mediante la titulación, que implica tres agentes: el titulante, el titulado y el colorante. Si un ácido y una base se ponen en contacto, surge una reacción observable indirectamente a través de la fenolftaleína (C_{20} H_{14} O_4), colorante que cambia de color azul a rosa en presencia de una reacción ácido-base. El agente titulante es la base, y el agente titulado es el ácido o la sustancia que contiene el ácido, y que en el cacao es una solución obtenida a partir de los cotiledones triturados.

La fermentación causa cambios en la magnitud del pH de la testa o cascarilla (asciende) y de los cotiledones (desciende), pero ambos valores tienden a coincidir hacia el final del proceso fermentativo. En los cotiledones el pH desciende desde aproximadamente 6.5, en almendras frescas, al momento de colocarse la masa en los cajones de fermentación, hasta valores dentro del rango de 5.0 a 5.5, en almendras fermentadas *(Amores et al, 2007)*. Jinap, citado por *Armijos (2002)*, también señala que durante la fermentación ocurren grandes cambios tanto en el tiempo como en la concentración de los ácidos del cacao, tal es así que inicialmente el pH de las almendras frescas es de 3.5 en la pulpa y de 6.5 en el cotiledón.

Deben tomarse las precauciones necesarias para evitar la acidez excesiva del cacao fermentado y seco, pues es un defecto que disminuye la calidad sensorial. En el Cuadro 8 se visualizan los valores de acidez titulable registrados en almendras fermentadas y secas, en muestras de cacao provenientes de varias zonas cacaoteras del Ecuador, producto de un estudio conducido por *Armijos (2002)*. La acidez titulable aumenta con los días de fermentación, ya que se requieren más ml de Na OH 0.01 N, para neutralizar los valores de pH en descenso. Sin embargo, hay diferencias notorias en la acidez promedio de los cacaos para las distintas zonas. Por ejemplo, hasta los cuatro días de fermentación, la acidez titulable es la más baja en la

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

muestra proveniente de Chone que es un origen con cacaos más suaves.

Cuadro 8. Promedios de acidez titulable en cotiledones de almendras de cacao provenientes de fincas comerciales en varias zonas productoras del Ecuador.

Días de Fermentación	Fincas		
	Chone	Naranjal	Ventanas
0 días	0.96	0.71	0.83
2 días	1.17	1.86	1.52
4 días	1.62	2.09	1.92
5 días	2.37	1.75	2.11

Fuente: Armijos, A, 2002.

Teobromina y Cafeína

La teobromina y la cafeína pertenecen a la familia de las purinas y representan más del 99% de los alcaloides presentes en el cacao. La concentración final de ambos, está determinada por el genotipo, el grado de maduración de las almendras y el nivel de fermentación *(Wakao, 2002)*. Durante la fermentación, el contenido de teobromina y cafeína se reduce entre el 20 y el 30%, contribuyendo al descenso en el nivel de amargor de los granos al reducirse el aporte de la teobromina en la expresión de este rasgo sensorial.

Según *Braudeau (1970)*, el sabor amargo del cacao está influenciado en gran parte por el contenido de las purinas (teobromina y cafeína) y en menor grado por los compuestos fenólicos. Señala que los cacaos Criollos poseen menor índice de amargor, en respuesta a una menor concentración de teobromina, comparados con otros grupos genéticos. La reducción de las purinas causada por la fermentación, es similar en porcentaje para la teobromina y cafeína, concordando con resultados de un estudio conducido por *Amores et al (2007)*.

Según un reporte final de investigación *(Amores et al, 2006)*, sobre los resultados de un estudio de fermentación, se señala que la tasa de disminución de la teobromina al terminar el proceso fermentativo, es similar, ya sea que este se realice en la época seca o lluviosa, o en almendras presecadas o sin presecar. El estudio también reveló una mayor concentración de teobromina y cafeína en la época seca pues las diferencias encontradas con relación a la época lluviosa fueron significativas.

Un estudio conducido por *Wakao (2002)* también demostró que los contenidos de teobromina y cafeína, disminuyen a medida que avanza la fermentación, en proporciones que varían entre el 15 y el 24%. Además encontró que los distintos tipos de cacao presentaron diferencias en el contenido de cafeína y de teobromina, sugiriendo su posible utilidad para la diferenciación de genotipos. El Cuadro 9

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

muestra la dinámica del contenido de teobromina en el cotiledón y la cascarilla, como resultado de la exudación que se produce a través de la testa de los granos durante la fermentación.

Cuadro 9. Evolución del contenido de teobromina en la cáscara y cotiledón del grano del cacao durante varios días de fermentación.

Duración de la fermentación	Cáscara seca, Teobromina, %	Cotiledón desgrasado y seco Teobromina, %
0	0,28	2,96
2	0,28	3,05
4	2,35	2,57
6	2,35	2,36
8	2,33	2,23

Fuente: Wakao (2002).

Los resultados de un estudio conducido por *Hasing (2004)*, con muestras de cacao venezolano del tipo Guasare, dieron un valor de 1.58 para la relación teobromina/cafeína, valor que corresponde al grupo de los cacaos Criollos, según las cifras referenciales que se muestran en el Cuadro 10. A la muestra de cacao Forastero procedente de Ghana le correspondió el valor de 10 para la misma relación. A los cacaos del grupo Trinitario le correspondieron valores que se ubicaron alrededor de 6.

De acuerdo a un par de estudios recientes en el Ecuador *(Amores et al, 2006; Amores et al, 2007)*, las fermentaciones en la época lluviosa o seca, no influyen sobre la magnitud de la relación teobromina/cafeína. Por la estabilidad de esta relación a través de la fermentación y épocas climáticas, podría convertirse en un parámetro ideal para discriminar orígenes comerciales de cacao. Según un estudio conducido por *Davrieux et al (2004)* en el CIRAD, la relación teobromina/cafeína sirvió para separar los cacaos de Costa de Marfil, Trinidad y Venezuela, confirmando observaciones previas acerca de su capacidad discriminatoria de genotipos y orígenes comerciales.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Cuadro 10. Valores de la relación Teobromina / Cafeína para diferentes grupos genéticos de cacao.

Grupos	Valor de Relación Teobromina / Cafeína
Cacao Forastero	15 – 10
Cacao Trinitario	10 – 5
Cacao Criollo	2 – 1

Fuente: Hasing, H. 2004.

Perfil sensorial del cacao

Degustar un alimento o "catarlo", significa probarlo con la intención de evaluar su calidad sensorial. La palabra CATA de origen griego es sinónimo de prueba, mediante la cual el degustador (persona seleccionada) valora sensorialmente un alimento a través del gusto, color, textura, etc., comparando con modelos ya establecidos *(Sancho et al, 1999)*.

La evaluación sensorial como método, utiliza panelistas previamente entrenados para medir, analizar e interpretar las reacciones de los sentidos (vista, olfato y gusto), frente a las características de los alimentos. En el caso del cacao, las reacciones se determinan sobre una pasta preparada según procedimientos universalmente establecidos, para la identificación y valoración de sabores y aromas. Con los datos resultantes se construye el perfil sensorial para los distintos tipos de cacao.

Se requieren procesos bien llevados de fermentación y secado para construir la calidad, tanto en la dimensión física como en la sensorial, ambas importantes para la comercialización del cacao. Se ha observado que en la Costa ecuatoriana, el cacao cosechado durante la época lluviosa logra mayores índices de fermentación que en la época seca, con un mayor potencial para producir perfiles sensoriales apreciados por la industria. La explicación es que el cacao se beneficia del mayor tiempo que permanece amontonado y cubierto como protección contra las frecuentes lluvias, circunstancia que favorece la fermentación *(Semiglia, 1979; Moreno et al, 1983; Navarrete, 1992)*. Por el contrario, en los meses secos, los productores quieren tener el cacao listo para la venta en el menor tiempo posible, librándose de la pulpa y humedad excesiva mediante el secado rápido, limitándose así las oportunidades de buena fermentación.

Periodos prolongados de fermentación, con la idea de lograr porcentajes superiores de almendras fermentadas, puede terminar en la sobre fermentación del cacao, generando sabores y olores tipo jamón o podrido, que constituyen defectos graves para la industria. Las cualidades sensoriales del cacao se desarrollan y expresan nor-

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

malmente con periodos de fermentación y secado que son estandarizados para zonas y tipos de cacao, en base a estudios previos *(Braudeau, 1970)*. Los precursores del sabor que se forman durante la fermentación, se recombinan durante el tostado de las almendras para expresar el aroma típico del cacao y chocolate. Los azúcares reductores originados en la hidrólisis de la sacarosa durante el proceso de fermentación, desempeñan un papel primordial en este proceso *(Cocoa beans, 1996)* al combinarse con los compuestos nitrogenados. Es la conocida reacción de Maillard.

Las condiciones de torrefacción o tostado, se calibran y aplican según el tipo de cacao que se procesa. El tostado prolongado con alta temperatura, por ejemplo 140-150°C, elimina las especificidades aromáticas de los cacaos finos. Y por el contrario, favorece el desarrollo de aromas de naturaleza térmica, con base en la presencia de azúcares reductores (glucosa y fructuosa), que son también compuestos precursores del sabor, junto con otros como los aminoácidos y péptidos *(Rohan, 1964)*. Si la temperatura de tostado es alta por mucho tiempo, las almendras terminan por quemarse. El sabor a quemado ocurre cuando ya no existe fructuosa en el grano *(Cros, 2004 a; Ramos, 2004)*.

Un régimen típico de tostado para preservar las cualidades aromáticas del cacao de la variedad Nacional del Ecuador, es el de 120°C x 18 minutos. En esta parte es pertinente mencionar que las sensaciones aromáticas son percibidas por el órgano olfativo (la nariz) por vía retro nasal, estimuladas por las sustancias volátiles que emanan del cacao como consecuencia del tostado.

Sabores como el amargor, astringencia, acidez, azucarado, se dan en las almendras de cacao por la presencia de compuestos no volátiles como los alcaloides, polifenoles, etc. La astringencia de las almendras disminuye a medida que avanza la maduración de las mazorcas, aparentemente por la condensación de los polifenoles *(Calderón, 2002; Cros, 2004 a)*. Esa es la razón por la que hay que evitar la cosecha de mazorcas pintonas, o que aun no han terminado de madurar, ya que se afecta la calidad final del producto fermentado.

Las papilas gustativas de la lengua registran los cuatro sabores básicos (dulce, amargo, ácido y salado) en distintas regiones de la misma. Por el contrario, los aromas se perciben por medio del órgano olfatorio, por vía retro nasal en la cavidad bucal, tal como se señaló en un párrafo anterior. Según *Sancho et al (1999)*, en el licor de cacao preparado para degustación se identifican tres grupos de sabores (básicos, específicos y adquiridos) como se describe a continuación

Sabores básicos

1. Acidez: describe licores con sabor ácido; expresan la presencia de ácidos volátiles y no volátiles; se percibe a los lados y centro de la lengua. Referencias: Frutas cítricas, vinagre.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

2. Amargor: describe un sabor fuerte y amargo, en respuesta a una falta de fermentación; se percibe en la parte posterior de la lengua o en la garganta. Referencia: café, cerveza, toronja.

3. Astringencia: describe un sabor fuerte también por falta de fermentación; se expresa como sequedad en la boca producto de la precipitación de las proteínas en la saliva; va acompañada de un aumento de salivación; se percibe en toda la boca, lengua, garganta y hasta en los dientes. Referencia: cacao no fermentado, mango verde, hojas de plátano, carambola pintona.

4. Dulce: se percibe una sensación dulzaina en la punta de la lengua.

Sabores (aromas) específicos

1. Cacao: describe el sabor típico de granos de cacao bien fermentados, secos, tostados y libre de defectos. Referencia: barras de chocolate negro, cacao fermentado y tostado.

2. Floral: describe aroma a flores, con tonos perfumados. Referencia: lilas, violetas, flores de cítricos.

3. Frutal: describe el sabor y aroma a fruta madura, combinado con notas dulzainas agradables. Referencia: cualquier fruta seca madura, fruta cítrica madura y seca; ciruelas pasas.

4. Nuez: describe el sabor y aroma de almendras y nuez.

Sabores adquiridos (normalmente defectos)

1. Moho: describe licores con sabor mohoso por una sobre fermentación de las almendras o por un secamiento incorrecto que favoreció la proliferación de hongos. Referencia: Sabor a pan viejo, musgo, olor a bosque.

2. Químico: describe licores contaminados por combustible, plaguicidas, desinfectantes y otros productos.

3. Verde/Crudo: describe características sensoriales que demuestran la insuficiencia de fermentación, o de tostado incompleto.

4. Humo: describe licores contaminados por humo de madera, usualmente por el uso de prácticas de secado artificial. Referencia: humo de madera, notas fenólicas, jamón.

5. Metálico: describe licores en los que se percibe notas metálicas; origen poco

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

conocido; una de las fuentes podría ser genética.

Normas para controlar la calidad de cacao

Las características que deben reunir los granos de cacao destinados a la comercialización, han sido fijadas por el Comité respectivo en la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. También se aplican Normas de la Organización Mundial de la Salud OMS en lo que tiene que ver con los límites para la presencia de aflatoxinas, plaguicidas y metales pesados. A nivel local se aplica la Norma INEN – NTE (2006) que se describe a continuación.

1) El máximo porcentaje de humedad para el cacao beneficiado debe ser 7%.
2) El cacao beneficiado no debe estar infestado por ningún tipo de insectos.
3) El cacao beneficiado no deberá exceder el 1 % de granos partidos.
4) El cacao beneficiado debe estar libre de olores a: moho, humo, ácido butírico (podrido), agroquímicos, o cualquier otro que se considere objetable.
5) El cacao beneficiado debe estar libre de impurezas y materias extrañas.
6) El contenido de grasa debe ser el más alto posible, preferible sobre el 50%.
7) El peso promedio de un grano fermentado y seco no debe ser inferior a un gramo.
8) La cutícula o testa será suelta y entera, bastante fuerte para evitar la ruptura y su valor no debe pasar del 12 % del peso de la almendra.
9) Las almendras deben tener la capacidad de desarrollar un buen chocolate después de su beneficio.
10) La muestra debe estar libre de granos sin fermentar (pizarras) de color gris oscuro, o mal fermentados (violetas) y totalmente morados.

Las normas 8 y 10 se incumplen con frecuencia por razones prácticas. La heterogeneidad y variedad genética del cacao en las huertas tradicionales, dificulta la obtención de lotes de cacao sin almendras violetas, o con porcentajes de testa del 12%. Varios orígenes ampliamente comercializados en el mercado internacional tienen almendras que superan el 12% para el contenido de testa (ATLAS de Cacao, 2006).

La calidad del cacao ecuatoriano destinado a la exportación está normada de acuerdo a los criterios expuestos en el Cuadro 11 y contenidos en la norma INEN 176-NTE.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Cuadro 11. Normas de Calidad para evaluar y clasificar el cacao en grano beneficiado.

Requisitos	**Unidad**	**ASSPS**	**ASSS**	**ASS**	**ASN**	**ASE**	**CCN - 51**
100 granos pesan	g	135-140	130-135	120-115	110-115	105-110	135 -140
Buena Fermentación (mínimo)	%	75	65	60	44	26	*** 65
Mediana Fermentación * (mínima)	%	10	10	5	10	27	11
Violeta máximo	%	10	15	21	25	25	18
Pizarra – pastoso (máximo)	%	4	9	12	18	18	5
Moho (máximo)	%	1	1	2	3	4	1
Totales (análisis sobre 100 granos)	%	100	100	100	100	100	100
Defectuosos (análisis sobre 500 granos)	%	0	0	1	3	** 4	1
TOTAL FERMENTADO (mínimo)	%	85	75	65	54	53	76
ASSPS = Arriba Superior Summer Plantación Selecta.							
ASSS = Arriba Superior Summer Selecto.							
ASS = Arriba Superior Selecto.							
ASN = Arriba Selección Navidad							
ASE = Arriba Superior Época.							
* Coloración marrón violeta							
** Se permite la presencia de granza solamente para el tipo A.S.E.							
*** La coloración varía de marrón a violeta							

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación fue conducida por el INIAP en estrecha colaboración con APROCANE, durante el periodo 2006 – 2008. La fase de campo se cumplió en cinco fincas cacaoteras representativas de la zona de Colón Eloy – Maldonado, en el extremo nor oriental de la provincia de Esmeraldas. El Cuadro 12 contiene información adicional sobre la zona, sector y fincas cubiertas por el estudio.

Cuadro 12. Fincas seleccionadas, superficie, propietarios, ubicación geográfica, altitud y edad de las huertas en el sector estudiado.

SECTOR	Nº DE LA FINCA	DUEÑO DE FINCA	UBICACIÓN Latitud/ longitud	ALTUITUD m.s.n.m.	EDAD APROX. DE PLANTACIÓN	SUPERFICIE
Colon Eloy-Maldonado	1	Sra. Leoniza Gómez	00 º 59'34 N / 078 º 53' 32 O	39	70 Años	4 ha
	2	Sr. Dukelman Sevillano	01 º 00' 49 N / 078º54' 12 O	26	50 años	5 ha
	3	Sr. Baltazar Valencia	01º 01' 32 N / 078º54' 20 O	27	70 Años	4,5 ha
	4	Sr. Marcelino Corozo	01º 02' 24 N / 078º 54 48 O	23	80 Años	3 ha
	5	Sr. Jhonny Castro	01 º 03' 28 N / 078º 51' 52 O	17	30 años	3 ha
	Centro de Acopio del cacao "APROCANE"		01 º 04 ' 19 N / 078 º 54 ' 40 O	21		

Entorno agro-climático

La importancia ecológica de la zona que ocupa el nor oriente de la provincia de Esmeraldas y de la que forma parte el sector de Colon Eloy-Maldonado, donde se condujo el estudio, queda demostrada por las áreas protegidas que allí se encuentran: la Reserva Ecológica Cotacachi–Cayapas, con una superficie de 204,420 ha;

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

la Reserva Forestal AWÁ, con una superficie de 101,000 has; la Reserva Ecológica Manglares Cayapas–Mataje, con 51.300 ha. También forma parte de esta subregión, el Bosque protector del Yalaré, con 1,050 ha; creado en 1998 con la finalidad de proteger los humedales de la zona. Las reservas mencionadas están distribuidas en los cantones Eloy Alfaro y San Lorenzo.

Colón Eloy-Maldonado es un sector que al igual que el resto de la zona descrita, pertenece a la categoría bioclimática Bosque húmedo tropical. Fisiográficamente, es un sector plano de naturaleza aluvial, con altitudes que no sobrepasan los 30 msnm y la distancia con respecto al mar no es mayor a 30 km. La precipitación anual promedio supera ampliamente los 3,000 mm y está bien distribuida, aunque el 70% de las lluvias se recibe durante el primer semestre del año. Las copiosas lluvias favorecen el desarrollo de una frondosa vegetación tropical, dentro de la cual se aprecian árboles de maderas finas, combinados con especies como caucho, chontilla, guarumo, laurel, tagua, banano, abacá, bijao, entre otras.

Delimitación y diagnóstico de las huertas cacaoteras estudiadas

En el mapa de la Fig. 1 se ilustra con una estrella verde de ocho puntas, la ubicación del sector de Colón Eloy – Maldonado, en el nororiente de la provincia de Esmeraldas. La ubicación de las fincas seleccionadas para el muestreo de almendras, hojas y registro de otros datos, se determinó mediante coordenadas geográficas (latitud y longitud) utilizando un GPS (sistema de posicionamiento satelital) tal como se ilustra en la Fig. 2.

Figura 1. Ubicación de la zona seleccionada para el estudio en el nororiente de la provincia de Esmeraldas.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Para el diagnóstico de la situación actual de las huertas cacaoteras en las fincas seleccionadas, se procedió a medir lotes representativos de 50 x 50 m. Dentro de estos lotes se contaron las plantas, registraron frutos sanos y enfermos, identificaron los árboles más productivos, calculó la distancia de siembra y recolectó más información relevante. Complementariamente, se identificaron y cuantificaron otras especies arbóreas y no arbóreas asociadas al cacao en la huerta.

Figura 2. Ubicación de las fincas cacaoteras seleccionadas para el estudio en el sector de Colón Eloy-Maldonado.

Análisis de la información histórica de parámetros climáticos

A través del INAMHI se accedió a información climática, particularmente de la Estación meteorológica Cayapas, a unos 15 Km del sector estudiado. La información consistió de datos de temperatura, precipitación y humedad relativa correspondientes al periodo 2000 – 2005. Los datos sistematizados se organizaron en una Tabla para reflejar de mejor manera la realidad climática del sector en cuestión.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Muestreo de suelos y análisis de la fertilidad

En cada huerta se tomaron muestras de suelos hasta una profundidad de 15 c
Para una mayor comprensión acerca su naturaleza y características, se cavaron c
icatas, que son excavaciones para observar y registrar información más detalla
sobre los componentes agrícolas del suelo, pero a una mayor profundidad. La a
tividad se cumplió sólo en dos fincas, sin ampliarse al resto porque todas compart
la misma posición fisiográfica (ubicación en el paisaje), es decir que se encuentr
formando parte de llanuras aluviales con topografía plana, intercaladas a veces c
ligeras depresiones, usualmente pantanos donde no se cultiva cacao, y cruzadas p
pequeños y medianos cauces de agua, además de los grandes ríos de la zona.

Las muestras se remitieron al Laboratorio de análisis de suelos y plantas de
Estación Pichilingue del INIAP para determinaciones de textura y varios parámetr
de fertilidad (pH, CIC, porcentaje de saturación de bases, macro y micronutrient
etc.). La información así obtenida, sirvió de apoyo para la descripción de la realid
ambiental del sector e interpretación de otros resultados de la investigación.

Muestras foliares y análisis de ADN

Se marcaron 10 árboles de cacao en cada finca totalizando 50. De cada uno
tomaron cinco hojas jóvenes y sanas (Figura 3), siguiendo la metodología utilizada p
Loor (2002), abarcando un número de muestras igual al de los árboles marcados.
total se tomaron 50 muestras de todas las fincas que participaron en el estudio.

Como observación, el muestreo foliar se realizó siguiendo el camino de cosec
del agricultor, quien al recolectar los frutos maduros, rastrea solo los árboles m
productivos de la huerta. Deja de lado los árboles improductivos, aquellos muy su
ceptibles a las enfermedades y con un número tan reducido de mazorcas que
justifica la inversión de tiempo y esfuerzo en la cosecha. La rigurosidad del entor
ambiental ha desarrollado en los productores una clara conciencia de la relaci
beneficio/costo para el uso eficiente de los escasos recursos que poseen, es de
su tiempo y energía. Este detalle del muestreo pudo haber restringido la aleat
ización, y posiblemente influido sobre la información genética obtenida en base
las muestras foliares recolectadas. En cualquier caso esta es una consideración pa
tenerse en cuenta al momento de hacer la interpretación.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

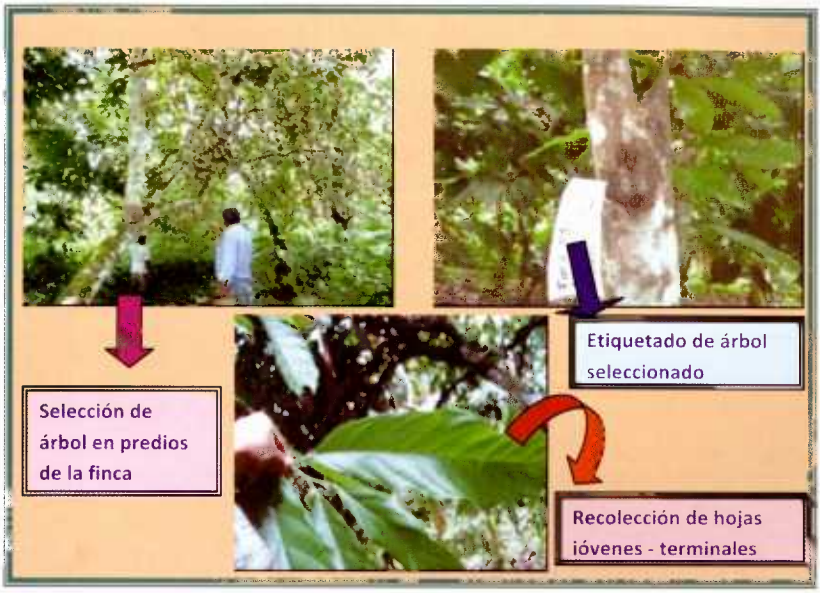


Figura 3. Muestreo foliar en fincas cacaoteras seleccionadas para el estudio.

Luego de la recolección, las hojas se limpiaron con papel toalla antes de ser colocadas en fundas de papel con la identificación respectiva. Una vez en el laboratorio, las fundas con las hojas se mantuvieron en un cuarto dotado de aire acondicionado y extractor de humedad. Las muestras se conservaron así por 10 días hasta completar el secado. Después, se traspasaron a otras fundas de papel debidamente etiquetadas para su envío al destino final, el laboratorio de Biología molecular de USDA, en Beltsville, Maryland, USA.

En dicho lugar se realizó la extracción de DNA y condujeron análisis de caracterización y diferenciación genética para las muestras enviadas. La actividad tuvo lugar como parte de un acuerdo científico entre el director del presente proyecto y el responsable de los trabajos de biología molecular en cacao, en Beltsville, Dr. Dapeng Zhang. Para la construcción del perfil y otras características genéticas, se utilizaron 15 marcadores moleculares del tipo micro satélite (SSRs), también llamados de secuencia simple repetida, los mismos que se distribuyeron sobre los 10 pares de cromosomas que tiene el cacao.

El análisis sirvió para develar la estructura genética de los árboles que componen la población de cacao prevalente en las fincas donde se originaron las muestras. Por su representatividad se espera que permitan la extrapolación de los resultados a todo el sector de Colón Eloy-Maldonado.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Para apoyar la interpretación y darle más sentido a los resultados, la información genética se comparó con información disponible para otro grupo de árboles pertenecientes a la población de la zona de Naranjal, así como con otras poblaciones y clones de referencia conocidos y representativos de distintos grupos genéticos (Forastero, Criollos y Trinitario), entre ellos individuos altamente homocigóticos de la variedad Nacional. Este es el primer estudio de este tipo para el nor oriente de la provincia de Esmeraldas. Más detalles sobre los materiales comparados se muestran en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Poblaciones cacaoteras y genotipos comparados para estimar su similitud y distancia genética con la población de Colón Eloy-Maldonado.

GRUPOS GENÉTICOS					
Complejo Nacional x Trinitario			Forastero	Trinitario	Criollo
Colón Eloy – Maldonado, nor oriente de Esmeraldas	Naranjal, Sur del Guayas	Clones cacao Nacional	Clones cacao Amazónico	Clones Trinitario	Clones Criollo
F inca # 1	Finca # 1	EET - 48	SCA - 12 A	Chuao -120	Criollo 13
Finca # 2	Finca # 2	EET - 96	SCA - 6 A		PV - 5
Finca # 3	Finca # 3	EET - 283	Mocorongo		MEX - 19
Finca # 4	Finca # 4	NAL - 2	Catongo B A		RIM - 68
Finca # 5	Finca # 5	NAL - 3	Amelonado - 15		
		NAL - 4	Ocumare 61		
		AM 1/1	Ocumare 77		
		Gloria-13	BE - 3		
		Brisas - 30			

El análisis de Componentes Principales produjo un gráfico con la distribución en plano definido de la posición de las distintas poblaciones y genotipos analizados y comparados. La distribución obtenida permitió construir conclusiones sobre el significado de la ubicación de la población del sector de Colón Eloy–Maldonado, respecto de otros grupos genéticos. Los resultados se complementaron con un análisis de conglomerados, que permitió una mejor observación de la vinculación y parentesco entre ellos.

Muestreo y fermentación del cacao

Para la cosecha se contó con el apoyo de los propietarios de las fincas seleccionadas. Las muestras de cacao fresco se trasladaron a la Planta de beneficio de

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

APROCANE (Asociación de Productores de Cacao del nor oriente de Esmeraldas), en la localidad de Maldonado. Las fincas de donde provinieron las muestras, se encuentran en un radio de 15 Km de dicha localidad. Allí se procedió a la fermentación aplicando el método de micro fermentaciones.

Para conducir las micro fermentaciones, se colocaron 1,5 Kg de almendras frescas, es decir la muestra, en pequeños sacos de mallas de polietileno. Para cada finca se utilizaron seis mallas llenas de cacao fresco hasta completar un total de 9 Kg, las que sirvieron para estudiar simultáneamente el efecto de tres tiempos de fermentación (3, 4 y 5 días) con dos replicaciones, sobre el porcentaje de almendras fermentadas, almendras violeta y almendras pizarra.

Las mallas se incrustaron en el interior de una masa "madre" de cacao fresco. La masa "madre" se obtuvo de las fincas que participaron en el estudio; cuando no había suficiente cantidad, se completó con cacao de otras fincas del sector con características parecidas. La masa y las muestras se fermentaron en cajones de madera de laurel. Las dimensiones de los cajones son de 50 cm de largo x 50 cm de ancho x 50 cm de profundidad, con capacidad para llenarse con 70 Kg de masa fresca. Los cajones poseen agujeros de un centímetro de diámetro en el fondo, con separación de 10 cm entre ellos, para facilitar el drenaje de las exudaciones producidas por la descomposición del mucílago de las almendras.

El cajón lleno con la masa y las muestras, se cubrió con hojas de plátano o bijao, y encima se pusieron sacos de yute (ver Fig. 4) para conservar la temperatura durante la fermentación y desacelerar el enfriamiento de la masa. De todas formas, las partes de la masa contigua a las paredes y fondo del cajón, siempre pierden temperatura con más rapidez, circunstancia que contribuye a la heterogeneidad de la fermentación.

La masa se removió por dos ocasiones, utilizando para el efecto una pala de madera. La primera remoción se realizó a las 24 horas y la segunda a las 48 horas, contadas desde el comienzo de la fermentación. A medida que el proceso fermentativo progresaba, los pequeños sacos de mallas con las muestras se retiraban, según correspondieran a 3, 4 o 5 días de fermentación. Al retirarlas, se tenía la precaución de disturbar al mínimo la masa "madre" para conservar el calor. Hay que recordar que el embrión de la almendra muere por una combinación de ácido acético y calor. El proceso fermentativo de toda la masa se completó en cinco días.

El avance de la fermentación se monitoreó mediante registros diarios de la temperatura, tanto en el ambiente externo, como en la masa fermentante, utilizando un termómetro de aluminio a base de mercurio. Las lecturas se tomaron a las 8h00; 12h30 y 16h30, de cada día, en puntos ubicados a 10, 20 y 30 cm de profundidad, contados a partir de la superficie de la masa. Los resultados de esta actividad, se utilizaron como apoyo para interpretar los porcentajes de fermentación. Para quien

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

tenga interés en observar con más detenimiento los datos de temperatura y de otras variables físicas, puede remitirse al Cuadro correspondiente en el Anexo.

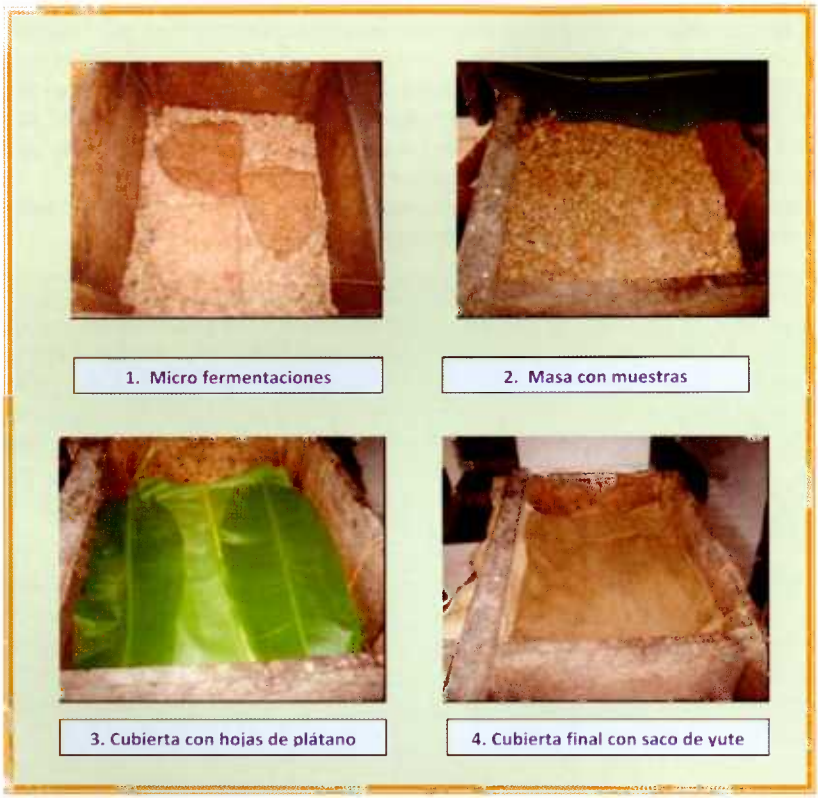


Figura 4. Fermentación de muestras de cacao de las fincas seleccionadas

Luego de cumplir el tiempo planificado de fermentación, las muestras se expusieron al secado natural, en pequeños tableros de madera (ver Fig. 5) hasta que las almendras alcanzaron el 7% de humedad, o un nivel aproximado, en un periodo cercano a las dos semanas. En lo posible se realizó el secado gradual de las almendras, para favorecer la pérdida de la acidez volátil conjuntamente con el agua de evaporación. Si el secado inicial de grano es muy rápido, queda excesiva acidez volátil (ácido acético) en el interior, afectándose la calidad sensorial.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Figura 5. Proceso de secado para el cacao fermentado

Manejo de las muestras en el laboratorio

Las muestras fermentadas y secas, debidamente identificadas, ingresaron en el laboratorio de calidad integral de cacao, en la E. Pichilingue del INIAP. Allí se almacenaron en una bodega con ambiente controlado (aire acondicionado y extractor de humedad) hasta el momento de ejecutar los análisis planificados. La presencia de insectos se controló con la implantación de trampas ecológicas.

Para su almacenamiento, las muestras se colocaron en sacos de tela (liencillo) con capacidad para 1 Kg, identificadas debidamente por dentro y por fuera, incluyendo el nombre del proyecto, zona, sector, finca y repetición. Además de la identificación, se incluyó la fecha de ingreso y el peso de la muestra. Luego se colocaron ordenados sobre estantes metálicos.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Torrefacción (tostado), descascarillado y preparación del licor de cacao

Un total de 200 g de almendras fermentadas y secas por cada muestra fueron sometidas a torrefacción, utilizando para el efecto en una estufa de aire forzado. El régimen de tostado aplicado fue de 115°C x 15 minutos, acordado luego de varios ejercicios de prueba para conseguir las mejores condiciones de torrefacción. Esta precaución era necesaria para evitar el sobre tostado de las almendras, con la consiguiente pérdida del aroma.

Las almendras tostadas se dejaron enfriar, antes de proceder a retirarles la cascarilla, es decir liberar los cotiledones, también llamados "nibs", de la testa. Se procedió a triturar en un molino eléctrico los cotiledones tostados, hasta obtener gránulos muy pequeños. Posteriormente, el material granulado se batió en una licuadora por varios minutos, hasta convertirlo en pasta semilíquida, el licor de cacao (la Fig. 6 ilustra los pasos descritos). El grosor de los sólidos suspendidos en la grasa diluida del cacao, es decir la pasta, era de aproximadamente 60 micrones.

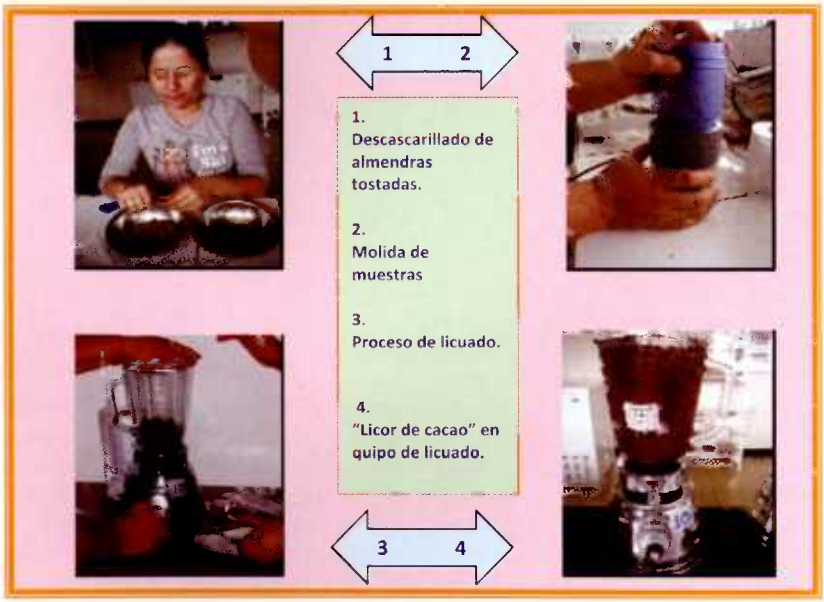


Figura 6. Ilustración del proceso de preparación de la pasta o licor de cacao.

Los sólidos de cacao en la pasta se distribuyen en la grasa derretida del licor y su finura afecta las percepciones sensoriales en la lengua y cavidad bucal. Las partículas demasiado gruesas, que se sienten como granos de arena fina, atenúan la percepción de las características de sabor lo que puede conducir a la sub evaluación.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

La menor percepción se produce porque las partículas con tamaños grandes dificultan su contacto con los "sensores" o papilas gustativas. Por esa razón, los sólidos de cacao en las barras de chocolates tienen tamaños que se encuentran alrededor de los 25 micrones para asegurar la máxima sensibilidad gustativa por parte del consumidor.

El licor obtenido se vertió en cubetas antes de ser sometido a refrigeración por 24 horas (ver Fig. 7) para solidificarlo. Con el licor en estado sólido, las cubetas se retiraron y cubrieron con papel de aluminio antes de empacarlas en fundas plásticas, teniendo cuidado de identificar correctamente cada muestra. Finalmente, se guardaron y conservaron en un congelador por alrededor de dos meses a una temperatura de 4°C, hasta el momento de la degustación.

Poco antes de los ejercicios de degustación, las muestran fueron codificadas por un asistente de laboratorio, independiente del panel de degustación. Así los integrantes del panel no dispusieron de información sobre el origen de la muestra, circunstancia que podía influenciar sus criterios de evaluación sensorial.

Figura 7. Proceso de preparación de las muestras del licor para su almacenamiento.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

ANÁLISIS FÍSICOS

Prueba de Corte y porcentajes de fermentación

Se aplicó la técnica de la Prueba de Corte para estimar la calidad de la fermentación en las diferentes muestras. Esta consiste en dividir longitudinalmente en dos mitades, mediante el uso de un instrumento conocido como "guillotina", cada una de las almendras de un grupo de 100 tomadas aleatoriamente, Enseguida, se examinó con suficiente luz natural una de las mitades; de acuerdo al color e intensidad de las grietas de los cotiledones, las almendras, se clasificaron como bien fermentadas, medianamente fermentadas, violeta y pizarra.

Días requeridos de fermentación

En base a los resultados de la Prueba de Corte, se estimó el porcentaje de fermentación total, sumando las almendras bien fermentadas y medianamente fermentadas, cifras que por lo general se mantuvieron en una relación de 1 a 2. La información acerca del número de días de fermentación necesario para maximizar el porcentaje de almendras fermentadas, fue clave para seleccionar las muestras sobre las cuales se continuaron después los análisis químicos y sensoriales. Las muestras con insuficiente fermentación se dejaron de lado.

Con los resultados de la prueba de corte, se construyó un grafico de dispersión para visualizar el comportamiento conjunto de los distintos porcentajes de fermentación alcanzados. Después, mediante una curva polinomial que adoptó la forma: $Y = - 3.23 x^2 + 33.69 x - 1.33$, se concretó la expresión matemática para dicho comportamiento. El tiempo de fermentación sustituye a la variable independiente en el modelo, mientras que Y representa el porcentaje de fermentación como variable dependiente.

Índice de semilla

En una balanza de precisión se determinó el peso de 100 almendras fermentadas y secas tomadas al azar. Esta cifra se dividió para 100 obteniéndose como resultado el índice de semilla (IS) en gramos, repitiéndose dos veces la operación por muestra para promediar el IS. El indicador señalado proporciona una idea acerca del valor central y peso más frecuente de los granos en una muestra o lote de cacao.

Número de Almendras en 100 gramos

En 100 gramos de almendras fermentadas y secas tomadas aleatoriamente, se procedió a contar el número de almendras necesarias para alcanzar dicho peso. La operación se repitió dos veces por muestra para obtener un promedio.

Porcentaje de testa

Se pesaron 10 almendras fermentadas y secas tomadas aleatoriamente. Después de separar la testa (cascarilla) del cotiledón, se obtuvo el peso acumulado de la cascarilla y se dividió para el peso total de las 10 almendras. El cociente se multiplicó por 100 para obtener el porcentaje de cascarilla. La operación se repitió dos veces por muestra para obtener un promedio.

Distribución del peso de las almendras

Se obtuvo el peso individual de cada una de las almendras fermentadas y secas de un grupo de 300 tomadas aleatoriamente. Con los pesos se construyó una base de datos para obtener histogramas de frecuencia que permitan graficar la distribución del peso de las almendras, así como calcular la desviación estándar para estimar la amplitud de su variación.

Color de los cotiledones de cacao

Los cotiledones presentan variaciones de color que va de blanco a violeta oscuro, dependiendo del grupo genético al que pertenecen las muestras de cacao. A medida que el color se torna gradualmente más claro, se deduce que los cotiledones contienen cada vez menos antocianina, el pigmento que les da la coloración violeta. Los cotiledones con color blanco marfil carecen de antocianina y están asociados con los cacaos Criollo o cercanos genéticamente a este grupo.

Con el propósito de observar la variación del color de los cotiledones, se descascarillaron y cortaron longitudinalmente 100 almendras tomadas aleatoriamente. El interés era detectar la presencia de almendras con cotiledones de color blanco marfil y rosado pálido, indicadores de la ausencia y escasa presencia de antocianina. Luego de clasificar las almendras por su color característico, se calcularon los porcentajes respectivos.

ANÁLISIS QUÍMICOS

Para la determinación de varias características químicas seleccionadas se prepararon muestras de 300 g de almendras fermentadas y secas. Enseguida se guardaron en fundas de papel debidamente identificadas para su envío al laboratorio de Nutrición del INIAP, en la Estación Experimental Sta. Catalina (Quito).

De cada muestra de 300 g, se apartó una sub muestra (mediante "cuarteo") equivalente aproximadamente a un cuarto del peso inicial, para separar la testa o cascarilla de los cotiledones. Después se tomaron 10 g de cotiledones que fueron triturados por 30 segundos en un molino de hélice hasta lograr una consistencia polvosa. El polvo se tamizó por 60 segundos para concentrar partículas de 355 mi-

crones (mesh igual 42), mediante un equipo tamizador. El producto de la tamización se depositó en recipientes de plástico con la identificación correspondiente a cada muestra. El material así obtenido se desgrasó, y el residuo sin grasa fue utilizado como sustrato para realizar los distintos análisis planificados, con excepción de la determinación del porcentaje de grasa.

Porcentaje de grasa

El porcentaje de grasa se determinó en 5 g. de polvo de cacao no desengrasado, utilizando como solvente el éter de petróleo. Al evaporarse el solvente, la cantidad del residuo remanente se determinó por gravimetría. La extracción se realizó mediante un equipo soxhlet.

Polifenoles totales

Con este propósito se pesó en un recipiente erlenmeyer 1 g de cacao en polvo desengrasado. Al contenido del recipiente se adicionaron 75 ml de Me OH (Metanol) acuoso al 70%. La mezcla se agitó completamente mediante un agitador magnético y la solución resultante debidamente decantada del material sólido, se filtró en papel filtro Whatman # 4. El siguiente paso consistió en colocar 5 ml del extracto de la filtración en un balón aforado de 50 ml, llevado posteriormente a un volumen convenido utilizando agua destilada. La solución se utilizó para la determinación de los polifenoles totales a través de un equipo espectrométrico con detector UV/VIS. La unidad de medida es mg de ácido gálico/g

Acidez titulable

Se tomaron 10 g de polvo de cacao desengrasado. Sobre este material se vertieron 100 ml de agua destilada antes de someter la mezcla a ebullición, agitándose continuamente durante una hora para finalmente proceder al filtrado. Se tomaron 10 ml del filtrado resultante para determinar la acidez titulable, mediante un potenciómetro y una bureta "encerada" con Na OH 0.1N. La determinación se realizó por duplicado en cada muestra para obtener un promedio. La titulación consistió en adicionar Na OH hasta que el electrodo registró un pH estable en el rango de 8.27 – 8.33. Con el pH estabilizado se anotó el número de ml de Na OH 0.1 N utilizados en la neutralización.

Potencial de hidrógeno (pH):

La determinación del potencial de hidrógeno o pH, se efectuó en almendras frescas de cacao al inicio de la fermentación, al final de la fermentación y en almendras fermentadas y secas. Con este propósito se tomaron 10 almendras separando minuciosamente la testa del cotiledón con la ayuda de un estilete/bisturí. La testa se colocó en 100 ml de agua destilada y licuó hasta que quedó una solución con sóli-

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

dos muy finos; en cambio el cotiledón se molió y tamizó. Del material tamizado se pesaron 11 g que se vertieron en 100 ml de agua purificada. La mezcla se sometió a ebullición por aproximadamente dos minutos para después agitarse y filtrarse. La medición del pH se realizó con un potenciómetro, tomando separadamente 10 ml de las soluciones con la testa y el cotiledón.

Contenido de teobromina y cafeína y relación teobromina/cafeína

Los contenidos de teobromina y cafeína se determinaron en porcentaje utilizando muestras de polvo de cacao desengrasado. Ambos compuestos fueron extraídos a partir de un medio acuoso, separados por HPLC y cuantificados por medio de un detector UV -VIS. La relación teobromina/cafeína se obtuvo dividiendo entre sí los respectivos contenidos porcentuales de ambos compuestos.

ANÁLISIS SENSORIAL

Mediante el análisis sensorial se determinaron los sabores y aromas característicos del licor de cacao. Los análisis fueron conducidos por tres paneles de evaluación: el panel del Laboratorio de calidad de cacao de la E Pichilingue; el panel de la Unidad de investigación en cacao de la Universidad de Las Indias Occidentales en Trinidad Tobago, y el panel de la Compañía de Chocolates Guittard en los EEUU. Todos los paneles contaron con la participación de personas entrenadas en el tema de evaluación sensorial del cacao. El objetivo de contar con resultados de los tres paneles, fue para tener la oportunidad de comparar los resultados locales y evaluar su consistencia con los resultados obtenidos de otras fuentes.

Antes de iniciar los ejercicios de catación, las muestran se codificaron y calentaron en baño de María a 40°C. Los integrantes del panel (en Pichilingue son 4 miembros) procedieron a degustar la muestra del licor calentado, colocando mediante una cuchara-paleta plástica, una pequeña porción de pasta de cacao sobre la parte central de la lengua. Luego de distribuir convenientemente la pasta en su cavidad bucal, cada panelista debía identificar los sabores percibidos por las papilas gustativas de la lengua y paredes de la boca, durante 20 segundos, antes de registrarlos en el formulario correspondiente.

Los atributos y defectos de sabor y aroma se calificaron con base a una escala de 0 a 10 puntos. Las calificaciones se almacenaron en una base de datos para los respectivos análisis estadísticos.

Manejo estadístico y presentación de la información

Se organizaron Cuadros y construyeron gráficos de barras para describir los datos relacionados con el clima y la fertilidad del suelo. Utilizando técnicas de estadística paramétrica se realizaron ADEVA´s (Análisis de varianza) para las variables que

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

cumplían los requisitos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Además, se obtuvieron valores de: sumas, promedios, coeficiente de variación, desviación estándar, valores máximos, mínimos y rangos.

Se utilizó el análisis de varianza molecular (AMOVA), el de componentes principales (ACP) y el de conglomerados, para apoyar la interpretación de la información genética obtenida a partir de las muestras foliares. Las variables organolépticas se analizaron mediante técnicas de estadística no paramétrica, particularmente la prueba de Chi2.

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

Caracterización de las huertas cacaoteras

De acuerdo a observaciones de campo, conversaciones con productores y datos recolectados, el rasgo común a todas las huertas cacaoteras en el sector bajo estudio, cuya edad se estima entre 40 y 80 años, es el manejo extremadamente extensivo, con ausencia casi absoluta de control tecnológico. La información contenida en el Cuadro 14 confirma en gran medida tal afirmación. El reducido número de plantas/ha (326) resulta de un amplio distanciamiento de siembra (7,24 x 4 m), combinado con frecuentes espacios sin árboles que se originaron por la falta de resiembras oportunas. Con pocas plantas, los recursos productivos (agua, luz, suelo, entre otros) provistos por el entorno ambiental son sub utilizados, limitándose drásticamente la expresión y desarrollo del potencial productivo y económico de la "tierra", a través del cultivo del cacao.

Cuadro 14. Algunas características de las huertas cacaoteras en el sector de Colón Eloy-Maldonado.

Características	
Edad aproximada, años	40 – 80
Número de plantas / ha	346
Distanciamiento de Siembra / Hilera	7,24
Distanciamiento de Siembra / planta	4,00
N° de árboles productivos/ ha	30
Tamaño de Mazorca	Mediana - pequeña
Tamaño de semilla	Mediana - pequeña
Topografía	plana
Índice de Mazorca (I.M)	21
Indice de semilla, g	1.35
Número de semillas/ mazorca	43

El problema de la ineficiencia económica en el uso de la "tierra", es agravado por otro factor. Debido a que las huertas están formadas por híbridos naturales, con plantas provenientes de semillas sin mejoramiento genético, sólo entre el 20 y 30% de los árboles son productivos o muy productivos; los restantes rinden poco o nada. Frente a esta realidad, los productores han adoptado una curiosa forma de cosechar: a fuerza del tránsito frecuente, han formado senderos que enlazan los árboles más productivos para facilitar la recolección de las mazorcas maduras. No visitan los árboles con baja productividad, dejando sin cosechar las pocas mazorcas que puedan producir. Como resultado, ahorran tiempo y esfuerzo que si fueran invertidos en el recorrido para llegar a todas las plantas, reducirían la relación beneficio/costo a cifras contrarias a su interés económico.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Siguiendo con el proceso de diagnóstico, se contabilizaron 11 especies arbóreas y semi-arbóreas, creciendo intercaladas dentro de las huertas de cacao, entre ellas caucho *(Hevea brasiliensis)*, chontilla *(Bactris gasipaes)*, guarumo *(Cecropia spp)*, laurel *(Cordea alliodora)* y otras, tal como se indica en el Cuadro 15. El plátano y banano son especies comestibles presentes como cultivos asociados, aunque sin orden preconcebido ni manejo tecnológico, al igual que el cacao. Adicionalmente, se notó la presencia del bijao *(Calathea lutea)*, que provee otro tipo de beneficio a los productores. Es importante señalar la presencia exuberante y agresiva de una maleza conocida como ortiga brava *(Urtica dioica)*, que obstaculiza en forma importante el desplazamiento en las huertas.

Cuadro 15. Especies arbóreas intercaladas, plantas comestibles y otras presentes en las huertas cacaoteras.

Especies intercaladas en la huerta de cacao	Nombre
	Aguacate
	Bombón
	Caucho
	Cauje
	Chilca
Arboles	Chontilla
	Guabo
	Guarumo
	Laurel
	Mate
	Tagua
Plantas comestibles	Plátano
	Banano
Frutales	Limón sutil
	Naranja
Otros	Bijao
	Ortiga brava

El sombreamiento excesivo y la copiosa precipitación, alrededor de 3500 mm, relativamente bien distribuidos durante el año, se combinan para crear un microclima muy húmedo dentro de las huertas, favoreciendo el ataque de las enfermedades y destruyendo gran parte de las mazorcas en formación. La evaluación sanitaria confirmó esta apreciación, registrándose hasta tres veces más frutos enfermos que sanos por árbol (ver Fig. 8).

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

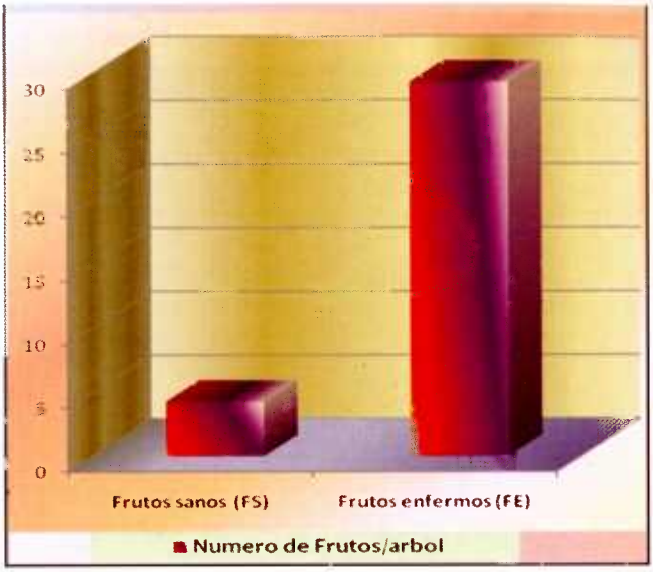


Figura 8. Comparación entre el número promedio de mazorcas sanas y enfermas por árbol.

Entorno climático

El Cuadro 16 exhibe información climática (temperatura, precipitación, etc.) extrapolable al sector, al provenir de una estación meteorológica cercana. Los promedios de las temperaturas máximas, mínimas y mensuales, se enmarcan de manera general dentro de los rangos normales para el cultivo. Aunque algunos promedios máximos y mínimos, seguramente incluyeron temperaturas absolutas que fueron un poco más allá de los máximos y mínimos permitidos, no se observaron señales de que la floración y fructificación haya sido afectada. Es posible que la fotosíntesis, otro proceso sensible a las temperaturas supra o sub óptimas *(Daymond y Hadley, 2003)*, haya sufrido alguna depresión, aunque no hay manera de saberlo. De cualquier forma, en sistemas tan extensivos como las huertas cacaoteras en estudio, pequeños cambios en la tasa fotosintética por efecto de la temperatura son irrelevantes.

La precipitación promedia del sector supera los 3,500 mm por año en el período 2000-2005. A pesar de que el 70% de la cantidad total anual se recibe durante el primer semestre del año, la cantidad de precipitación en el segundo semestre, cubre con creces la demanda hídrica del cacao en este periodo. Para facilitar la interpretación de los resultados, en adelante llamaremos por conveniencia época lluviosa al primer semestre y época seca al segundo.

Cuadro 16. Promedios mensuales de precipitación, temperatura y humedad relativa, correspondiente al periodo 2000-2005.

Mes	Promedio del periodo 2000-2005				
	Precipitación (mm)	Temperatura, °C			Humedad Relativa (%)
		Máxima	Mínima	Mensual	
Enero	458,60	31,20	20,86	26,18	87
Febrero	291,05	30,40	21,44	26,05	88
Marzo	400,14	31,20	21,70	26,48	88
Abril	561,54	31,60	21,53	26,50	87
Mayo	544,12	30,85	21,00	26,33	88
Junio	300,43	29,90	20,23	25,95	89
Julio	254,93	30,45	20,06	25,97	89
Agosto	117,36	29,80	20,16	26,16	89
Septiembre	282,80	29,95	20,56	25,86	89
Octubre	206,35	30,80	20,02	25,93	87
Noviembre	127,25	30,73	21,47	26,18	87
Diciembre	303,07	30,25	21,75	26,03	88
Total	3847,64				
Promedio	320,64	30,59	20,90	26,14	87,95

Desafortunadamente, la precipitación total excede ampliamente el rango considerado conveniente para el cacao, produciéndose un ambiente muy húmedo que incrementa la vulnerabilidad de las plantas y mazorcas a las enfermedades. Como ya se mencionó en un párrafo previo, la relación encontrada entre mazorcas enfermas y sanas es de 3 a 1, confirmándose tal vulnerabilidad.

Por otro lado, la ausencia de medidas sanitarias, incluyendo la falta de remoción de los frutos enfermos con cada cosecha, incrementa substancialmente el nivel de infección en la huerta por parte de los organismos causantes de las enfermedades. En casos extremos, se llega a perder hasta el 90% de la cosecha. En otro tipo de huertas y bajo condiciones más intensivas de manejo, las pérdidas se reducen a menos de la mitad con prácticas tan simples como la remoción de los frutos enfermos, depositándolos en el piso para su rápida descomposición.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

En cuanto al porcentaje de humedad relativa (H.R), otro factor que contribuye a aumentar la vulnerabilidad de la cosecha frente a las enfermedades, se mantuvo en un promedio del 88%, un nivel alto ya que el rango ideal para el cacao se encuentra entre el 75 y 85%.

Entorno edáfico

Los resultados del análisis de suelo se muestran en el Cuadro17. La textura es variable, pero en todos los casos los suelos caen dentro de la categoría de franco, con tendencia a franco-limoso. El cacao prospera bien en suelos con textura intermedia o francos, siempre que tengan buen drenaje; mejor si la textura es franco-limosa porque contienen más agua disponible que cualquier otra clase textural. Por tanto, al menos en cuanto a la parte física, los suelos del sector son ideales para el cultivo del cacao, considerando que la disponibilidad de agua no es un factor limitante durante todo el año.

La acidez moderadamente alta concuerda con los bajos valores del pH que se resumen en un promedio de 5.62. La acidez encontrada es consecuencia natural de la abundante precipitación del sector, comparados con otros suelos en la misma provincia que tienen menor acidez, u otras zonas del país como la de Quevedo con valores de pH en el rango de 6.0 a 6.5. La excesiva precipitación ha causando la intensa lixiviación de los cationes Ca, K, Mg (también llamados bases), contribuyendo a la disminución del pH que conlleva al aumento de la acidez. Aun así, el cacao tolera aceptablemente la acidez si el pH se encuentra de 5.5 para arriba, por lo que este factor no debería ser mayor problema por el momento.

La lixiviación reduce la concentración de las bases por un lado, y por otro libera cargas eléctricas en los coloides inorgánicos (arcillas) y orgánicos (humus), que forman parte de la estructura del suelo. El proceso de neutralización de estas cargas por los iones H y Al, contribuye a la acidificación gradual, un fenómeno ampliamente conocido y reportado, cuya ocurrencia es típica en suelos de ambientes cálidos y húmedos como el caso que nos concierne. Aun así, los valores encontrados no son tan ácidos como los detectados, por ejemplo en suelos rojos de colina en la región Amazónica, con valores de pH tan bajos como 4.2. Posiblemente, la acidez pronunciada también está presente en los suelos rojos de colina del sector de San Lorenzo, unos 15 km más al norte del de Colón Eloy-Maldonado.

La posición fisiográfica de estos suelos, como parte de una llanura aluvial, que esta renovándose de cuando en cuando con sedimentos fluviales al desbordarse las vías de agua que cruzan la zona, a lo mejor explica la ausencia de valores de pH inferiores a 5.5, límite bajo el cual el rendimiento de los cultivos se afecta en forma importante. Por lo tanto, desde el punto de vista de la acidez, la situación de los suelos del sector no parece crítica para la producción de cacao, más aun considerando el manejo extensivo que reciben las huertas. Sin embargo, debe prestarse la debida atención al nivel de pH si se aumenta la intensidad tecnológica en nuevas siembras de cacao.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Cuadro 17. Resultados del análisis de muestras de suelos del sector de Colón Eloy-Maldonado en el nor oriente de la provincia de Esmeraldas.

Sector	Fincas	ANALISIS DE SUELO																				
		Textura %			Clase Textural	pH	meq/100ml	M.O. %	CIC meq/ 100ml	C.E. dS/m	ppm		meq / 100ml			ppm					
		Arena	Limo	Arcilla			! Bases				N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
Colón Eloy-Maldonado	Finca # 1	28	46	26	Franco	5,1 Ac RC	7,73	4,1 M	9,40	0,3 NS	3 B	2 B	0,33 M	6 M	1,4 B	3 B	5,3 M	4,7 A	281 A	9,9 M	0,17 B
	Finca # 2	35	44	21	Franco	5,7 MeAc	11,35	2,9 B	13,45	0,3 NS	11 B	3 B	0,22 M	9,0 A	1,7 M	6 B	4,9 M	5,6 A	180 A	6,1 M	0,16 B
	Finca # 3	61	32	7	Franco - Arenoso	5,5 Ac RC	8,05	3,5 B	14,47	0,28 NS	6 B	1 B	0,25 M	6 M	1,4 B	4 B	3,2 M	5,0 A	197 A	7,0 M	0,13 B
	Finca # 4	27	40	33	Franco - Arcilloso	5,6 MeAc	8,33	2,7 B	11,98	0,25 NS	8 B	1 B	0,24 M	6 M	1,7 M	3 B	3,5 M	5,8 A	187 A	4,1 B	0,16 B
	Finca # 5	19	66	15	Franco - Limoso	6,2 LAc	12,75	2,8 B	14,78	0,3 NS	5 B	3 B	0,12 B	10,0 A	2,2 M	4 B	3,5 M	17,5 A	214 A	7,1 M	0,11 B
Promedio		**34**	**46**	**20**		**5,62**	**9,64**	**2,36**	**12,82**	**0,29**	**7**	**2**	**0,23**	**7**	**1,68**	**4**	**4,08**	**7,72**	**211,80**	**6,84**	**0,15**

La capacidad de intercambio catiónico, CIC, un parámetro fuertemente influenciado por la acidez del suelo, exhibe valores bajos asociados con pH´s ácidos. Concordantemente, la baja cantidad de Bases totales reportada por el análisis, responde a la menor magnitud de la capacidad de intercambio catiónico, como consecuencia de la presencia de arcillas más evolucionadas y envejecidas. Observaciones de campo y ejercicios de textura al tacto, revelaron poca presencia de la arcilla montmorillonita (mineral que se expande y se contrae con los ciclos de humedecimiento y sequía), dotadas de alta capacidad de intercambio catiónico, en comparación con la presencia mayoritaria de otro tipo de arcillas con dicha capacidad debilitada, una clara señal de deterioro de la fertilidad del suelo.

Suelos cacaoteros del sector de Quevedo dotados de gran fertilidad, presentan valores de Capacidad de Intercambio Catiónico y Suma de bases totales que se encuentran alrededor de 20.4 y 20.1 meq. /g, respectivamente. Son cifras que sirven de referencia para entender mejor la naturaleza química de los suelos cacaoteros en el nororiente de la provincia de Esmeraldas.

Los insignificantes valores reportados para la conductividad eléctrica, CE, son otra señal de la abundante lixiviación y la poca presencia de sólidos solubles en la solución del suelo. Como comparación, la conductividad eléctrica de suelos de terrazas aluviales dedicadas al cacao en el sector de Chongón, península de Santa Elena, con una precipitación promedio anual de 740 mm y bajos índices de lixiviación, alcanza valores en la cercanía de 2 mmhos.

El contenido de materia orgánica (M.O) se encuentra en niveles que van de mediano a bajo. El crecimiento vegetal en el sector no tiene limitación hídrica, originándose una producción y acumulación continua de biomasa, que aunque se degrada con rapidez por las condiciones ambientales favorables, sí permite la formación y acumulación de suficiente humus en la superficie para sostener el reciclaje nutritivo en el sistema suelo-planta. Tal mecanismo es el que sostiene la exuberancia de la vegetación arbórea en los grandes bosques de la cuenca Amazónica, en suelos con alta acidez, en que son frecuentes valores de pH tan bajos como 4.0.

Los resultados del análisis también revelan que los contenidos de N y P son reducidos, en respuesta al bajo contenido de materia orgánica, la principal fuente natural no solo de N y P, sino también de S. Por otro lado, la acidez del suelo promueve la precipitación del P y reduce su disponibilidad para las plantas, constituyéndose en otro factor para explicar la escasa disponibilidad de este nutriente. Finalmente, la intensa lixiviación a que están sometidos los suelos en cuestión, facilita la pérdida de N y S por esta vía, reduciendo aún más su contenido y disponibilidad para el cacao.

Los niveles de K son medios en cuatro de las cinco fincas estudiadas, mientras que

el Mg es bajo en el 40 % y medio en el 60 % de los casos. En cuanto al Ca, los niveles son medianos en un 60 % y altos en un 40 %. Mirados en conjunto, estos valores reflejan un escenario donde el contenido de bases es moderado, a pesar de la intensa lixiviación a que han estado sometidos los suelos desde hace mucho tiempo. Hay que señalar que el Ca es el catión dominante en la solución de suelo y en la fase coloidal (arcilla y humus), es decir que aun con bajos valores de pH, ocupa al menos el 70% o más de la Capacidad de Intercambio Catiónico. Sólo en caso de que la fertilidad sea extremadamente baja, y ese no es el caso que nos ocupa, puede ocurrir una deficiencia nutritiva del Ca. Pero en cambio la insuficiencia de K y/o Mg sí ocurren con frecuencia en suelos con pH medianamente ácido y ácido.

Además, los resultados dejan entrever una alta variabilidad en el contenido de micro-nutrientes (Zn, Cu, Fe, Mn y B). Pero considerando los contenidos en conjunto, se concluye que en general existe buena disponibilidad de todos, reflejando la mayor solubilidad que tienen los micro-nutrientes señalados en suelos con pH medianamente ácido.

Finalmente, observaciones y determinaciones en el perfil del suelo en dos de las fincas (ver Anexo), permitieron definir tres horizontes hasta una profundidad cercana a un metro, que expone la tabla de agua. La textura es franca, franca – arenosa, y franca – arcillosa, en el mismo orden para cada horizonte. La materia orgánica, bases totales, pH, Capacidad de Intercambio Catiónico y otros parámetros de fertilidad, decrecen consistentemente a medida que se progresa hacia los horizontes inferiores. La presencia abundante de raíces y raicillas entretejidas masivamente en la capa superficial del suelo, es una respuesta a este decrecimiento de la fertilidad en las capas inferiores.

Análisis Molecular

Los perfiles de ADN de las muestras foliares del sector Colón Eloy-Maldonado, se compararon entre sí y con los de otros clones referenciales de distinto origen genético, así como con la población de la zona cacaotera de Naranjal, a las que llamaremos en adelante población Naranjal. También se compararon con poblaciones de otros grupos genéticos.

Para apoyar el ejercicio comparativo se utilizó el Análisis de variancia molecular (AMOVA) y la herramienta estadística conocida como Análisis de Componentes Principales, cuyos resultados se visualizan en la Fig.9. El primer y segundo componente principal explicaron el 67.7% de la variación total observada entre los perfiles contrastados, otorgándole fuerza a las conclusiones y nuevas hipótesis derivadas a partir de los datos analizados.

Los puntos correspondientes a las muestras de Colón Eloy-Maldonado, en su mayoría se dispersan en el cuadrante superior derecho e izquierdo del plano definido

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

por los ejes coordenados. Se entremezclan en apreciable medida con aquellos de la población Naranjal, sugiriendo al menos parcialmente, una historia compartida en el proceso de introgresión sufrido por ambas poblaciones. El movimiento de mazorcas, semillas o plantas ocurrido desde al sur y centro (la E. Pichilingue pudo ser una posible fuente de material de siembra) del país, hacía el norte y nororiente de la costa ecuatoriana, parece ser el origen de esta historia común.

Al observar detenidamente la Fig. 9, se detecta que un mayor número de puntos del sector estudiado, se segregan un poco más a la izquierda en los cuadrantes superiores del plano definido, en relación a la población de Naranjal, sugiriendo una diferencia genética de escasa magnitud entre ambas poblaciones difícil de cuantificar. Sin embargo, el AMOVA (ver Anexo) confirmó que estadísticamente si existe esta aparente diferencia, proporcionando evidencia acerca de la disimilitud genética y marcando la singularidad de la población de Colón Eloy-Maldonado. Estudios complementarios con mayor número de muestras ayudarían a visualizar mejor la dispersión de los individuos de cada población. También permitirían una cuantificación más precisa de la brecha genética entre ambas.

Mediante la observación minuciosa del gráfico de dispersión se detecta también que una porción apreciable de los puntos correspondientes al sector Colon Eloy-Maldonado, están bastante cerca, e incluso se entremezclan, con aquellos de los clones del grupo de los Criollos: RIM-68, Criollo 13, e incluso con el clon Chuao que posee un componente importante de cacao Criollo. Esta particular distribución, parece señalar que en efecto la población en cuestión, posee entre otras, alguna influencia genética de este grupo, una de las hipótesis que dio pié al presente estudio.

Contrariamente a lo esperado, los puntos de las muestras provenientes de la población cacaotera del nor oriente de la provincia de Esmeraldas, se ubicaron a distancias apreciables de los de los clones de cacao Nacional (que en realidad son híbridos naturales de Nacional por Trinitario), y aún más alejados de otros clones de cacao Nacional dotados de alto nivel de homocigosidad. La lectura derivada de este resultado, es que en realidad la población de este sector tiene poca "sangre" de la variedad Nacional, pero aun así mantiene la producción de un origen particular de cacao aromático. A pesar de que el presente estudio ha hecho contribuciones importantes para determinar la estructura y singularidad genética de este origen, aun se necesita de investigación adicional para su mejor esclarecimiento.

Al observar la morfología de las mazorcas en las huertas seleccionadas y en otras de fincas vecinas, los autores difícilmente detectaron mazorcas con la forma típica del cacao Nacional, agregando consistencia a las afirmaciones hechas en el párrafo anterior. Finalmente, es importante destacar que en general los puntos correspondientes a la población estudiada, se ubicaron a distancias variables de varios genotipos referenciales, entre ellos de los clones Scavina 6 y Scavina 12, pertenecientes al grupo genético conocido como alto Amazónico. A pesar de esto, y co-

mo veremos más adelante, los clones Scavina resultaron ser parte importante del perfil genético de un número importante de árboles de la población de Colón Eloy-Maldonado.

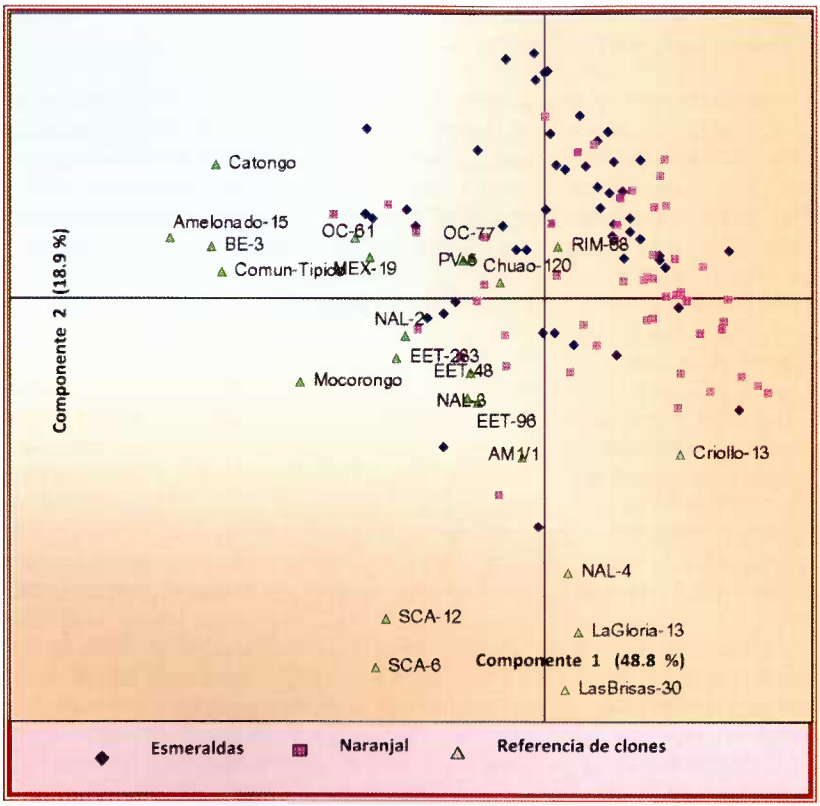


Figura 9. Análisis de Componente Principale (ACP) para comparar la información genética de la población de Colón Eloy-Maldonado con varios clones y poblaciones de referencia.

El Cuadro 18 permite comparar el número de alelos (alternativas moleculares diferentes para un mismo gen) por locus (región del cromosoma donde se hallan alojados los alelos de un gen en particular), detectados para la población de Colon Eloy-Maldonado y la referencial de Naranjal, con valores de 5.00 y 5.67, en el mismo orden. La riqueza alélica de ambas poblaciones es en gran medida similar, como también lo es con la de la población conocida como Refractario cuya riqueza alélica es de 5.53. Esta población está formada con selecciones realizadas en huertas de cacao de la Costa ecuatoriana en la década de 1930. A su vez, estos valores son inferiores al 9.8 de la población Ucayali, un cacao Forastero proveniente de

la alta Amazonía peruana, y superiores al 3.67 de la población ICS, representante de los cacaos del grupo genético Trinitario.

Por lo tanto se concluye que la población cacaotera del sector de Colón Eloy-Maldonado, y la del Ecuador en general, poseen una riqueza alélica intermedia entre las poblaciones de cacao alto Amazónico y Trinitario; la segunda parte de esta afirmación concuerda con los resultados de un estudio reciente *(Loor et al, 2007)* sobre la genética molecular del cacao ecuatoriano.

Cuadro 18. Comparación de la diversidad genética de la población de cacao en el nor oriente de la provincia de Esmeraldas, con tres poblaciones referenciales.

Población	Tamaño de Muestra	No. de alelos	Diversidad genética	Heterocygosis Observada
Colón Eloy- Maldonado	50	5.00	0.603	0.571
Naranjal	50	5.67	0.605	0.492
Refractario	50	5.53	0.591	0.577
Trinitario	50	3.67	0.494	0.532
Ucayali	43	9.80	0.737	0.487

La conclusión anterior se refuerza al examinar y comparar los índices de diversidad genética para las poblaciones de cacao ecuatoriano: Colón Eloy-Maldonado (0.603), Naranjal (0.605) y Refractario (0.591), y aquellos de las poblaciones de la alta Amazonía (0.737) y Trinitario (0.494). Como era de esperarse, siguen el mismo orden de magnitud mostrado por las cifras que reflejan la riqueza alélica.

Finalmente, el nivel de heterocigosis de la población de Colón Eloy-Maldonado, alcanzó una magnitud cercana al 60%, parecida al de la población Refractario, y ligeramente superior al de las poblaciones de referencia. La lectura derivada de este resultado, es que todas las poblaciones han sufrido un grado importante de introgresión genética (alelos de otros tipos de cacao incorporados en el genoma de poblaciones locales) diluyendo la pureza de las variedades nativas.

Clones de la variedad Nacional (Gloria 13 y Brisas 30), dotados de un bajo nivel de heterocygosis (20%), es decir alta homocigósis (80%), y por tanto con limitada introgresión genética, se utilizaron también como control en el análisis comparativo de la Fig. 9. La apreciable distancia entre éstos y las muestras de la población Colón Eloy-Maldonado, refuerza la interpretación provista en párrafos anteriores,

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

acerca de que su base genética tiene una estructura diferente, vinculada solo en pequeña medida al cacao de la variedad Nacional.

Las relaciones entre las distintas poblaciones se ilustran mediante el dendrograma de la Fig. 10, en el que se distinguen cuatro grupos. Las poblaciones de Colón Eloy-Maldonado y Naranjal son parte del primer grupo, que se une a un segundo grupo constituido por la población Refractario a mayor distancia genética. El hecho de que las dos primeras poblaciones sean parte del mismo grupo, no significa necesariamente que son genéticamente homólogas, sino más bien que coinciden en un porcentaje mayoritario de locus para los alelos encontrados, si bien la coincidencia no es total para todos los marcadores moleculares utilizados. Este resultado confirma la introgresión proveniente de otras fuentes genéticas cuya identificación precisa aun está pendiente.

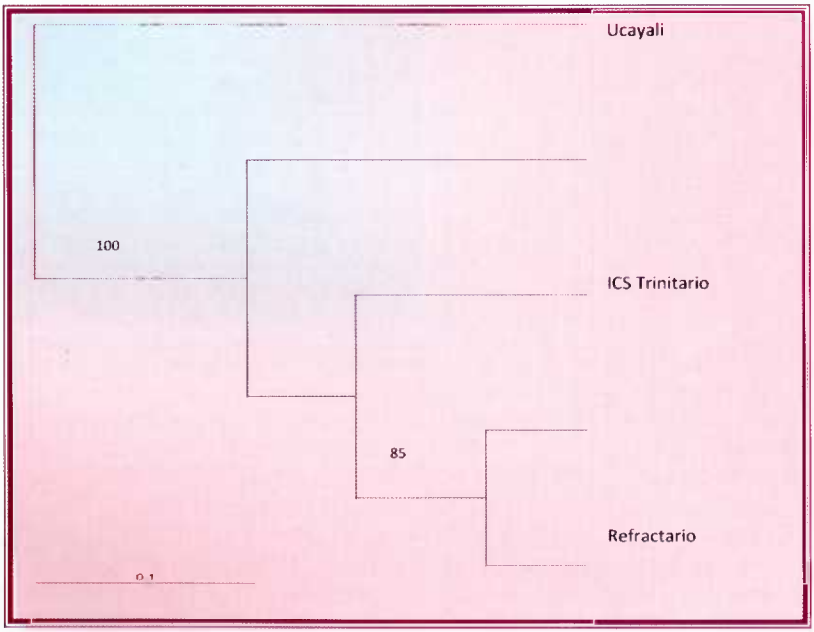


Figura 10. Dendrograma de la relación genética entre poblaciones de cacao con distinto origen genético.

Por otro lado, las poblaciones de cacao ecuatoriano, incluyendo el grupo Refractario, son genéticamente diferentes a las del tercer y cuarto grupo, conformados por las poblaciones ICS y Ucayali. Este resultado ya se esperaba porque las últimas nombradas pertenecen a los grupos genéticos conocidos como Trinitario y alto Amazónico, distintos del cacao Nacional. En conclusión, las poblaciones locales de

cacao, particularmente las de Colon Eloy-Maldonado y Naranjal, aunque genéticamente próximas, de ninguna manera son idénticas, surgiendo la posibilidad de que al interaccionar con el ambiente, las diferencias modificadas en mayor o menor medida, se trasladen a los perfiles de sabor y aroma de los cacaos producidos en ambos sectores. Talvés esta sea la base para las opiniones vertidas por algunos operadores de la cadena, acerca de la singularidad sensorial del cacao producido en el sector nororiental de la provincia de Esmeraldas.

Para una mejor comprensión de la población de Colon Eloy Maldonado, en función de genotipos con estructura genética conocida, la información derivada de los marcadores moleculares aplicados, se sometió a un análisis probabilístico, mediante el método Bayesian Markov Chain Monte Carlo (ver Fig.11). Para tal propósito, se incluyeron 23 genotipos referenciales, representando a los grupos Criollo, Trinitario, Nacional y Forastero (alto y bajo Amazónico.

El análisis permitió la detección de pequeñas contribuciones de cacao Trinitario, Criollo y Nacional, a la estructura genética de los individuos representativos de la población muestreada. La contribución de cacao Criollo y Nacional, aunque pequeña es prácticamente similar entre ellos, pero mayor que la del tipo Trinitario. La presencia de árboles con componentes provenientes de cacaos bajo Amazónicos también es mínima. Sin embargo, existe una importante presencia estructural de los clones Scavina 6 y Scavina 12 en un porcentaje importante (14%) de árboles. Estos genotipos son conocidos como alto Amazónicos, revelando el rol importante que ambos han tenido en la conformación de la base genética de la población cacaotera en el nororiente de la provincia de Esmeraldas.

En este panorama sobresale una mayoría de individuos con la presencia de un componente cuya naturaleza genética aun se desconoce, pero que aparece marginalmente en la estructura de los genotipos referenciales: Común típico y Morocongo. También hay otro componente desconocido de presencia menos conspicua y que no está presente en ningún clon referencial. Puesto que estos resultados han llamado fuertemente la atención ameritan nuevos estudios para su mejor comprensión.

A la luz de los primeros trabajos de mejoramiento genético de cacao en el Ecuador en las décadas de 1950 y 1960, en los que intervinieron activamente cacaos de tipo alto Amazónico: Scavina 6, Scavina 12, Silecia 1, Silecia 2, IMC 67, entre otros, se especula que los componentes estructurales desconocidos, pudieran provenir de uno o más de los nombrados, particularmente los Silecia o talvés IMC-67. Si este fuera el caso, entonces semillas o plantas de ambos materiales se transportaron de la E. Pichilingue o de zonas aledañas en el centro del país, para sembrarse en la provincia de Esmeraldas, y posiblemente en otras provincias. En efecto, en huertas comerciales de las provincias de Esmeraldas y Manabí, se observa con frecuencia que algunas mazorcas por su color y morfología tienen parecido con las del tipo Scavina, detalle que sirve para respaldar esta hipótesis.

La investigación sensorial sobre el sabor y aroma de distintos cacaos, ha comenzado a demostrar que los cacaos de tipo Forastero, particularmente alto Amazónicos, no son necesariamente sinónimos de baja calidad, como usualmente se creía. Más aun, teniendo en cuenta la amplia diversidad genética disponible en forma silvestre, y en menor cuantía formando parte de bancos de germoplasma en varios países, entre ellos el Ecuador, existe la posibilidad de detectar perfiles sensoriales únicos.

En este contexto, ejercicios sensoriales con los genotipos Scavina, ha permitido descubrir que están dotados de un perfil de sabor y aroma agradable y singular. Lamentablemente la almendra es muy pequeña (el índice de semilla es inferior a 1 g) y carente de valor comercial. Sin embargo, al mezclarse genéticamente con otros cacaos, la descendencia puede dar lugar a árboles provistos de una estructura genética que explicaría, al menos en parte, la singularidad de sabor reportada para el cacao producido en el nororiente de la provincia de Esmeraldas. Similar hipótesis puede adelantarse respecto a la posible influencia de otros genotipos alto Amazónicos, cuya presencia se sospecha como parte de la estructura genética de la población estudiada.

La interpretación desarrollada a través de los párrafos anteriores, nos conduce a la siguiente conclusión: la estructura genética de la población en las huertas cacaoteras de Colon Eloy-Maldonado, tiene pequeños componentes de cacao Nacional y Criollo, en porciones similares, combinados con un apreciable componente de Scavina 6 y Scavina 12. Sin embargo, una mayoría de los individuos posee un componente predominante pero de naturaleza genética desconocida, seguido de otro de menor cuantía también desconocido. Integrando todas las piezas, se deduce que el parentesco del cacao ecuatoriano con sabor "Arriba" en el sector estudiado, presenta más diversidad de lo que se había esperado y una composición genética única que es parte de su identidad particular.

Ya en el 2000, *Crouzillat et al* reportaron los resultados de un estudio que señala que el cacao ecuatoriano no tiene el mismo sabor, ni composición genética en los diversos puntos geográficos del país. Otros investigadores *(Lerceteau et al, 1997 y Loor et al, 2007)*, también encontraron que el cacao "Arriba" incluye una amplia gama de genotipos diferentes. El presente estudio hace un aporte importante en la misma dirección.

Resultados para las variables físicas, químicas y sensoriales

Variables físicas

Porcentaje de fermentación

Según la Fig. 12, el porcentaje de almendras fermentadas, aumentó paulatinamente hasta el cuarto y quinto día de fermentación, mientras el de las almendras violetas

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Figura 11. Probabilidad (representada como _ Ln P) para las estimaciones del numero de poblaciones de cacao (K) en Ecuador, calculada mediante el método Bayesian Markov Chain Monte Carlo.

INIAP - Estación Exper

disminuyó. La ausencia de almendras pizarras era de esperarse pues ocurren cuando el tiempo de fermentación es muy reducido. El hecho de que tanto en la época lluviosa como en la seca, se hayan alcanzado porcentajes similares de fermentación, señala que la época de año no influye sobre el porcentaje de almendras fermentadas. Sin embargo, tal resultado difiere de lo que ocurre en otras zonas cacaoteras, por ejemplo la de Quevedo. Allí se produce un descenso importante de la temperatura en la época seca del año con la consiguiente disminución del porcentaje de fermentación.

La ausencia de un descenso brusco de la temperatura en el segundo semestre combinada con suficiente precipitación, un 30% del total anual, explica en gran medida la similitud de los resultados obtenidos. Niveles de fermentación superiores al 75%, responden a un buen manejo de este proceso, en un entorno ambiental aceptablemente homogéneo durante todo el año.

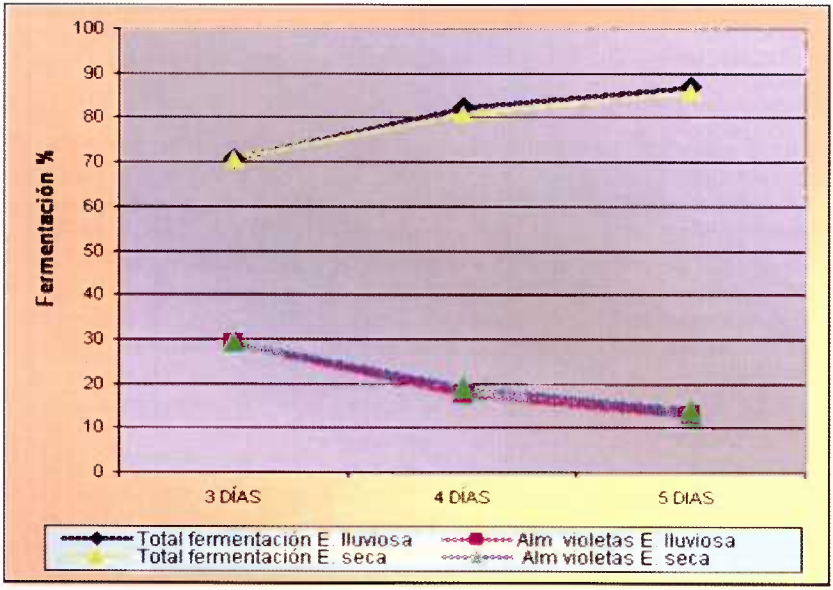


Figura 12. Comportamiento del porcentaje de almendras fermentadas en función del tiempo de fermentación.

Tiempo de fermentación

Los puntos que representan los porcentajes de fermentación en diferentes momentos del proceso, se vincularon matemáticamente mediante una curva de ajuste polinomial al 99%, con el objetivo de visualizar mejor su comportamiento y definir el tiempo que produce el mayor porcentaje de almendras fermentadas, tal como se muestra en la Fig. 13.

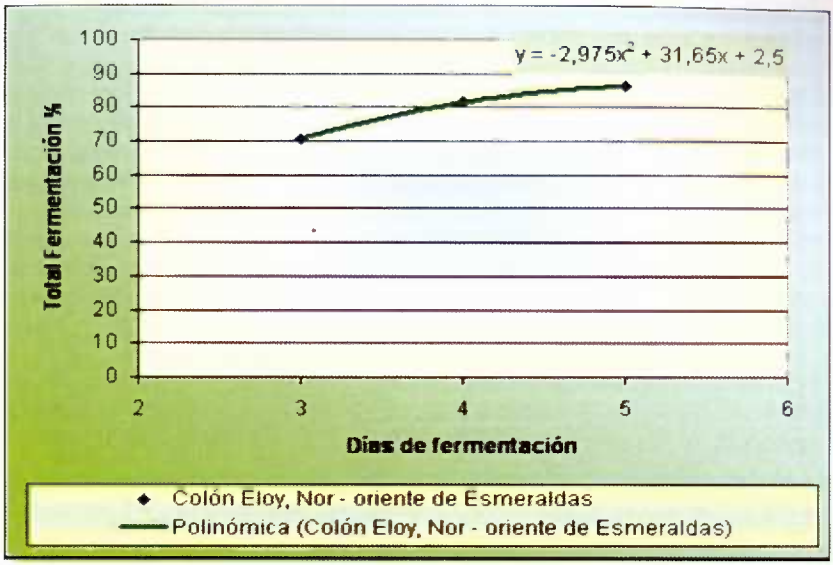


Figura 13. Respuesta del porcentaje de almendras fermentadas frente al número de días de fermentación.

Al tercer día la fermentación de las almendras se ubicó alrededor del 70%, todavía insuficiente para el desarrollo avanzado de los precursores aromáticos y reducción de la astringencia y amargor. Según la teoría disponible sobre el tema, el porcentaje de almendras fermentadas, debe alcanzar como mínimo el 75% para que la industria se beneficie al máximo del sabor y aroma a chocolate, el mismo que resulta de la torrefacción de almendras bien fermentadas y secas.

La cantidad de almendras fermentadas llegó al 80% al cuarto día y alcanzó el 85% en el quinto, aunque la prolongación del proceso hasta este punto, puede acarrear el riesgo de una sobre fermentación y la generación de olores inconvenientes para la calidad del cacao. Debe señalarse que tal defecto si llegó a percibirse en algunas muestras con cinco días de fermentación. Estos resultados permiten concluir que bajo las condiciones ambientales de Colón Eloy-Maldonado, tres días de fermentación es insuficiente pero cuatro días es el periodo adecuado para lograr un buen nivel de almendras fermentadas, sin riesgo de sobre fermentación.

Índice de semilla, número de semillas en 100 gramos y porcentaje de testa

La pequeña diferencia numérica observada (ver Fig. 14) para el índice de semilla entre las épocas lluviosa y seca no fue significativa. Esto quiere decir que su valor, alrededor de 1.35 g, no dependió de la época del año, ubicándose en el extremo superior

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

del rango establecido para calificar este atributo en el comercio internacional. Como referencia, el peso promedio mínimo para el cacao comercial es de 1.0 g.

De acuerdo con los resultados de un estudio (ATLAS de Cacao, 2006) realizado con distintos orígenes comerciales, el peso promedio de 14 lotes de cacao ecuatoriano del complejo Nacional x Trinitario exportados a Europa, fue de 1.26 g. Al comparar esta cifra con promedios de orígenes de cacao africanos, particularmente Ghana y Costa de Marfil, con índices que no superan 1.15 g, concluimos que los índices para el origen nororiente de Esmeraldas en particular, y el origen Ecuador en general, son claramente superiores. La producción de Africa representa hoy por hoy, el 70% de la oferta mundial de cacao y en general sus orígenes son considerados cacao ordinario.

La relativa homogeneidad climática durante el año, al garantizar altos niveles de precipitación y temperatura, entre otros factores, para el desarrollo normal de las almendras, explica en gran medida la similitud de los índices calculados.

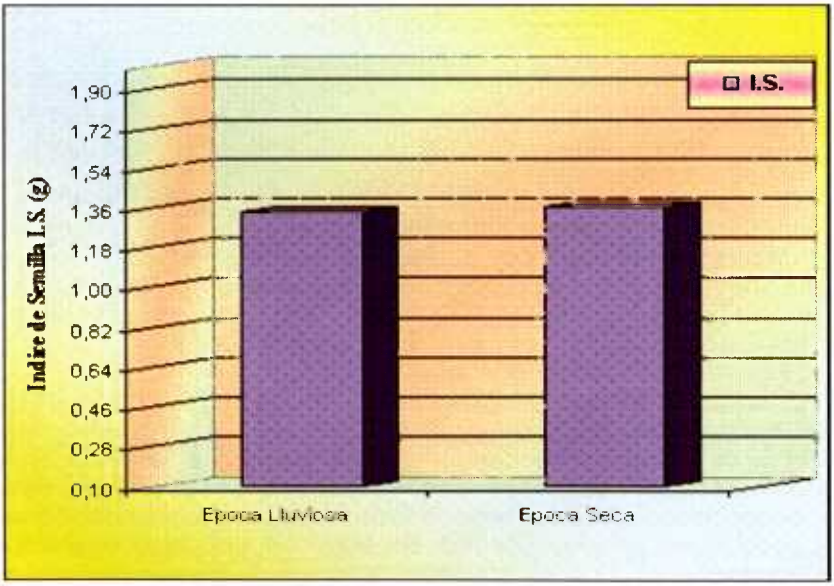


Figura 14. Comparación de los índices de semilla de cacao en las épocas lluviosa y seca.

La Fig. 15 muestra que el número de almendras presentes en 100 g, resultó ligeramente superior en la época lluviosa, al compararse con la época seca. El resultado es consistente con el menor índice de semilla reportado también para la época lluviosa. Sin embargo, tampoco en este caso las diferencias numéricas se tornaron en diferencias estadísticas.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Según *Alvarado y Bullard (1961)*, el porcentaje de testa o cascarilla suele variar del 6 al 16% de acuerdo al genotipo de cacao, mientras que el comercio internacional prefiere valores que se encuentren alrededor del 12%. En Colón Eloy-Maldonado, los porcentajes de cascarilla medidos en cualquier época del año estuvieron alrededor del 15%, un valor medianamente alto, y que puede representar una desventaja moderada en el comercio ya que significa que las almendras tienen menor rendimiento de "nibs" (cotiledones triturados de cacao) al retirar la cascarilla. Pero esta desventaja es ampliamente compensada por ventajas comparativas como el índice de semilla, alto en comparación con muchos orígenes internacionales.

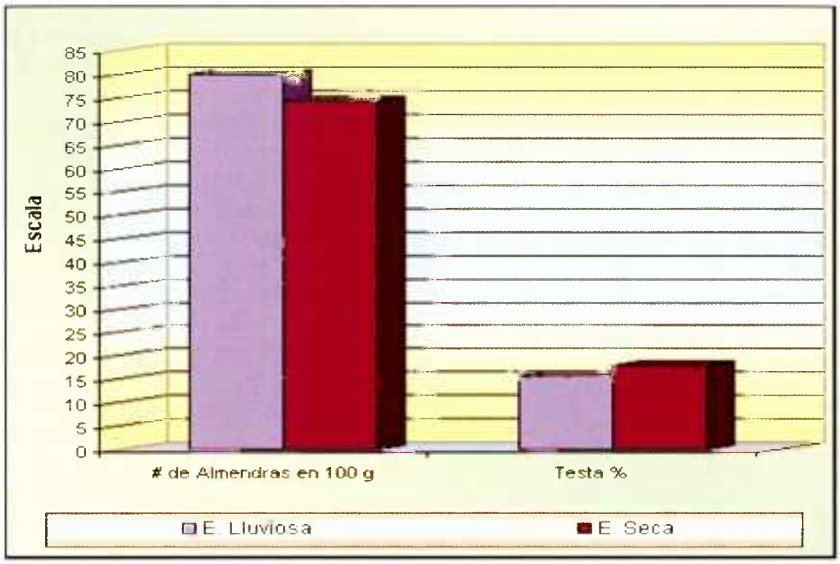


Figura 15. Número de almendras por 100 gramos y porcentaje de testa registrados durante las épocas lluviosa y seca.

Usualmente, el porcentaje de la testa o cascarilla mantiene una relación inversamente proporcional con el tamaño de la almendra dentro de un mismo genotipo, es decir que mientras más pequeña es la almendra, una mayor proporción del peso corresponde a la cascarilla. En conclusión, el origen nor oriente de Esmeraldas tiene un índice de semilla medianamente alto, acompañado de un porcentaje moderadamente alto de cascarilla.

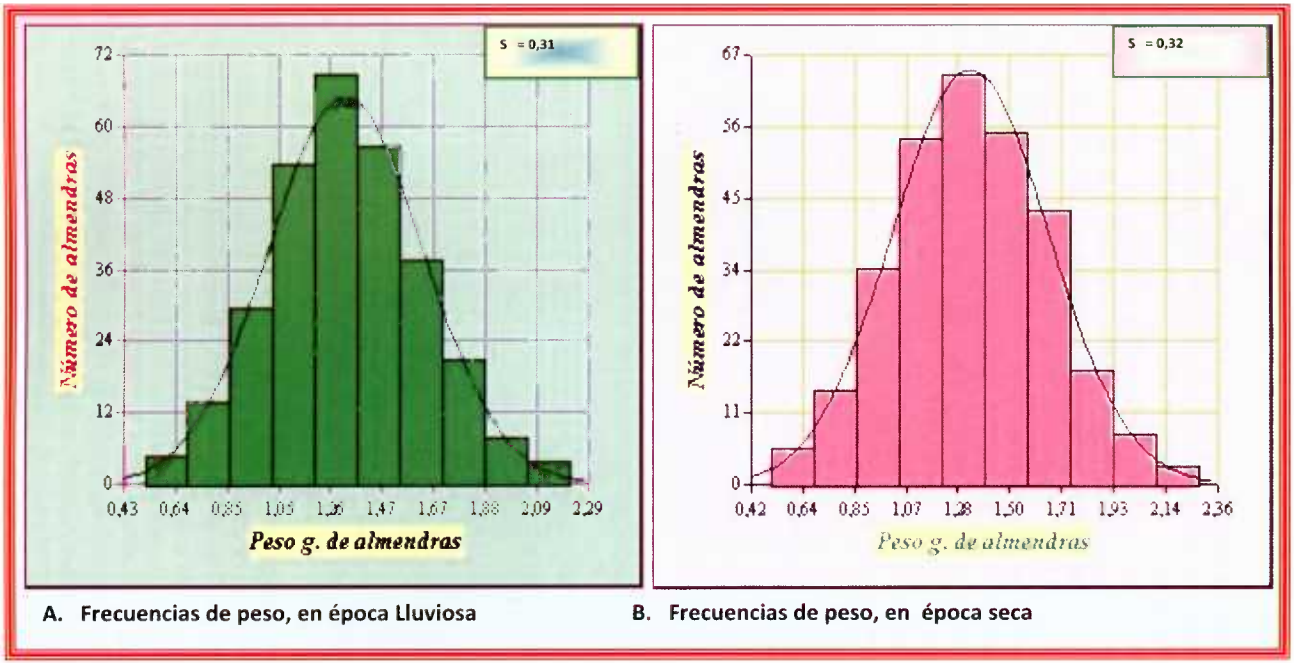
Distribución de peso de las almendras

La distribución de las frecuencias de pesos para almendras individuales, se presenta en la Fig. 16. El rango de variación del peso osciló de 0.52 hasta 2.21 g du-

rante la época lluviosa, con una media de 1.32 g y una desviación estándar de 0.31. En la época seca varió de 0.51 a 2.27 g, con una media de 1.33 g y una desviación estándar de 0.32. La cercanía de los valores para los pesos promedio y desviación estándar, dice mucho de la relativa homogeneidad de este origen. Esta característica es otra ventaja comparativa con relación a varios orígenes comerciales, ya que contribuye a la homogeneidad de los lotes exportables durante todo el año. Como era de esperarse, las medias se ubicaron en la cercanía de los valores reportados anteriormente para el índice de semilla.

Mirando los datos en conjunto, concluimos que no hay diferencias importantes en el peso y dispersión del peso de las almendras, en periodos distintos del año. Cabe destacar, que la proporción de almendras dentro del rango de la categoría ASE es de 9.6%. La proporción con un peso por debajo de 1.0 g es 14.4%, y por encima de 1.4 g es de 39.6%. Ambos porcentajes son componentes importantes para construir la identidad del origen que nos ocupa. El 71.9% del total de almendras registra pesos que caen dentro de las categorías correspondientes a las mejores calidades de exportación, es decir ASS, ASSS y ASSPS, atributo que representa un recurso valioso de este origen ya que supera al encontrado para otras zonas. El hecho de que la disponibilidad de agua no constituya un factor limitante, sin duda favorece el desarrollo y crecimiento normal de las almendras, crecimiento que de otro modo se vería restringido durante la época seca, tal como ocurre en otras zonas cacaoteras del país.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue



A. Frecuencias de peso, en época Lluviosa

B. Frecuencias de peso, en época seca

Figura 16. Distribución de frecuencias para el peso de las almendras fermentadas y secas al 7% de humedad durante las épocas lluviosa y seca.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Color de las almendras

En promedio, el 3% de la almendras mostraron cotiledones color blanco marfil y el 8% color rosado o violeta muy pálido (ver Fig. 17). Es decir que en total, el 11% del cacao producido en el sector está constituido por almendras con ausencia o bajo contenido de antocianina, pigmento cuya ausencia explica el color blanco de las almendras. En otra investigación conducida en el sector de Naranjal, se encontró que el porcentaje de almendras con estas características del color es mucho menor, alrededor del 4.8%. Cabe señalar que la ausencia o escasa presencia de antocianina, es un atributo característico de los genotipos de cacao Criollo. Por tanto la presencia de almendras con poca o ninguna antocianina, sugiere una mayor frecuencia de genes de cacao Criollo, aunque dista lejos de ser el componente genético predominante de la población en Colon Eloy-Maldonado, aspecto que ya fue explicado anteriormente al interpretar los resultados de genética molecular.

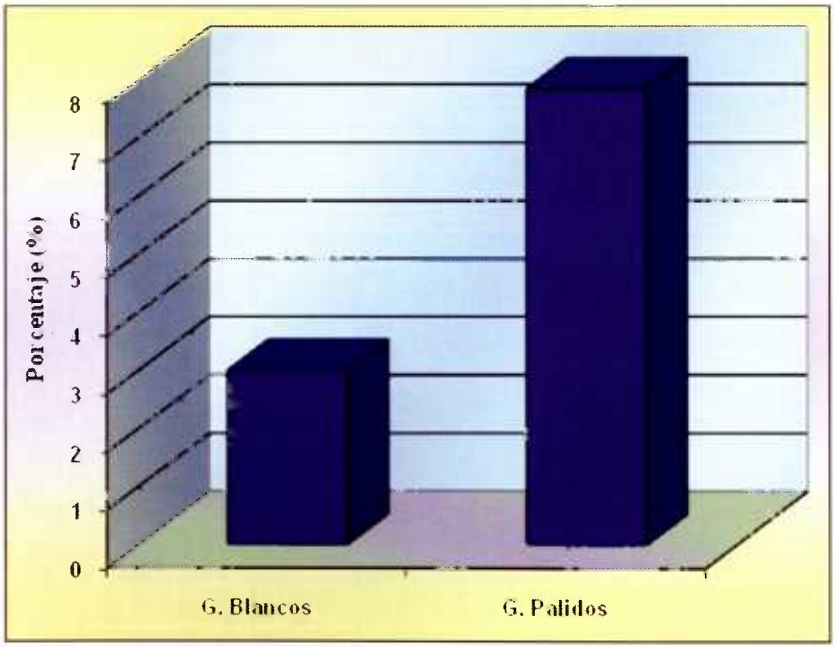


Figura 17. Porcentaje promedio de almendras de color blanco marfil y rosado pálido en muestras de cacao colectadas en el nororiente de la provincia de Esmeraldas.

Variables químicas

El Cuadro 19 muestra los resultados de las determinaciones químicas realizadas en muestras de almendras fermentadas y secas.

Contenido de grasa

El porcentaje de grasa resultó aproximadamente similar para las épocas lluviosa y seca, con el promedio ubicándose alrededor del 47%. Examinando esta cifra a través del rango obtenido para el mismo parámetro en otro estudio, 45.4 a 50.1 %, con muestras proveniente de clones experimentales y huertas comerciales de distintas zonas de la Costa ecuatoriana, el porcentaje correspondiente al sector Colon Eloy-Maldonado, se ubica hacía el centro de dicho rango.

Cuadro 19. Influencia de las épocas lluviosa y seca sobre algunas características químicas de las almendras provenientes de fincas en el nor oriente de la provincia de Esmeraldas.

Sector	Época	Contenido de Grasa (%)	Polifenoles totales (mg de ácido gálico / g)	Acidez	pH Testa			pH Cotiledón			Contenido, %		Relación T/C
				Titulable, ml NA OH 0.1N	Fresco	Fermentado	seco	Fresco	Fermentado	seco	Teobromina (T)	Cafeína (C)	
Colón Eloy	Lluviosa	48	33	2,22	3,52	5,02	5,56	6,56	4,88	5,22	1,73	0,36	4,80
	Seca	48	43	3,22	3,56	4,84	5,44	6,33	4,47	4,99	1,80	0,42	4,39
Promedio		48	38	2,72	3,54	4,93	5,50	6,45	4,67	5,10	1,76	0,39	4,59

De un estudio realizado por la Universidad de Hamburgo en Alemania (ATLAS del Cacao, 2006), la concentración promedio de grasa de varios lotes de cacao ecuatoriano exportados a ese país fue de 55.1%. Al comparar este porcentaje con 47% para el cacao del nor oriente ecuatoriano surge una diferencia apreciable. El valor de 47% aparece subestimado, posiblemente como resultado de la limitación de una metodología analítica que no permite la extracción de toda la grasa contenida en la almendra.

El tema ya fue objeto de debate en las reuniones mantenidas para interpretar datos de concentración de grasa obtenidos con la misma metodología, en el marco del proyecto internacional "Determinación de parámetros físico, químico y organolépticos para diferenciar entre cacaos finos o de aroma y cacaos ordinarios", patrocinado por la ICCO en el periodo 2001-2005. Las determinaciones de grasa realizadas en muestras de los lotes de exportación por parte de la Universidad de Hamburgo, se efectuaron aplicando una técnica analítica diferente y más eficiente en la extracción de grasa. La subestimación parece encontrarse en el orden del 8%.

En el mismo estudio de la Universidad de Hamburgo, al comparar los contenidos de grasa de decenas de muestras de cacao de los principales orígenes comercializados en el mundo provenientes de distintos países productores, ninguno resultó inferior al 51%. Podemos decir entonces que el contenido de grasa para el cacao producido en el sector nororiental de la provincia de Esmeraldas, al menos debería

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

ubicarse en la cercanía del 55%, cifra que coincide con la media obtenida para las muestras del Ecuador reportadas en el estudio. Nuevas determinaciones con ambas metodologías ayudarían a aclarar la cuestión.

Polifenoles totales

El contenido de polifenoles totales en muestras fermentadas y secas, fue significativamente superior en la época seca (43 mg de ácido gálico/g) al compararse con el valor obtenido en la época lluviosa (33 mg de ácido gálico/g), aunque es difícil proponer una explicación para esta diferencia. El promedio entre ambas épocas es de 38 mg de acido gálico/g, mientras que el promedio obtenido en un estudio anterior con varias muestras de cacao fermentado y seco, provenientes de distintos sectores de la Costa ecuatoriana, con excepción de la provincia de Esmeraldas, es de 50 mg de ácido gálico/g. Es decir que este último promedio es más alto que el valor encontrado para Colón Eloy-Maldonado, utilizando la misma metodología de análisis.

Nuevas determinaciones en distintas muestras, incluyendo las del nor oriente de Esmeraldas, pueden arrojar más luz para interpretar esta diferencia, más aun teniendo en cuenta que la capacidad antioxidante, del origen Ecuador, es de las más altas entre varios orígenes. El polifenol epicatechina es el sustento de dicha capacidad antioxidante, un concepto terapéutico de creciente uso como parte de las estrategias de mercadeo de los chocolates negros (con alto contenido de cacao).

pH y acidez titulable

Como era de esperarse, las cifras de pH determinadas en los cotiledones a lo largo del periodo de fermentación, resultaron inversamente proporcionales a los valores de la acidez titulable; el pH más bajo se obtuvo en la época seca. El promedio entre ambas épocas para el pH del cotiledón con cuatro días de fermentación fue de 5.1, algo menor que el de 5.3 para muestras provenientes de huertas cacaoteras en distintas zonas del Litoral ecuatoriano, con excepción de la provincia de Esmeraldas.

Los resultados para la acidez titulable de los cotiledones, resultaron significativamente superiores en la época seca, requiriéndose más mililitros de la solución de hidróxido de sodio 0.01 N para la neutralización del pH. En otras palabras, las muestras cosechadas y beneficiadas durante este periodo, terminaron con más acidez, es decir con un pH más bajo, que las cosechadas y beneficiadas durante la época lluviosa.

Posibles fallas durante el secado, podrían haber dado lugar a tasas muy rápidas de evaporación del agua de las almendras, causando el secamiento drástico de la cascarilla y la consiguiente reducción en las tasas de pérdida de la acidez volátil, par-

ticularmente el ácido acético. Durante el proceso de evaporación, el agua arrastra el ácido acético, pero frente a un secado violento de la cascarilla por excesiva exposición solar por ejemplo, el arrastre de esta substancia volátil se debilita marcadamente, limitándose los beneficios que una menor acidez del grano puede aportar a la calidad sensorial del cacao.

Evolución del pH a través de la fermentación y secado

Al inicio de la fermentación, el pH de la testa (cascarilla) era de 3.54 y el del cotiledón 6.45. Al terminar la fermentación, el pH de la testa alcanzó el valor de 4.93 y el del cotiledón 4.68. Luego del secado, con las almendras al 7% de humedad, el pH fue de 5.30 en la testa y 5.10 en el cotiledón. Ambas series de pH siguieron las tendencias esperadas, es decir con el pH de la testa incrementándose gradualmente mientras disminuía su acidez. Mientras tanto el pH del cotiledón descendió hasta el final de la fermentación y ascendió después del secado, reflejando la pérdida de acidez volátil (ácido acético) que acompaña al agua que se evapora desde el interior de las almendras.

El pH promedio de los cotiledones para cuatro muestras de cacao comercial de la variedad complejo Nacional x Trinitario, provenientes de distintas zonas del país, con excepción de la provincia de Esmeraldas, fue 4.70 al término del cuarto día de fermentación y de 5.29 al culminar el secado de las almendras hasta el 7% de humedad. A la luz de estos datos, se concluye que el cacao producido en Colón Eloy-Maldonado tiene algo más de acidez que las muestras de referencia, aunque ya se dijo que podrían haber recibido la influencia de prácticas inadecuadas de secado durante los primeros días del proceso, por ejemplo demasiadas horas de exposición al sol y capas de almendras sin suficiente espesor, más aun cuando se estaba trabajando con pequeñas muestras originadas por micro fermentación.

En efecto el reporte de un estudio realizado en Trinidad y Tobago *(Barath y Bowen-Oconnor, 2007)*, confirma la posibilidad de amplias diferencias en la tasa de pérdida de humedad durante el secado, al comparar muestras micro-fermentadas y lotes grandes de cacao, sugiriendo algunas medidas para contrarrestar este efecto. Finalmente, a los autores les consta la intensidad de la radiación solar en el sector Colón Eloy-Maldonado y aledaños, que si bien es una ventaja cuando no es interrumpida por frecuentes lluvias, requiere de una adecuada exposición del cacao para asegurar la eliminación de gran parte del ácido acético que permanece en las almendras al termino de la fermentación.

Teobromina y Cafeína y relación Teobromina/Cafeína

Las concentraciones de teobromina para las almendras fermentadas y secas determinadas en las épocas lluviosa y seca fue de 1.73% y 1.80%, prácticamente iguales. Estos valores son inferiores al promedio de 2.1%, encontrado para varios

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

lotes del origen Ecuador, exportado como cacao fino aromático. Valores bajos para este indicador, representan un atributo interesante para el cacao de Colón Eloy-Maldonado porque lo convierte en un cacao menos amargo. Como referencia, el promedio de las concentraciones de teobromina para los orígenes Ghana, Costa de Marfil y Nigeria, países cuya producción representan más del 60% de la oferta mundial de cacao, y que son considerados como productores de cacao corriente, es de 3.12%, 2.92% y 3.02%, respectivamente. Los promedios para Venezuela y Papúa Nueva Guinea, dos importantes proveedores en el nicho de los cacaos finos, son respectivamente 2.70% y 2.14%.

Con relación a la cafeína, otro alcaloide de importancia, se determinaron porcentajes de 0.36% y 0.42% para las épocas lluviosa y seca, con un promedio de 0.39. Estos porcentajes guardan consistencia con el promedio de 0.46% encontrado en un estudio anterior, para varios lotes de cacao ecuatoriano exportado como cacao fino aromático. Como comparación, los promedios de cafeína para Ghana, Costa de Marfil y Nigeria son 0.24%, 0.27% y 0.22%, considerablemente inferiores al de Ecuador. Mientras que los promedios para Venezuela y Papúa Nueva Guinea, dos importantes proveedores para el nicho de los cacaos finos, son respectivamente de 0.68% y 0.43%.

Los valores para la relación teobromina/cafeína son de de 4.80 y 4.39 para las épocas lluviosa y seca con un promedio de 4.59, valor que es consistente con el promedio de 4.78 obtenido de varios lotes de exportación que identifican al origen Ecuador. Tal comportamiento sugiere diferencias en el perfil aromático para el cacao proveniente del sector Colon Eloy-Maldonado, diferencias que posiblemente se reflejan en notas sensoriales más suaves, con menos amargor. De manera general, el rango para la relación teobromina/cafeína para los cacaos aromáticos comercializados internacionalmente, se extiende de 2.0 a 6.5.

Altos valores para la relación teobromina/cafeína, están asociados con orígenes de una menor calidad aromática. Si esta relación se acerca o superan la cifra de 10, ciertamente corresponderá a orígenes considerados como cacao corriente. Los orígenes Ghana, Costa de Marfil y Nigeria tienen valores que caen en el rango de 10.8 a 14.2 para esta relación. En cambio aquellos para la relación teobromina/cafeína correspondiente a los orígenes Venezuela, República Dominicana, Papúa Nueva Guinea y Trinidad y Tobago, proveedores de cacao fino o de aroma para el mercado mundial, aunque en diferentes volúmenes, son respectivamente: 4.0, 4.9, 5.0 y 4.4, como promedios de varios lotes de exportación en cada país.

Variables organolépticas

Los resultados sensoriales fueron producidos por tres paneles de expertos: Estación Experimental Tropical Pichilingue, CRU (Cocoa Research Unit) de la Universidad de las Indias Occidentales en Trinidad y Tobago, y la compañía de Chocolates Gui-

ttard de Estados Unidos. Con pequeñas diferencias, las tendencias se enmarcaron dentro de un patrón común. El Cuadro 20 permite la comparación de los resultados producidos por los tres paneles.

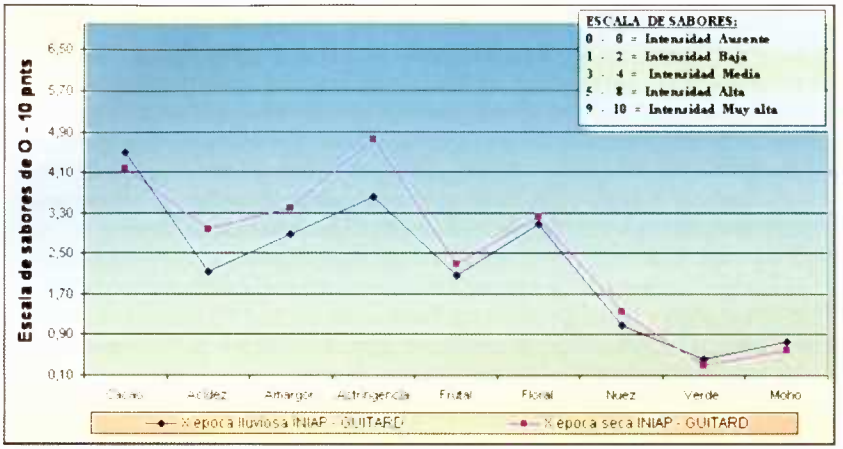
Al analizar las tendencias para interpretar el comportamiento de los diferentes perfiles sensoriales, emergieron valores medios para los atributos aromáticos cacao, frutal, floral y nuez. El amargor, acidez y astringencia como rasgos de sabor, se mantuvieron más bien en un ámbito de moderación. Al compararse con perfiles sensoriales de muestras de licor de otras zonas cacaoteras del Ecuador, se destaca una predominancia del sabor frutal y floral, en ese mismo orden, mientras que los demás parámetros sensoriales parecen coincidir en sus intensidades.

Por otro lado, la Figura 18 muestra una estrecha correspondencia para los valores sensoriales obtenidos en muestras de las épocas lluviosa y seca. Esta correspondencia refleja la poca influencia que tiene la época del año en que se realiza la cosecha y fermentación, sobre cambios en la calidad sensorial de las almendras bien fermentadas y secas. Posiblemente es una respuesta a la moderada variación del entorno ambiental, particularmente en cuanto tiene que ver con las características climáticas.

Cuadro 20. Resultados sensoriales obtenidos por tres paneles distintos que evaluaron muestras de licor de cacao producido en el sector Colón Eloy-Maldonado.

Material	Características sensoriales										
	Cacao	Acidez	Astring.	Amargor	dulce	Frutal	Floral	Nuez	Verde	Moho	Químico
Colón Eloy - Maldonado	***Panel de la Estación Pichilingue***										
Finca # 1- 4 días	4,67	3,33	3,92	3,00	0,42	4,58	2,75	2,92	0,75	0,17	0,00
Finca # 2 -4 días	4,75	3,17	3,25	2,92	0,92	4,25	3,33	2,67	0,67	0,08	0,00
Finca # 3- 4 días	4,92	3,00	2,83	2,58	1,17	4,08	3,00	2,33	0,08	0,42	0,25
Finca # 4- 4 días	4,50	3,58	3,75	3,25	0,33	4,00	3,17	2,08	0,33	0,00	0,00
Finca # 5- 4 días	5,33	3,17	3,08	2,42	0,33	4,58	3,08	2,25	0,00	0,42	0,00
Promedio	4,83	3,25	3,37	2,83	0,63	4,30	3,07	2,45	0,37	0,22	0,05
Panel del CRU, U.W.I., Trinidad & Tobago											
Finca # 1 -4 días	4,00	1,25	2,75	2,75	0,00	2,50	4,88	2,00	1,13	0,00	0,00
Finca # 2- 4 días	2,50	1,00	2,50	2,50	0,00	0,00	2,75	2,25	0,00	0,00	0,00
Finca # 3- 4 días	3,50	1,75	2,75	2,25	0,00	1,88	3,50	2,00	0,00	0,00	0,00
Finca # 4- 4 días	2,75	0,50	2,75	2,38	0,00	0,00	4,75	2,25	1,63	0,00	0,00
Finca # 5 -4 días	4,75	0,75	2,13	3,23	0,00	0,00	0,00	3,50	0,50	0,00	0,00
Promedio	3,50	1,05	2,58	2,62	0,00	0,88	3,18	2,40	0,65	0,00	0,00
Panel de GUITARD, EEUU											
Finca # 1-4 días	3,60	1,65	3,65	5,10	0,00	0,20	1,90	0,00	1,20	1,40	0,00
Finca # 2- 4 días	4,05	1,45	3,55	5,03	0,00	3,15	3,15	0,00	0,40	0,60	0,00
Finca # 3 -4 días	3,55	2,80	3,25	5,35	0,00	0,00	4,45	0,00	0,40	0,00	0,00
Finca # 4- 4 días	4,45	1,35	3,15	4,75	0,00	0,00	3,80	0,00	3,39	0,40	0,00
Finca # 5- 4 días	3,60	2,25	3,40	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	3,15	0,60	0,00
Promedio	3,85	1,90	3,40	5,00	0,00	0,67	2,66	0,00	1,71	0,60	0,00
Suma Total	12,18	6,20	9,34	10,45	0,63	5,85	8,90	4,85	2,73	0,82	0,05
Promedio Total	4,06	2,07	3,11	3,48	0,21	1,95	2,97	1,62	0,91	0,27	0,02

Figura 18. Perfiles sensoriales de licor de cacao proveniente de muestras de almendras colectadas durante las épocas lluviosa y seca en el sector de Colón Eloy– Maldonado, en el nor- oriente de la provincia de Esmeraldas.



INIAP - Estación Experimental Pichilingue

CONCLUSIONES

1. La generalidad de las huertas se conducen en el marco de sistemas de producción extremadamente extensivos, es decir sin control tecnológico, excepto por alguna limpieza en los "trillos" de cosecha. Las huertas tienen alrededor de medio siglo de edad, poseen pocas plantas de cacao por hectárea, aunque intercaladas con otras especies arbóreas y semi arbóreas sin ninguna organización especial. En el ámbito económico, se hace un uso muy ineficiente de los recursos ambientales disponibles para el desarrollo de la producción. Se sugiere, mediante la aplicación de un enfoque integral, investigar los factores (sociales, económicos, técnicos y naturales) que confluyen para conformar esta realidad, como requisito para implementar nuevos proyectos de cambio.

2. El comportamiento de la temperatura mensual es relativamente homogéneo durante el año. La temperatura media mensual de 26.1°C, cae dentro del rango adecuado para el normal desarrollo del cultivo. La medias mensuales para los máximos absolutos y mínimos absolutos, es de 30.6 y 20.9°C, con una diferencia de 10°C entre ellas, pero aun así se ubican en el rango normal para el cacao. La precipitación superior a los 3,500 mm anuales se considera excesiva para los estándares comerciales del cultivo, y aunque poco menos de un tercio del total se recibe en el segundo semestre o "época seca", su distribución es buena y suficiente para satisfacer los requerimientos hídricos del cacao. El promedio de la humedad relativa mensual, de 88%, muestra poca variación durante el año.

3. Los suelos predominantes son planos, poco profundos (menos de 1 m de profundidad hasta la tabla de agua), de naturaleza aluvial, con textura intermedia (francos) y dotados de índices de fertilidad que van de moderado a bajo. La tendencia general es la ocurrencia de contenidos bajos de Nitrógeno, Fósforo y Azufre, medios de Calcio, Potasio, Magnesio, Zinc, Manganeso y Boro, y altos de Hierro y Cobre. Con un pH promedio de 5.6 son suelos moderadamente ácidos para el cacao. Sin embargo, para cualquier aumento en la intensificación tecnológica del cultivo en el sector, debe prestarse la debida atención a los factores limitantes del entorno edáfico, particularmente aquellos relacionados con la fertilidad.

4. La estructura genética de los individuos que hacen la población cacaotera del sector Colon Eloy-Maldonado, es distinta al de otras poblaciones referenciales de cacao ecuatoriano con las que se compararon, aunque comparten similares niveles de riqueza alélica y de heterocigosis. La presencia de componentes de cacao de la variedad Nacional y Criollo, resultó mucho menor de la que se esperaba de acuerdo a la hipótesis planteada. En cambió el estudio develó la presencia de un componente genético conocido, los genotipos Scavina 6 y Scavina 12, en el 14% los individuos de la muestra poblacional analizada. Pero también develó la presencia mayoritaria de otro componente genético desconocido en

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

casi todos sus miembros; aunque se especula sobre su probable naturaleza y origen, está aún tiene que demostrarse.

5. El índice de almendra, alrededor de 1.35 g, un peso promedio moderadamente alto, es un atributo valioso para el origen estudiado, que se combina positivamente con la relativa homogeneidad del peso de las almendras y una desviación estándar de 0.31. Sin embargo, la proporción de cascarilla con un valor del 15% considerado moderadamente alto, podría afectar la ventaja comparativa de este origen. Por otro lado, la nula o escasa presencia de antocianina en el 11% de las almendras, confirma la influencia de cacao tipo Criollo en la producción de este sector, pues tal característica se encuentra asociada a este grupo genético. Finalmente, el 71.9% de las almendras se distribuyen en las categorías de mejor calidad, a saber: ASS, ASSS, ASSPS, porcentaje que supera al de otras zonas cacaoteras del país.

6. La concentración de grasa del origen Colón Eloy-Maldonado, cae dentro del rango formado por los valores de este componente correspondientes a distintas muestras de otras zonas de la Costa ecuatoriana. Si bien la acidez de los cotiledones al final de la fermentación, cae dentro del rango obtenido para las mismas muestras, en cambio al final del secado el pH se ubica fuera del extremo inferior del rango con un valor de 5.1. Este resultado sugiere una mayor acidez de este origen, aunque se recomienda confirmación mediante el análisis de muestras adicionales en el marco de un estudio complementario. El contenido promedio de polifenoles, 38 mg de ácido gálico/g, se ubica a cierta distancia de contenidos típicos para otros orígenes de cacao ecuatoriano resumidos en un promedio de 50 mg de ácido gálico/g. El menor contenido de polifenoles puede interpretarse como que el cacao es más suave, sensorialmente hablando, sin notas excesivas de amargor y astringencia, atributos apreciados por la industria.

7. Los contenidos promedios de teobromina y cafeína, 1.76% y 0.39%, y la relación teobromina/cafeína con un valor de 4.59, se ubican claramente dentro del rango correspondiente a los cacaos finos aromáticos. Esto se deduce al compararse con los valores pertenecientes a varias muestras de cacao ecuatoriano, o con orígenes de cacao fino producidos por otros países y que también abastecen a este segmento del mercado mundial. La relación teobromina/cafeína, un clasificador para el grupo de los cacaos finos, ubica al origen Colón Eloy-Maldonado a gran distancia de los orígenes de cacao corriente, como son los orígenes Ghana, Costa de Marfil y Nigeria, con valores para la relación teobromina/cafeína que van de 10 hasta 15.

8. El análisis sensorial develó un perfil suave con un sabor intermedio a cacao y notas sensoriales vinculadas al sabor frutal, floral y nuez, con valores promedios de 4.30, 3,10 y 2.45, en el mismo orden. La sensación del sabor frutal tendió

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

a prevalecer sobre el sabor floral, el cual en cambio predomina en otros orígenes comerciales del país. Además, es notoria la presencia del sabor a nuez, sensación asociada con los cacaos de tipo Criollo, aunque en un nivel menos pronunciado que los anteriores. En resumen, el origen señalado posee un perfil aromático balanceado, en el que un sabor intermedio a cacao, se complementa, aunque en distinta medida, con las otras notas sensoriales típicas de los cacaos finos.

9. Los resultados obtenidos en el ámbito de las características genéticas, físicas, químicas y sensoriales del cacao producido en las huertas tradicionales del sector Colón Eloy-Maldonado, en el nor oriente de la provincia de Esmeraldas, demuestran la singularidad de este origen comercial y contribuyen a definir su identidad.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Agama, J. 2005. Selección de progenies y plantas élites de cacao *(Theobroma cacao L.)* mediante la evaluación de características agronómicas y resistencia a enfermedades. Tesis Ing. Agr. Universidad Central del Ecuador, Quito – Ecuador. 112 p.

Agama, J; Zambrano, J; Bolaños, M; Quiroz, J; Amores, F; y Vasco A. 2007. Explorando la presencia de genotipos de cacao Criollo en la provincia de Esmeraldas, Ecuador. Poster Divulgativo. INIAP. Estación Experimental Tropical Pichilingue.

Alvarado, M. R y Bullard, E. T. 1961. Variation of bean characteristics in hybrid cacao progenies. Proceeding of the Caribbean Region. America Society of Horticultural Sciences. 105 p.

Amores, F. 1992. Clima, Suelos, Nutrición y Fertilización de Cultivos en el Litoral ecuatoriano. Manual Técnico # 26. INIAP/Potash and Phosphate Institute. INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quevedo-Ecuador. 47 p.

Amores, F. 1999. La dificultad para establecer el rumbo tecnológico inicial y la insuficiente inversión pública, son factores que han limitado el impacto económico de la investigación en cacao durante los últimos 50 años. Tesis de Maestría. Universidad SEK. Quito – Ecuador, p. 67.

Amores, F. 2002. Requerimientos de suelo para el cultivo del cacao. Revista SABOR ARRIBA. Año 1, # 2. ANECACAO. Guayaquil-Ecuador, p.18-20.

Amores, F; Jiménez, J y Peña, G. 2005. Influencia del tiempo de fermentación y el tostado sobre el desarrollo de compuestos aromáticos asociados al sabor a chocolate en almendras de cacao de la variedad Nacional. Presentación en la 15th Conferencia internacional de investigación en cacao. COPAL. San José, Costa Rica. 7 p.

Amores, F; Jiménez, J; y Saltos A. 2007. Comportamiento del perfil organoléptico de los cacaos CCN-51 y Nacional, en respuesta a la introducción del presecado de las almendras en el protocolo de fermentación. Reporte Final. INIAP/APROCAFA/CORPEI. INIAP, Estación Experimental Pichilingue. Quevedo-Ecuador.

Amores, F; Butler, D; Ramos, G; Sukha, D; Espin, S; Gómez, A; Zambrano, A; Jiménez, J; Hollywood, N; Van Loo, R; y Seguine, E. 2007. Project to establish the phsical, chemical and organoleptic parameters to differentiate between fine or flavour and bulk cocoa. Project Completion Report. INIAP; Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quevedo-Ecuador. 76 p.

Amores, F. 2009. La investigación en cacao y el desarrollo económico de su cadena de valor. Conferencia presentada en Taller: Investigaciones del INIAP y el sector privado. Abril 2009. INIAP, Estación Experimental Boliche.

Amores, F; Agama, J; Mite, F; Jiménez, J; Loor G; y Quiroz, J. 2009. EET-544 y EET-558: Nuevos clones de cacao Nacional para la producción bajo riego en la Península de Sta. Elena. Boletín Técnico # 134. INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quevedo-Ecuador.

Amores, F. 2004. Cacaos Finos y Ordinarios. In Taller Internacional de Calidad Integral de cacao Teoría y Práctica, Noviembre 15 – 17 del 2004. INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quevedo – Ecuador. 16 p. 4 y 7.

Amores, F. 2007. El mercado mundial de cacao: Tipos de cacaos y exigencias crecientes de calidad. In. Taller Internacional "Técnicas de fermentación, catación y evaluación sensorial para el mejoramiento de la calidad organoléptica de cacao", Junio 18 – 22 del 2007. INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quevedo – Ecuador. p. 1 y 2.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Amores, F y Jiménez, J. 2007. Aspectos de la Calidad de cacao. In. Taller Internacional "Técnicas de fermentación, catación y evaluación sensorial para el mejoramiento de la calidad organoléptica de cacao", Junio 18 – 22 del 2007. INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quevedo – Ecuador. p. 1-3.

Arcila, J; Farfan, F; Moreno, A; Salazar, F; e Hincapie, E. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. CENICAFE. Chinchiná, Colombia. p. 62-71.

Anecacao, 2004. Origen del cacao en el Ecuador. Caracteristicas de los cacaos Finos y Ordinarios. Disponible en www. Anecacao.com. Guayaquil, Ecuador. 7 p.

Arévalo, E.; Zúñiga, LB.; Arévalo, C.E.; Adriazola del Águila, J. 2004. Cacao. Manejo integrado del cultivo y transferencia de tecnología en la amazonía peruana. Primera edición – Impresiones Castillo S.A. (074) 227952- Chiclayo, Perú. p. 18, 19, 119, 121, 122.

Arguello, O.; Mejía, A. y Palencia, G. 2000. Clasificación de especies cultivares de *Theobroma cacao L.* In Mejía y Arguello. Comp. Tecnología para el mejoramiento del sistema de multiplicación de cacao. Corpoica, Colombia. p. 11.

Armijos, A. 2002. Características de la acidez como parámetro químico de calidad en muestras de cacao *(Theobroma cacao L.)* fino y ordinario de producción nacional durante la fermentación. Tesis de Lic. en Químicas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. 103 p.

Arosemena, G. 1991. El fruto de los Dioses. Primera edición, Editorial Graba, Casilla 921 Guayaquil, Ecuador. V 1. p. 25, 263 - 265.

ATLAS DEL CACAO, 2006. Foundation of the German Cocoa and Chocolate Industry. Prof. Dr. R. Lieberei; Dipl. Biol C. Rohsius. All rigths reserved. Edition – Cocoa Statistics 2005/2006.

Bartley, B.G 2005. The genetic diversity of cacao and its utilization. CABI Publishing. CAB International, Wallingford, Oxfordshire, UK. p. 14-110.

Borbor, F. y Vera, M. 2007. Manual del cultivo de cacao para productores. Unidad ejecutora del programa Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones CORPEI, y Co – ejecutor Asociación Nacional de Exportadores de cacao Anecacao. Enero del 2007. Guayaquil, Ecuador. 47 p.

Braudeau, J. 1970. El cacao. Traducido por Hernández C. Editorial Blume, Barcelona, España. 283. p.

Bruulsema, T. 2000. Los componentes de los alimentos funcionales. La participación de los nutrientes minerales. Nutrición y fertilización de la Naranja. Editor Dr. José Espinoza. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Informaciones Agronómicas. Boletin N° 40. Julio del 2000. www.inpofos.org. Quito, Ecuador. 16 p.

CACAO ECUADOR, 2005. Descripción de Asociaciones y Exportadores. Características del Producto. Organización: "APROCANE". Consultado el 7 de abril del 2008. Disponible en http://www.ecuadorcocoaarriba.com/esp/caracteristicas-producto-arriba-ecuador-procane.php. 4 p.

Calderón, L. 2002. Evaluación de los compuestos fenólicos del cacao *(Theobroma cacao L.)* de tipo fino y ordinario de producción nacional durante la fermentación en relación a la calidad. Tesis de Lic. En Química, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. 114 p.

COCOA BEANS. 1996. The Biscuit, Cake, Chocolate and Confectionary Alliance. 4th ed. London, United Kingdom.

Crawford, L. 1980. El Ecuador en la época cacaotera. Respuestas locales, el auge y el colapso en el ciclo mono-exportador. Traducido por Silva, E. y Quintero, R. Editorial Universitaria. Quito, Ecuador. p 25 – 28.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Cros, E. 2004 a. Factores que afectan el desarrollo del sabor a cacao, bases Bioquímicas del perfil aromático. In Taller Internacional de Calidad Integral de cacao Teoría y Práctica Noviembre 15 - 17 del 2004). INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quevedo - Ecuador. 20 p.

--------- 2004 b. Factores condicionantes de la calidad del cacao. In. Primer Congreso Venezolano del cacao y su industria. CIRAD – CP, Maison de la Tecnologie, BP 5035, 34032 Monpellier Cedex 1, Francia. Consultado en mayo del 2005. Disponible en www.cacao.sian.info.ve. 15 p.

Crouzillat, D.; Laurence, B.; Rigoreau, M.; Bucheli, P; y Petiard, V. 2000. Genetic Structure, characterization and selection of National cocoa compared to other genetic groups. In International workshop on new Technologies and Cocoa Breeding. p. 47- 64.

Davrieux, F; Assemat, S; Sukha, D; Bastianelly, D; Boulanger, R; and Cros, E. 2004. Genotype characterization of cocoa into genetic groups through caffeine and theobromine content predicted by NIRS. CIRAD, France.

Daymond, J. D. 2000. An investigation into physiological parameters underlying yield variation between different varieties of cocoa. Department of Horticulture. The University of Reading. United Kingdom. 200 p.

Daymond, J. D and Hadley, P. 2003. The effects of temperature and light integral on early vegetative growth and chlorophyll florescence of four contrasting genotypes of cacao *(Theobroma cacao)*. School of Plant Science. University of Reading. United Kingdom.

Domínguez A. 1984., Tratado de fertilización. Ediciones Mundi - Prensa. Madrid, España. p. 94 – 96.

Enríquez, G. 1985. Curso sobre el cultivo de cacao, Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanzas (CATIE). Turrialba, Costa Rica. p. 1 – 28; 46 - 47; 79 – 85.

---------- 1987. Manual del cacao para agricultores, Coedición Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanzas CATIE. Universidad Estatal a Distancia San José, Costa Rica. p. 11- 87.

---------- 1993. Characteristics of cocoa "Nacional" of Ecuador. In Proceedings of the International Workshop on Conservation, characterization and utilization of cocoa. Genetic resources in the 21st century. CRU. The University of the West Indies, Port Spain, Trinidad & Tobago. p. 13 -17.

---------- 1998. Cómo mantener la calidad y el aroma en el mercado del cacao fino. Agencia de Cooperación técnica en Costa Rica. San José, Costa Rica. 48. p.

-------- 2004. Cacao orgánico, guía para productores ecuatorianos. INIAP. Manual No. 54. Quito, Ecuador. p. 39 - 294.

Espín, S. y Armijos, A. 2001. Determinación de acidez titulable, total y pH en cacao. In. Manual de Calidad. Departamento de Nutrición y Calidad. Versión 1. Procedimiento normalizado. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina. Quito, Ecuador. 3 p.

---------- .y Calderón., L. 2001. Determinación de Taninos y Fenoles totales en almendras de cacao por espectroscopia UV / VIS. In. Manual de Calidad. Departamento de Nutrición y Calidad. Versión 1. Procedimiento normalizado. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina. Quito, Ecuador. 7 p.

----------.y Villavicencio, A. 2001. Dosificación del contenido de grasa en polvo de cacao por extracción Soxleht. In. Manual de Calidad. Departamento de Nutrición y Calidad. Versión 1. Procedimiento normalizado. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina. Quito, Ecuador. 5 p.

----------. y Wakao, H. 2001. Dosificación de cafeína, teobromina y teofilina por HPLC. Detector UV. In. Manual de Calidad. Departamento de Nutrición y Calidad. Versión 1. Procedimiento normalizado. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina. Quito, Ecuador. 5 p.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Franco, T. L. e Hidalgo, R (eds.) 2003. Análisis Estadísticos de datos de caracterización morfológica de recursos filogenéticos. Boletín técnico N° 8. Instituto Internacional de recursos fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.

Graetz, H.A. 2000. Suelos y fertilización. Manual para educación agropecuaria. Traducido por Orozco, F. Colaboración Kirchner, F.; López, E. y Berlijn, J. Séptima reimpresión. Editorial Trillas, IMPREMAX, Mexico, Distrito Federal. 80 p.

Gutiérrez, H. 1988. El Beneficio del cacao, Gobernación de Antioquia Secretaria de Agricultura. Publicación Técnica N° 9. Medellín, Colombia. 55 p.

Hardy, F. 1961. Manual de Cacao. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica. 439 p.

Hasing, M.E. 2004. Estudio de la variación en los contenidos de polifenoles y alcaloides, en almendras de cacao por efecto de los procesos de fermentación y tostado. Tesis de doctorado en Bioquímica y Farmacia, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Ciencias, Escuela de Bioquímica y Farmacia. Riobamba, Ecuador. 129 p.

Ibáñez, J.J. 2007. Suelos salinos o salinidad. Consultado el 25 de agosto del 2008. ttp://weblogs.madrimasd.org/universo/archive/2007/12/03/80207.aspx.

Ignatieff, V. 1950. El uso eficaz de los fertilizantes. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación (F.A.O.). Roma, Italia. p. 1 – 15.

INEN, 2006. Instituto ecuatoriano de Normalización, Cacao en grano. Requisitos. Norma técnica ecuatoriana (NTE). Cuarta Revisión, 26 / 07 / 2006. Quito, Ecuador. 8 p.

INIAP/APROCAFA/CORPEI, 2006. Reporte final del proyecto: Comportamiento del perfil organoléptico de los cacaos CCN-51 y Nacional en respuesta a la introducción del presecado de las almendras en el protocolo de fermentación. INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quevedo, Ecuador. 67 p.

INPOFOS, 1993. Diagnóstico del estado nutricional de los cultivos. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Quito, Ecuador. 55 p.

----------, 1997. Nutrientes secundarios y Micronutrientes. Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. Instituto de de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Quito – EC, Querétaro – MX. Capitulo 6, 8 pp. Capitulo 7, 11 p.

Jiménez, J. 2000. Efectos de dos Métodos de fermentación sobre la calidad de tres grupos de cacao *(Theobroma cacao L.)* cultivados en la zona de Quevedo Provincia de Los Ríos. Tesis Ing. Agrónomo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central de Bolívar. Guaranda, Ecuador. 58 p.

---------- 2003. Prácticas del Beneficio del cacao y su calidad organoléptica. Mimeografiado. INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quevedo, Ecuador. 16 p.

---------- 2006. Aspectos de la Calidad del cacao. In Taller de entrenamiento en "Calidad Física y organoléptica de cacao" (Teoría y práctica). Diciembre 11 al 13 del 2006. INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quevedo, Ecuador. 5 p.

Jimenez, J. y Amores, F. 2008. Acercamiento a los perfiles sensoriales del cacao de la provincia de Esmeraldas. Reporte de Progreso. INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue. 16 p.

Lecertau, E; Quiroz, J, Soria J; Flipo, S, Petierd, V, and Crouzilat, D. 1997. Genetic differentiation among ecuadorian *Theobroma cacao L.* accessions using DNA and morphological analysis. Euphytica 95: 77-87. Printed in the Netherlands.

Loor, R.G. 2002. Caracterización Morfológica y Molecular de 87 Clones de cacao (Theobroma cacao L.) Nacional de Ecuador. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Instituto de Recursos genético y productividad. Programa en genética. Noviembre del 2002. Montecillo, Texcoco, Mexico. 96 p.

---------- 2007. Contribution à l'élude de la domestication de la variété de cacaoyer Nacional d' Equateur: recherche de la variété native et de ses ancêtres sauvages. Thèse pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences Agronómiques. Ecole Nationale Supérieure agronomique de Montpellier, France. p. 45, 63.

Mite, F. y Motato, N. 1993. Suelos y fertilizantes. In Suárez, C. ed. Manual del cultivo de cacao, Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, publicado por Estación Experimental Tropical "Pichilingue". Segunda edición. Manual N° 25. Quevedo - EC. p. 70 – 89.

Mortved, J; Giordano, P; Lindsoy, W. 1972. Micronutrients in Agriculture. 2da. edición. Soil Science Society of America. USA. p 7-36.

Motamayor, J; Lachenaud, P; Wallace da Silva, J; Loor, R; Kuhn, D; Brown, S; Schnell, R. 2008. Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian Chocolate tree (Theobroma cacao L). Plos One 3(10): e3311.

Mossu, G. 1992. Drying. Pages 73-77 in: Cocoa. The Tropical Agriculturist. London. McMiller Press.

Moreira, D. M. 1994. La Calidad del Cacao. Revista INIAP. N° 4. p 24 - 26.

Moreno, L.; Cadavid, S.; Cubillos, G.; Sánchez, J. 1983, Manual para el cultivo del cacao, Editado por la Compañía nacional de Chocolate. Impreso en Colombia. p. 91, 96.

Moreno, L.; Sánchez, A. 1989. Beneficio del cacao. Fundación Hondureña de Investigaciones Agrícolas, Fasc. N° 6 p. 14 - 16.

Motato, N; Solórzano, G; y Cedeño J. 2008. Riego suplementario para el cultivo del cacao en Manabí. Boletín Divulgativo # 345. INIAP, Estación Experimental Portoviejo. Portoviejo,Manabí.

Murrel, T.S. 2003. Transformaciones de los nutrientes del suelo. Editor Dr. José Espinoza. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Informaciones Agronómicas. Boletín N° 49. Abril del 2003. www.inpofos.org. Quito, Ecuador. 16 p.

Navarrete, J. 1992. Evaluación de tiempos y métodos de fermentación con diferentes volúmenes de cacao *(Theobroma cacao L.)* de ascendencia Nacional, bajo condiciones Tropicales. Tesis de Ing. Agr. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo , Ecuador. 85 p.

Nosti, J. (1953). Cacao, Café y Té. Ed. Salvat. Primera edición Barcelona – Madrid, España. p. 11, 13.

Pastorelly, D. 1992. Evaluación de algunas características de cacao tipo Nacional de la colección de la zona de Tenguel. Tesis de Ing. Agr. Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador. 86-94 p.

Quiroz, J. 1990. Estudio de la compatibilidad en algunos cultivares de cacao *(Theobroma cacao L.)*. Tesis Ing. Agr. Babahoyo Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Técnica de Babahoyo. Babahoyo, Ecuador. 30 p.

---------- 1997. Recolección de genotipos y establecimientos de un banco de germoplasma de cacao Nacional en Ecuador. INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue Boletín Técnico N° 75. Quito, Ecuador. p 4.

---------- 2002. Caracterización molecular y morfológica de genotipos superiores de cacao Nacional *(Theobroma cacao L.)* de Ecuador. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

(CATIE). Programa de Educación para el desarrollo y la conservación. Escuela de Postgrado. Turrialba, Costa Rica. 111p.

Ramos, G. 2004. La Fermentación, el Secado y Almacenamiento del Cacao. In Taller Internacional de Calidad Integral de cacao, Teoría y Práctica (15-17 nov. / 2004). INIAP – Quevedo, Ecuador, 44 p.

Ramos, R. 2008. Comportamiento de clones de cacao *(Theobroma cacao L.)* tipo Nacional en el sector de Guasaganda, provincia de Cotopaxi. Tesis de Grado para obtener el titulo de Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador.

Reyes, H.; Vivas, J. y Romero, A. 2004. La calidad en el cacao. Factores determinantes de la Calidad del cacao. Disponible en www.ceniap.gov.ve. 5 p.

Rohan, T. 1960. El Beneficiado del Cacao. Boletín de trabajo N° Oficial 5, Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia. p. 1 - 3, 12, 25.

Rohan, T. 1964. El beneficio del cacao en bruto destinado al mercado. FAO. Roma, Italia. p.79-113.

Rosero, J.L. 2002. La ventaja comparativa del cacao ecuatoriano. Dirección General de estudios. Apuntes de Economía No 20., Disponible en www.fas.usda.gov. Guayaquil – EC. p. 4 -7.

Sabino, H; Lavres J. y Ferreira de Moraes, M. 2007. Azufre como nutriente y agente de defensa contra plagas y enfermedades. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Informaciones Agronómicas. Boletín N° 65.

Saltos, A. 2005. Efecto de métodos de fermentación, frecuencias de remoción y volúmenes variables de masa fresca de cacao sobre la calidad física y organoléptica del "Complejo Nacional x Trinitario". Tesis Ing. Agr. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. 59 p.

Sanchez, P. 1976. Properties and Management of Soils in the Tropics. 1st edition. Published by John Wiley & Sons. Printed in USA. p.96-184.

Sancho, J.; Bota, E.; de Castro, J. 1999. Introducción al aanálisis de los alimentos. Edición de la Universidad de Barcelona, España. pp. 28 - 215.

Semiglia, C. 1979. Estudio de varios métodos de fermentación en diferentes zonas cacaoteras del Ecuador. Tesis de Ing. Agr. Universidad Estatal de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. 86 p.

Solís, L. Y. y Andrade, A. 2007. Que son Marcadores Moleculares. Disponible en página web www.mx-/cienciahombre/revistae/vol18num1/articulos/moleculares/index.htm. 3 p.

Soria, V. 1966. Principales variedades de cacao cultivadas en América tropical. Revista Turrialba. Turrialba, Costa Rica. 16 (3). p. 261 – 266.

Suarez, C. 2007. La Rehabilitación del Cacao: Un componente básico del Manejo Integrado del Cultivo. Boletín Divulgativo. INIAP. INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quevedo, Ecuador.

Stevenson, C.; Corven, J. y Villanueva, G. 1993. Manual para Análisis de Laboratorio. San José, Costa Rica p. 13 - 46.

Sukha, D.A; and Butler, D. 2005. The CFC/ICCO/INIAP project: Investigating the spectrum of fina flavor within genotypes and between origins. INGENIC. Newsletter. 10:22-25.

Taiz, L y Zeiger, E. 1999. Plant physiology. 3ed. Sunderland, Sinauer Associates, 2002.

Thompson L. y Troeh F. 1982. Los suelos y su fertilidad. Cuarta edición. Editorial Reverté. S.A. p.55 – 57; 188 – 200; 203 – 206 ; 209 – 210.

Urquhart, D. 1963. Cacao. Trad. por Juvenal Valerio, J. Instituto Interamericano de Ciencias Agropecuarias. Primera edición en español Editorial Sic. Turrialba, Costa Rica. p. 39, 138, 144, 145.

Vera, J. 1987. Zonificación y Ecología del cultivo de cacao. In Suárez, C. ed. Manual del cultivo de cacao. Primera edición INIAP, Estación Experimental Tropical Pichlingue. Quevedo, Ecuador. p. 11 - 15.

---------- 1993. Antecedentes históricos y zonificación y ecología del cultivo. In Suárez, C. ed. Manual del cultivo de cacao. Segunda edición. Manual N° 25. INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue, Quevedo, Ecuador. p. 6 – 294.

Wakao, H. 2002. Estudio de la variación del contenido de alcaloides en cacao *(Theobroma cacao L.)* de producción nacional, durante el proceso de beneficio. Tesis de Licenciatura en ciencias químicas, especialidad Química analítica. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de ciencias exactas y Naturales. Departamento de ciencias químicas. Quito, Ecuador. EC. 91 p.

Wikipedia, 2007. Determinación de acidez y tipos de acidez. Disponible en la Enciclopedia libre. http://es-.wikipedia.org/wiki/Acidez.

Wood, G. 1982. Cacao, Trad. por Marino, Primera edición en español, Compañía Editorial Continental S.A., Mexico, D.F. p. 53 -69; 255 - 274.

Wood, G. 1983. Cacao. Traducido por Ambrosio, Tercera edición en español, Mexico, D.F. p. 258 – 267.

ANEXOS

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Anexo 1. Valores promedios de las variables físicas registradas en muestras de cacao procedentes de fincas del sector Colón Eloy-Maldonado, Nor - oriente de la provincia de Esmeraldas.

ZONA	MATERIAL	TRAT.	REP.	PARAMETROS FISICOS															
				TEMP. °		pH FRESCO °		pH FERM. °		pH SECO °		FERMEN %		DEFECT. %			COLOR DE COT	PESO 100	IND. DE
		/ D. F.	COS	AMB	MASA	TEST A	COT	TEST A	COT	TEST A	COT	BUENA	MED	TOTAL	MOL			ALM	SEMILLA	TEST A %
[illegible]	[illegible]	3	I	22,22	47,51	3,86	6,02	5,03	5,08	5,36	4,99	23,00	47,50	70,50	29,50	0,00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	3	II	30,33	48,47	4,57	6,44	4,23	4,27	5,64	4,94	16,00	48,00	64,00	36,00	0,00	2,00	5,00	142,40	1,42	16,56
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	3	III	27,70	48,60	3,95	6,46	4,38	4,63	5,12	4,85	31,00	39,00	70,00	30,00	0,00	3,00	7,00	141,90	1,42	17,95
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	3	IV	30,10	50,49	4,00	6,89	4,75	4,87	5,67	5,27	15,00	35,00	50,00	50,00	0,00	1,00	3,00	136,00	1,36	13,87
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	4	I	24,44	37,73	3,95	6,15	4,77	4,82	5,35	4,83	33,50	46,50	80,00	20,00	0,00	6,50	17,00	123,70	1,24	15,23
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	4	II	30,33	41,06	4,53	6,44	4,62	4,76	5,96	5,02	23,00	66,00	89,00	11,00	0,00	2,00	4,00	143,70	1,44	13,51
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	4	III	31,70	45,45	3,96	6,43	4,35	4,37	5,36	4,72	29,00	41,00	70,00	30,00	0,00	2,00	5,00	138,50	1,39	19,67
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	4	IV	29,40	46,99	3,71	6,87	4,66	4,66	5,72	5,16	30,00	41,00	71,00	29,00	0,00	2,00	3,00	144,50	1,45	15,89
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	5	I	23,33	43,04	4,09	6,22	4,81	4,63	5,21	4,70	31,50	57,00	88,50	11,50	0,00	3,50	13,00	128,50	1,28	17,95
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	5	II	30,00	46,61	4,43	6,39	4,92	4,68	5,96	5,24	37,00	54,00	91,00	9,00	0,00	3,00	8,00	140,90	1,41	15,97
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	5	III	31,50	49,78	3,94	6,48	4,47	4,45	5,29	4,81	43,00	30,00	73,00	27,00	0,00	4,00	8,00	134,00	1,34	18,54
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	5	IV	30,10	49,68	3,63	6,79	4,53	4,47	5,81	4,98	32,00	46,00	78,00	22,00	0,00	0,00	5,00	133,40	1,33	15,44
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	3	I	22,22	42,51	2,92	6,37	4,97	5,28	5,39	5,16	34,00	50,50	84,50	15,50	0,00	8,00	12,00	148,10	1,48	15,21
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	3	II	30,33	48,47	3,48	6,38	4,31	4,74	5,55	5,07	13,00	57,00	70,00	30,00	0,00	2,00	7,00	142,70	1,43	14,84
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	3	III	31,70	44,12	3,72	6,56	4,79	4,68	4,26	4,99	26,00	39,00	65,00	35,00	0,00	2,00	7,00	144,80	1,45	20,30
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	3	IV	29,40	50,26	3,37	6,80	4,81	4,39	6,47	5,67	37,00	44,00	81,00	19,00	0,00	2,00	4,00	131,80	1,32	15,04
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	4	I	24,44	37,73	2,87	6,01	4,41	4,46	5,03	4,98	43,00	52,50	95,50	9,50	0,00	5,50	16,00	142,72	1,43	16,05
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	4	II	30,33	41,06	3,47	6,38	4,80	4,64	5,67	5,03	33,00	50,00	83,00	17,00	0,00	2,00	5,00	145,00	1,45	17,12
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	4	III	31,50	42,68	3,75	6,54	4,81	4,71	4,34	4,88	34,00	33,00	67,00	33,00	0,00	3,00	4,00	143,40	1,43	17,81
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	4	IV	30,10	45,82	3,16	6,86	4,77	5,18	5,87	5,60	35,00	54,00	89,00	11,00	0,00	3,00	3,00	135,10	1,35	14,29
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	5	I	23,33	43,04	3,04	6,30	4,75	4,73	5,02	4,80	46,00	45,00	91,00	9,00	0,00	5,00	19,00	154,16	1,54	15,97
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	5	II	30,00	46,61	3,31	6,33	4,70	4,76	6,09	5,20	46,00	42,00	88,00	12,00	0,00	2,00	6,00	137,10	1,37	14,84
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	5	III	30,40	40,48	3,64	6,52	6,75	5,50	5,81	5,41	38,00	35,00	73,00	26,00	0,00	3,00	8,00	139,20	1,39	17,46
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	5	IV	29,27	51,17	3,12	6,86	4,58	4,70	6,10	5,26	38,00	51,00	89,00	11,00	0,00	0,00	7,00	129,20	1,29	13,89
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	3	I	22,22	42,51	3,62	6,34	5,29	5,23	5,33	5,25	38,00	40,50	78,50	21,50	0,00	1,00	6,00	177,68	1,28	14,86
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	3	II	30,33	48,47	3,61	6,31	4,18	4,33	4,75	4,78	16,00	53,00	69,00	31,00	0,00	3,00	11,00	152,80	1,53	16,89
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	3	III	27,70	48,60	3,28	6,44	4,31	4,81	4,51	5,14	16,00	45,00	61,00	39,00	0,00	5,00	5,00	136,70	1,37	19,17
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	3	IV	30,10	50,49	3,90	6,87	4,79	4,84	5,55	5,46	28,00	32,00	60,00	13,50	0,00	6,00	6,00	135,20	1,35	15,87
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	4	I	24,44	37,73	3,52	6,24	4,96	5,03	5,29	5,11	48,50	36,00	84,50	14,50	0,00	1,50	5,00	127,73	1,28	16,49
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	4	II	30,33	41,06	3,62	6,21	4,78	4,51	5,62	4,99	21,00	55,00	76,00	24,00	0,00	2,00	11,00	140,40	1,40	16,67
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	4	III	31,70	45,45	3,22	5,75	4,53	3,91	5,20	4,83	38,00	52,00	90,00	10,00	0,00	3,00	7,00	140,20	1,40	19,70
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	4	IV	29,40	46,99	3,81	6,79	4,77	4,69	5,05	4,33	34,00	44,00	78,00	23,00	0,00	2,00	5,00	124,80	1,25	15,56
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	5	I	23,33	43,04	3,47	6,31	4,98	4,74	5,49	4,98	48,00	40,00	88,00	12,00	0,00	1,00	6,00	120,85	1,21	17,26
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	5	II	30,00	46,61	3,60	6,23	4,54	4,39	5,41	4,76	34,00	53,00	87,00	13,00	0,00	1,00	6,00	138,80	1,39	16,43
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	5	III	31,50	49,78	3,71	6,51	4,63	4,50	5,24	4,97	38,00	53,00	91,00	9,00	0,00	3,00	7,00	134,20	1,34	19,71
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	5	IV	30,10	49,68	3,48	6,77	4,73	4,53	6,14	5,42	50,00	43,00	93,00	7,00	0,00	2,00	4,00	121,90	1,22	16,24
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	3	I	23,33	45,02	3,06	6,03	4,76	4,82	5,68	5,07	25,50	37,00	62,50	37,50	0,00	4,00	10,00	143,16	1,43	14,77
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	3	I	30,33	48,47	3,01	6,40	4,10	4,50	4,59	4,88	33,00	47,00	81,00	19,00	0,00	2,00	13,00	140,60	1,41	15,29
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	3	III	27,70	48,60	3,17	6,51	4,24	4,92	4,47	5,18	29,00	46,00	75,00	25,00	0,00	1,00	4,00	131,80	1,32	21,31
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	3	IV	30,10	50,49	4,09	6,85	4,76	4,88	5,36	5,47	20,00	43,00	63,00	37,00	0,00	3,00	4,00	132,40	1,32	16,15
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	4	I	22,59	38,10	3,05	6,03	5,28	4,84	5,72	5,06	39,00	42,50	81,50	18,50	0,00	4,00	7,00	146,81	1,47	15,72
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	4	II	30,33	41,06	3,01	6,29	5,34	4,59	5,76	5,07	36,00	53,00	89,00	11,00	0,00	3,00	8,00	145,50	1,46	16,78
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	4	III	31,70	45,45	3,27	6,59	4,48	4,48	5,38	5,01	46,00	36,00	82,00	18,00	0,00	2,00	10,00	139,50	1,40	19,84
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	4	IV	29,40	46,99	4,18	6,91	4,70	4,68	5,78	5,28	35,00	48,00	83,00	17,00	0,00	3,00	7,00	140,50	1,41	16,08
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	5	I	26,66	41,85	3,32	6,50	4,54	4,46	5,50	5,00	26,50	57,50	84,00	16,00	0,00	2,50	5,00	137,39	1,37	16,10
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	5	II	30,00	46,61	3,01	6,36	5,62	4,94	6,20	5,27	40,00	53,00	93,00	7,00	0,00	5,00	9,00	138,20	1,38	15,65
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	5	III	31,50	49,78	3,33	6,53	4,51	4,57	4,89	4,90	41,00	43,00	84,00	16,00	0,00	2,00	7,00	131,30	1,31	19,85
ESMERALDAS COLON ELOY	MEZCLA	5	IV	30,10	49,68	4,38	6,92	4,50	4,42	5,77	5,11	36,00	52,00	88,00	12,00	0,00	0,00	9,00	138,00	1,38	19,05
ESMERALDAS MALDONADO	MEZCLA	3	I	23,33	45,02	3,40	6,75	4,75	5,05	5,60	5,22	30,50	44,00	74,50	25,50	0,00	3,00	14,00	126,59	1,27	15,11
ESMERALDAS MALDONADO	MEZCLA	3	II	30,33	48,47	3,10	6,21	4,17	4,44	5,26	5,00	17,00	57,00	74,00	26,00	0,00	4,00	5,00	109,10	1,09	19,83
ESMERALDAS MALDONADO	MEZCLA	3	III	27,70	48,60	3,45	6,57	4,72	4,87	5,01	5,26	21,00	57,00	78,00	22,00	0,00	4,00	6,00	133,80	1,34	17,39
ESMERALDAS MALDONADO	MEZCLA	3	IV	29,40	50,26	3,84	6,81	4,71	4,88	5,38	5,44	31,00	51,00	82,00	18,00	0,00	5,00	13,00	140,20	1,40	16,10
ESMERALDAS MALDONADO	MEZCLA	4	I	22,59	38,10	3,29	6,73	6,68	4,94	5,75	5,23	48,50	33,00	81,50	18,50	0,00	4,00	9,00	129,10	1,29	15,98
ESMERALDAS MALDONADO	MEZCLA	4	II	30,33	41,06	3,05	6,15	6,38	4,63	5,71	5,10	32,00	50,00	82,00	18,00	0,00	2,00	9,00	108,80	1,09	19,13
ESMERALDAS MALDONADO	MEZCLA	4	III	31,70	45,45	3,66	6,58	4,86	4,72	5,41	5,21	39,00	41,00	80,00	20,00	0,00	3,00	8,00	129,10	1,29	18,40
ESMERALDAS MALDONADO	MEZCLA	4	IV	30,10	45,82	3,66	6,82	4,65	5,03	6,04	5,57	40,00	43,00	83,00	17,00	0,00	2,00	9,00	134,70	1,35	13,64
ESMERALDAS MALDONADO	MEZCLA	5	I	26,66	41,85	3,21	6,72	4,69	4,55	5,69	5,10	52,50	32,50	85,00	15,00	0,00	5,00	8,00	141,37	1,32	16,41
ESMERALDAS MALDONADO	MEZCLA	5	II	30,00	46,61	3,31	6,21	5,04	4,84	6,10	5,21	37,00	56,00	93,00	7,00	0,00	5,00	15,00	109,60	1,10	18,97
ESMERALDAS MALDONADO	MEZCLA	5	III	31,50	49,78	3,66	6,54	4,80	4,61	5,42	5,07	40,00	46,00	86,00	14,00	0,00	3,00	11,00	113,00	1,13	18,66
ESMERALDAS MALDONADO	MEZCLA	5	IV	29,27	51,17	3,80	6,83	4,65	4,52	5,93	5,22	42,00	52,00	94,00	6,00	0,00	5,00	13,00	98,70	1,01	18,40

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Anexo 2. Valores promedios de las variables químicas en muestras de fincas procedentes del sector Colón Eloy – Maldonado, en el Nor- oriente de la provincia de Esmeraldas.

ZONA	FINCA	TRAT/D.F.	REPETICION	TEOBROMINA %	CAFEÍNA %	T/C	POLIFENOLES TOTALES *	GRASA %	Acidez Titulable
ESMERALDAS-Colón Eloy	FINCA # 1	4 DIAS FERM	I	1.70	0.46	3.73	46.10	48.48	2.62
ESMERALDAS-Colón Eloy	FINCA # 1	4 DIAS FERM	II	1.78	0.40	4.45	43.50	50.21	2.72
ESMERALDAS-Colón Eloy	FINCA # 1	4 DIAS FERM	III	1.72	0.33	5.19	59.89	46.18	4.03
ESMERALDAS-Colón Eloy	FINCA # 1	4 DIAS FERM	IV	1.68	0.34	4.94	33.54	48.55	1.89
ESMERALDAS-Colón Eloy	FINCA # 2	4 DIAS FERM	I	1.81	0.37	4.94	25.97	44.81	2.83
ESMERALDAS-Colón Eloy	FINCA # 2	4 DIAS FERM	II	1.79	0.45	4.00	33.89	46.68	3.01
ESMERALDAS-Colón Eloy	FINCA # 2	4 DIAS FERM	III	2.10	0.51	4.14	58.10	45.22	3.50
ESMERALDAS-Colón Eloy	FINCA # 2	4 DIAS FERM	IV	1.73	0.36	4.76	25.93	48.87	1.45
ESMERALDAS-Colón Eloy	FINCA # 3	4 DIAS FERM	I	1.92	0.39	4.95	38.84	47.57	2.37
ESMERALDAS-Colón Eloy	FINCA # 3	4 DIAS FERM	II	1.70	0.40	4.24	48.76	49.67	2.71
ESMERALDAS-Colón Eloy	FINCA # 3	4 DIAS FERM	III	1.60	0.38	4.22	47.71	47.54	3.52
ESMERALDAS-Colón Eloy	FINCA # 3	4 DIAS FERM	IV	1.68	0.40	4.18	35.37	48.34	2.00
ESMERALDAS-Colón Eloy	FINCA # 4	4 DIAS FERM	I	1.57	0.23	6.20	34.80	46.23	2.67
ESMERALDAS-Colón Eloy	FINCA # 4	4 DIAS FERM	II	1.90	0.39	4.90	32.45	46.90	3.16
ESMERALDAS-Colón Eloy	FINCA # 4	4 DIAS FERM	III	1.78	0.46	3.90	41.02	50.81	3.56
ESMERALDAS-Colón Eloy	FINCA # 4	4 DIAS FERM	IV	1.76	0.23	6.11	31.10	50.19	1.67
ESMERALDAS-Maldonado	FINCA # 5	4 DIAS FERM	I	1.64	0.41	3.97	27.67	45.30	2.73
ESMERALDAS-Maldonado	FINCA # 5	4 DIAS FERM	II	1.84	0.42	4.41	33.54	49.99	3.03
ESMERALDAS-Maldonado	FINCA # 5	4 DIAS FERM	III	1.75	0.40	4.41	29.89	48.12	2.93
ESMERALDAS-Maldonado	FINCA # 5	4 DIAS FERM	IV	1.76	0.42	4.18	34.41	48.51	1.95

Anexo 3. Resultados del análisis de suelos en calicatas realizadas en huertas cacaoteras de las fincas seleccionadas para el estudio.

ZONA	FINCA	Horizonte	ANALISIS DE SUELO																			
			Textura %			M.O. %	meq/100ml	pH	CIC meq/ 100ml	C.E. dS/m	ppm		meq / 100ml			ppm					
			Arena	Limo	Arcilla		Σ Bases				N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
Colón Eloy - Maldonado	FINCA # 2	HORIZONTE A	43	42	15	8,1 A	17,90	6,2 LAc	18,09	0,18 NS	12 B	4 B	0,40 A	15A	2,5 A	5 B	4,0 M	2,6 M	126 A	1,7 B	0,29 M
	FINCA # 2	HORIZONTE B	29	32	39	1,7 B	8,62	5,3 Ac RC	10,5	0,01 NS	3 B	2 B	0,72 A	6 M	1,9 M	3 B	1,5 B	7,3 A	143 A	3,2 B	0,11 B
	FINCA # 2	HORIZONTE C	71	16	13	2,1 B	4,54	4,9 MAc RC	6,69	0,02 NS	3 B	3 B	0,24 M	3 B	1,3 B	3 B	0,9 B	3,8 M	35 M	0,9 B	0,11 B
	FINCA # 4	HORIZONTE A	55	36	9	6,6 A	15,64	6,1 LAc	15,54	0,13 NS	10 B	2 B	0,84 A	12A	2,8 A	3 B	7,0 M	3,5 M	144 A	1,5 B	0,29 M
	FINCA # 4	HORIZONTE B	37	26	37	2,3 B	10,49	5,6 MeAc	12,59	0,02 NS	3 B	3 B	1,49 A	7 M	2,0 M	14 B	1,8 B	8,7 A	64 A	1,4 B	0,11 B
	FINCA # 4	HORIZONTE C	39	24	37	2,4 B	6,48	5,3 Ac RC	8,84	0,01 NS	3 B	5 B	0,68 A	4 B	1,8 M	7 B	2,5 B	9,4 A	51 A	1,1 B	0,11 B

Anexo 4. Análisis de Variancia molecular (AMOVA) entre fincas y entre zonas.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Componente de la Varianza	% Total	Probabilidad
Entre zonas	1	67.35	67.35	1.059	10%	0.010
Entre fincas/zonas	8	115.36	14.421	0.57	6%	0.010
Dentro de fincas	90	783.16	8.702	8.70	84%	0.010
L. Gómez (E)	10	83.35	8.34			
D. Sevillano (E)	10	65.90	6.59	-	-	-
B. Valencia (E)	10	66.20	6.62	-	-	-
M. Corozo (E)	10	56.10	5.61	-	-	-
J. Castro (E)	10	97.53	9.75	-	-	-
E. Molina (N)	10	86.30	8.63	-	-	-
D. Mendoza (N)	10	92.40	9.24	-	-	-
L. Franco (N)	10	71.35	7.14	-	-	-
P. Cabanilla (N)	10	79.60	7.96	-	-	-
M. Plúas (N)	10	84.44	8.44			
Total	99	965.85	90.472	10.33		
E = Esmeraldas						
N = Naranjal						

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Anexo 5. Número y porcentaje de almendras ubicadas en las distintas categorías de calidad de cacao en muestras provenientes del sector Colon Eloy-Maldonado.

Categoría	Lluviosa	Seca	Promedio/Época	% E. Lluviosa	% E. Seca	% Promedio
< 1,00 g	208	225	216	13,87	15,00	14,43
1,00 - 1,04 g	55	65	60	3,67	4,33	4,00
ASE 1,05 - 1,10 g	89	84	86	5,93	5,60	5,77
ASN 1,10 - 1,15 g	64	54	59	4,27	3,60	3,93
ASS 1,15 - 1,20 g	115	107	111	7,67	7,13	7,40
1,20 - 1,30 g	179	157	168	11,93	10,47	11,20
ASSS 1,30-1,35 g	120	105	112	8,00	7,00	7,50
ASSPS 1,35 - 1,40 g	99	85	92	6,60	5,67	6,13
1,40 - 2,20 g	567	614	590	37,80	40,93	39,37
> 2,20 g	4	4	4	0,27	0,27	0,27
Total	1500	1500,00	1500,00	100,00	100,00	100,00

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Productores cacaoteros en el Nor oriente de la provincia de Esmeraldas

Estación Experimental Tropical Pichilingue
Km 5, vía Quevedo – El Empalme
Casilla Postal 24
Telefax: (593) 05 2750 966 / 2750 967
e-mail: **pichilingue@iniap-pichilingue.gov.ec**
Quevedo – Ecuador

Autor principal: Freddy Amores
e-mail: **cacao@iniap-pichilingue.gov.ec**
famores.ec@gmail.com